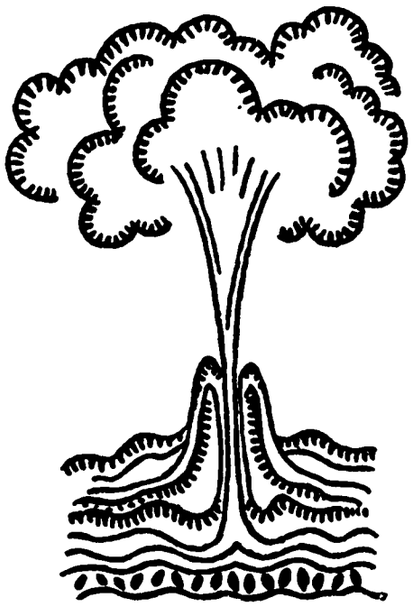
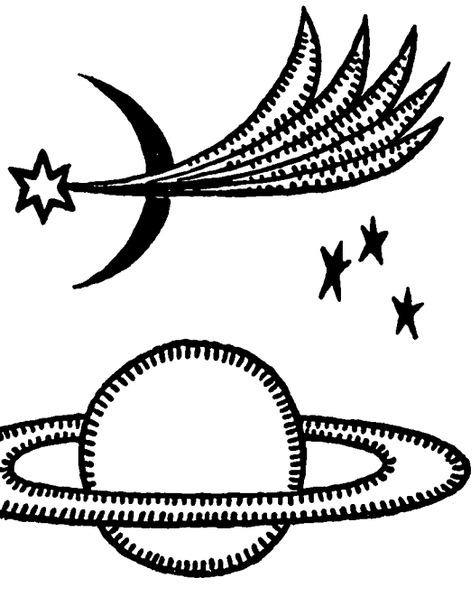
დღევანდელი ქალაქი და ჩვენი ცხოვრების საჭიროებანი

ტომი

2

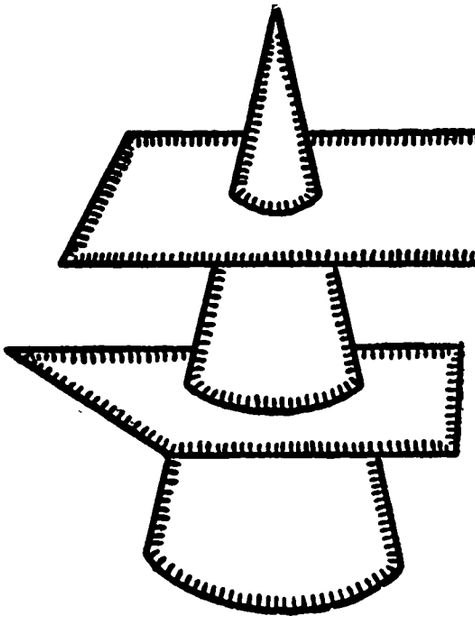
გამომცემლობა
«ნაკადული»
თბილისი
1965





საგაზაფხულო ლიცეისტობანა

სამყარო და ყოფა ასაკისათვის



$$\sqrt{2}=1+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{2+\cdots}}$$

03
081.1 : [03+55+52+[016·3]
დ 268

მთავარი რედაქცია

ე. აფანასენკო, დ. ბლაბოი, პ. გენკელი, თ. გერასინი, ნ. გონჩაროვი, გ. დეხტერევი, დ. ეპშტეინი, ა. ეფიმოვი, ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი, კ. ივანოვიჩი, ი. კაიროვი, ლ. კასილი, მ. კიმი, ნ. კუზინი, ა. ლეონტიევი, ა. ლურია, ა. მარკოსიანი, ა. მარკუშევიჩი (მთავარი რედაქტორი), ს. მარშაკი, ვ. მეზენცევი, ვ. ნატალი, მ. ნეჩკინა, ს. ობრაზცოვი, გ ორლოვი, ი. პეტრიანოვი, ო. პისარჟევსკი ს. სკაზკინი, თ. სკაზკინი, ა. სმირნოვი, ა. სოლოვიოვი, ი. ტერეხოვი, ლ. ტიმოფეევი, ს. ტიბვინსკი, თ. ხაჩატუროვი, ი. ხოდაკოვი, ე. ჩეხარინი, კ. ჩუკოვსკი, ვ. შაცკაია, დ. შჩერბაკოვი, გ. ჯიბლაძე.

ქართული გამოცემის მთავარი რედაქტორი
ნ. კეცხოველი

ტომის რედაქტორები:
ნ. თათრიშვილი, მ. კოლხიდაშვილი,
ე. ხარაძე, ვ. ჭელიძე

დედამიწის ძვრები
და ღრიალი

რას შეისწავლის გეოლოგია

პლანეტის წიაღში ინახება სიმდიდრე, რომლის გარეშეც შეუძლებელი იქნებოდა ადამიანთა საზოგადოების არსებობა. დედამიწის წიაღს იკვლევენ გეოლოგები. მეცნიერებას, რომელიც მიწის წიაღსა და მის სიმდიდრეს სწავლობს, გ ე ო ლ ო გ ი ა ეწოდება. გეოლოგია ამასთან ერთად შეისწავლის დედამიწის აგებულებას, ჩვენი პლანეტის წარმოშობის პირობებს და მასზე სიცოცხლის განვითარების ისტორიას.

ქვასა და მინერალს, როგორც სასარგებლო წიაღისეულს, კარგად უნდა იცნობდეს ყოველი საბჭოთა მოქალაქე, განსაკუთრებით კი ჩვენი ახალგაზრდობა — წიაღის მზვერავები, მომავალი ქიმიკოსები და მეტალურგები, ქალაქების ფუძემდებლები, კომუნიზმის დიდებულ მშენებლობათა მონაწილენი.

რაოდენ საინტერესო სამუშაოს სთავაზობს ჩვენს ახალგაზრდობას მინერალური ნედლეულის ძიება და შეგროვილი მასალის შემდგომი შესწავლა ლაბორატორიებში, რა უდიდეს კმაყოფილებას ანიჭებს წიაღის მკვლევარს შეგნება იმისა, რომ მისი აღმოჩენა საბჭოთა ადამიანების ცხოვრებას აუმჯობესებს.

გეოლოგიის ერთ-ერთი დარგია მ ი ნ ე რ ა ლ ო გ ი ა, მეცნიერება მინერალების, მიწის ქერქში მათი წარმოშობისა და გავრცელების შესახებ.

მინერალები წარმოიქმნება მრავალფეროვანი ბუნებრივი პროცესების შედეგად: გამდნარი მაგმისაგან ამავე მაგმის გაცივების დროს, მაგმიდან გამოყოფილი ცხელი გაზებისა და ორთქლისაგან, სიღრმის ცხელი წყლის ხსნარებისაგან, ცივი წყლებისაგან მათი აორთქლების ან სხვა შემადგენლობის წყლებთან შერევის დროს. მინერალები ბაქტერიებისა და ორგანიზმების სასიცოცხლო მოქმედების შედეგადაც ილექება (იხ. გვ. 30). გარემოსთან დაკავშირებით მინერალები შეიძლება დაიშალოს, შემადგენლობა და სახე იცვალოს და სხვა მინერალებად გარდაიქმნას. მინერალების უმეტეს ნაწილს პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

ქანები მინერალების ან მათი ნამტვრევებისაგან შედგება. დედამიწის ქერქი თავის მხრივ ქანებისაგანაა აგებული. რკინისა და ფერადი მეტალების მადანი, ქვანახშირი, ნავთობი და სხვ. გვხვდება ქანებში, ანუ, როგორც გეოლოგები იტყვიან, ქანებშია განლაგებული. ქანებს გეოლოგიური მეცნიერების განსაკუთრებული დარგი — პ ე ტ რ ო გ რ ა ფ ი ა სწავლობს. ქანებს მნიშვნელობა აქვთ აგრეთვე როგორც „საბუთებს“ დედამიწის ისტორიის ამოსაცნობად. დედამიწის ქერქის ყოველი შრე თითქოს ფურცელია ბუნების ისტორიის წიგნისა. მაგრამ ამ წიგნის ბევრი „ფურცელი“ დროთა მანძილზე „გაბუნდოვანდა“, ან ალაგ-ალაგ სულ გაქრა. გეოლოგია ბუნების წიგნის წაკითხვას და ნაკლული ფურცლების მოძებნას გვასწავლის. ჩვენი პლანეტის ისტორიის „ტექსტის“ ნაკლულობისა და მასში გამოუცნობი ადგილების სიმრავლის მიუხედავად, დედამიწის წარსულის აღდგენის შესაძლებლობა გეოლოგებს განსაკუთრებულად იზიდავს.

დანალექი ქანების შრეებში შეიძლება ხშირად წავაწყდეთ მცენარეების ან ცხოველების ნაშთებს: მოლუსკების სხვადასხვანაირ ნიჟარებს, კიბოსნაირთა ჯავშანს, ხერხემლიანთა ძვლებს, ხის ღეროსა და ტოტებს. გვხვდება აგრეთვე ფოთლების, ღეროებისა და მწერების ფრთების აღნაბეჭდები. ამ ნაშთებს ნამარხი ჰქვია. მათი მიხედვით პ ა ლ ე ო ნ ტ ო ლ ო გ ი ა (მეცნიერება უძველესი არსებების შესახებ) აღადგენს მცენარეული და ცხოველური სამყაროს მილიონობით წლის მანძილზე მიმდინარე თანამიმდევრული ცვლილებების სურათს (იხ. გვ. 100). დღეს გეოლოგებმა ფიზიკოსებისა და ქიმიკოსების დახმარებით მინერალებისა და ქანების აბსოლუტური, ანუ წლებით გამოხატული ასაკის განსაზღვრა ისწავლეს.

მრავალი მინერალი (რადიოაქტიური მინერალები) „დროის“ თავისებური შემნახველი აღმოჩნდა. ამიტომ ამ მინერალთა შემადგენლობის მიხედვით შესაძლებელი გახდა გაგვესაზღვრა მათი წარმოშობის დრო (იხ. გვ. 119).

გეოლოგიური მუშაობის უმნიშვნელოვანესი რგოლი, რომელიც თეორიასა და პრაქტიკას აერთებს, არის გეოლოგიური რუკა. ის ჩვეულებრივ ტოპოგრაფიულ რუკას წარმოადგენს, რომელზეც ნაჩვენებია სხვადასხვა ქანის გავრცელება, მათი გეოლოგიური ასაკი და ის, თუ როგორ არიან ისინი განლაგებულნი. ამრიგად, გეოლოგიური რუკა დედამიწის ზედაპირის ამგები ქანების ერთგვარი დოკუმენტური გამოსახულებაა.

გეოლოგიური მეცნიერების ყველა დარგი, აგრეთვე გეოლოგიური რუკა აუცილებელია სასარგებლო წიაღისეულის ძიებისა და დაზვერვის წარმატებით განსახორციელებლად.

თანამედროვე მრეწველობა უამრავ სხვადასხვა მინერალურ ნედლეულს მოითხოვს. რკინისა და ქვანახშირის გარეშე წარმოუდგენელია მეურნეობის რომელიმე დარგი; უნავთობოდ მთელი „მოძრავი“ ტექნიკა გაჩერდებოდა, ხოლო თანამედროვე ქიმიას სხვადასხვა სინთეზური მასალების წარმოების საშუალება აღარ ექნებოდა. იშვიათი ელემენტების გარეშე შეუძლებელია მეტალურგიაში, ქიმიაში, მანქანათმშენებლობაში, ავიაციაში, კოსმონავტიკაში გამოყენებული სხვადასხვა ურთულესი მანქანისა და უზუსტესი ხელსაწყოს დამზადება. ფერად მეტალებს — სპილენძს, თუთიას, კალას, ტყვიას, ალუმინს, შაგნიუმს მრეწველობა ვერ შეელევა. შეუძლებელია ნიადაგის ნაყოფიერების გაზრდა ე. წ. აგრონომიული მადნების — ფოსფორიტების, აპატიტისა და კალიუმის მარილების გამოუყენებლად.

გადაუჭარბებლად შეიძლება ითქვას, რომ მინერალური წარმოშობის მასალები ჩვენი დროის მთელი მეურნეობის მატერიალურ ბაზას წარმოადგენს.

ყოველწლიურად დედამიწის წიაღიდან სხვადასხვა სასარგებლო წიაღისეულის არანაკლებ 4 — 5 მლრდ ტონა მადანს იღებენ და ამუშავებენ. მიუხედავად ამისა, სახალხო მეურნეობას ყოველ წელს სულ უფრო მეტი სასარგებლო წიაღისეული სჭირდება.

პარტიის XXII ყრილობაზე მიღებული პროგრამა გეოლოგებს უდიდეს პრაქტიკულ ამოცანებს უსახავს: ქვეყნის მოთხოვნილება სხვადასხვა სახის მინერალურ ნედლეულზე მრავალი წლით ადრე უნდა დაკმაყოფილდეს.

ჩვენს ქვეყანაში გულმოდგინედ მიმდინარეობს სხვადასხვა მინერალური ნედლეულის ძიება და დაზვერვა, რასაც ასიათასობით სპეციალისტის — გეოლოგების, მაძიებლებისა და მაღაროელების — მუდმივად მზარდი მრავალრიცხოვანი არმია ახორციელებს.

თუ ცოტა ხნის წინ გეოლოგი ველზე მარტო ან ნიმუშების შემგროვებლის (კოლექტორის) თანხლებით მუშაობდა, ახლა გეოლოგიური პარტიები ყველა სახის ტრანსპორტით (ავტომანქანებით, თვითმფრინავებით, შვეულმფრენებით), რადიოსადგურებით, გეოფიზიკური ხელსაწყოებითა და საველე ქიმიური ლაბორატორიებით უზრუნველყოფილ ათობით და ასობით სპეციალისტისგან შემდგარ დიდ კოლექტივებს წარმოადგენს.

მიწის ქერქის სიღრმის აგებულებაზე გეოლოგებმა ჯერ ძალზე ცოტა რამ იციან, ვინაიდან მხოლოდ ზედა ნაწილზე შეიძლება უშუალო დაკვირვება. მრავალი მიზეზის გამო დედამიწის სიღრმეების შესწავლას ფრიად დიდი მნიშვნელობა აქვს. მეცნიერებამ უკვე აღიარა დედამიწის ღრმა წიაღის დიდი ზეგავლენა მინერალური ნედლეულის საბადოთა წარმოქმნის პროცესებზე. ვულკანური მოვლენები და მიწისძვრები მიწის სიღრმესთან არის დაკავშირებული. ამიტომაც დედამიწის ქერქის სიღრმისა და ქერქქვეშა ნაწილის უშუალო გამოკვლევის გარეშე შეუძლებელია დედამიწის აგებულებისა და შემადგენლობის ცოდნის შემდგომი ზრდა, აგრეთვე იმის გადაწყვეტა, როგორ წარმოიქმნება სასარგებლო წიაღისეულის საბადოები.

ჩვენი ტექნიკის მაღალი დონე გეოლოგებს საშუალებას აძლევს მატერიკზე და ოკეანის ფსკერზე 10 — 15 კმ სიღრმემდე ბურღონ. საბჭოთა კავშირში უკვე შეუდგნენ ასეთი ბურღვისათვის მზადებას.

მეცნიერი გეოლოგებისა და პრაქტიკოსების მეორე უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა დედამიწის განსაზღვრულ რაიონებში სასარგებლო წიაღისეულის განლაგების მეცნიერული პროგნოზის (წინასწარმეტყველების) საფუძველთა დამუშავება. სხვადასხვა საბადოს განლაგების კანონების დადგენით გეოლოგები ისეთი პროგნოზული რუკების შედგენას შეძლებენ, რომლებიც უზრუნველყოფენ ე. წ. „ბრმა“ მადნების, ანუ მიწაში ღრმად განლაგებულ საბადოთა წარმატებით ძიებას.

აქამდე გეოლოგებს მარტო ხმელეთი აინტერესებდათ, ახლა კი მათ ოკეანის ფსკერის (მას დედამიწის ზედაპირის მთელი ფართობის 71% უჭირავს) გეოლოგიის შესწავლაც დაიწყეს. გეოფიზიკურმა გამოკვლევებმა ცხადყვეს, რომ კონტინენტებისა და ოკეანეების ქვეშ დედამიწის ქერქის აგებულებასა და სიმძლავრეს შორის განსხვავებაა.

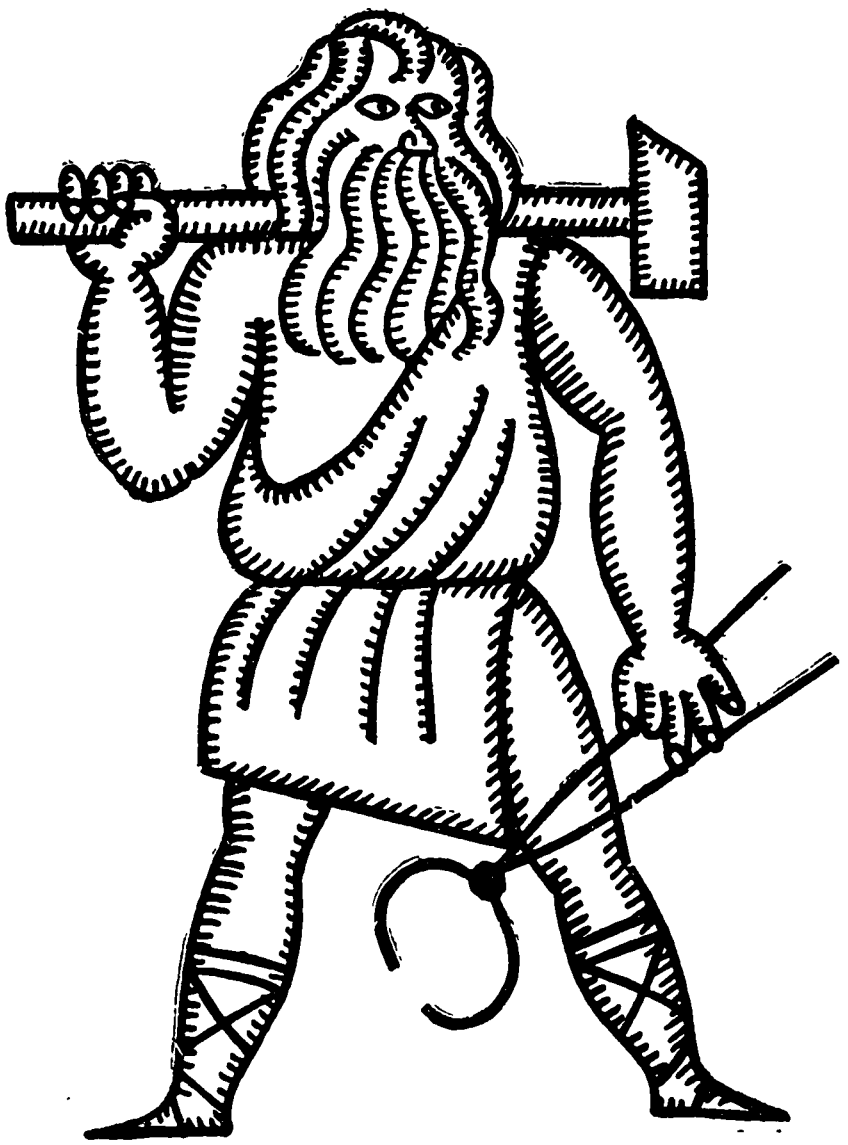
ასეთი გამოკვლევები მარტო მეცნიერებას როდი ამდიდრებს, მათ მნიშვნელოვანი პრაქტიკული შედეგებიც ახლავს.

უახლოეს ათწლეულებში შესაძლებელია მატერიკული მეჩეჩისა და კონტინენტის გვერდობის გეოლოგიური აგეგმვაც კი განხორციელდეს.

გაიზრდება ზღვის ფსკერიდან ნავთობის ამოღება, ოკეანის ფსკერზე კი მარგანეცის მადნისა და მძიმე მინერალების ქვიშრობების დამუშავებას დაიწყებენ.

გეოლოგიური მეცნიერების წარმატებები ადამიანებს აიარაღებს, საშუალებას აძლევს, იბატონოს ბუნებასა და დედამიწის წიაღის სიმდიდრეებზე.

ჩვენს ქვეყანაში გეოლოგის შრომა საპატიოა და კეთილშობილური. იგი ემსახურება დიად საქმეს — კომუნიზმის მშენებლობას.





დედამიწის შინაგანი აგებულება

მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისაკენ

ზაფხული ყველაზე კარგი დროა ბუნებაზე საინტერესო დაკვირვებებისათვის.

ხევში ან მდინარის ჩამორეცხილ ნაპირზე შესანიშნავად მოჩანს, როგორ გადადის მცენარეთა ფესვებიანი ნიადაგის თხელი ფენა უფრო მკვრივ, მიწისებრ ან ღორღის ფენაში — გრუნტში. გრუნტამდე კიდევ აღწევენ მცენარეების ფესვები, მაგრამ უფრო ღრმად, ჩვეულებრივ, თიხის, ქვიშისა და მაგარი ქანების დაშრევება გვხვდება.

ამ სხვადასხვანაირი ქანებისაგან შედგება დედამიწის ყველაზე ზედა მაგარი გარსი, ანუ დედამიწის ქერქი. აქ განლაგებულია წიაღისეული სიმდიდრე: ნახშირი, ნავთობი, რკინა და სხვა მადნეული, ძვირფასი და სანაკეთო ქვები. სასარგებლო წიაღისეულის ძებნისას ადამიანებმა ჯერ კიდევ ათასობით წლის წინ ჩააღწიეს დედამიწის ქერქის სიღრმეში და შენიშნეს, რომ, რაც უფრო ღრმად მიმდინარეობდა სამთო სამუშაოები,

მით უფრო მაღალი იყო ტემპერატურა. გარდა ამისა, მოქმედ ვულკანებზე დაკვირვებამ ადამიანი იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ გარკვეულ სიღრმეზე ქანები გამლღვალია. ადამიანებმა, რომლებიც ცდილობდნენ ვულკანების მრისხანე მოქმედება აეხსნათ, უამრავი ლეგენდა შექმნეს. ძველ ბერძნებს ვულკანები ცეცხლის ღმერთის, ჰეფესტოს, სამფლობელოებად მიაჩნდათ. განსაკუთრებით დიდ ინტერესს იწვევდა კ. სიცილიაზე მდებარე ვულკანი ეტნა. ბერძენი პოეტის პინდარეს (V ს. ძვ. წ.) აზრით ეტნას ამოქმედებდა ასთავიანი ტიფონი (ძველბერძნულ მითოლოგიაში — დედამიწის ქალღმერთის გეას შობილი საზარელი, ცეცხლისმფრქვეველი ურჩხული), რომელიც მთის გულში იყო ჩამწყვდეული იმიტომ, რომ ზევსს აუჯანყდა.

ფილოსოფოს ემპედოკლეს (V ს. ძვ. წ.) აზრით, რომელიც მოქმედ ვულკანებსა და ცხელ წყაროებს იმოწმებდა, დედამიწის შიგა ნაწილები გამლღვალი უნდა ყოფილიყო. ემპედოკლე შეუდგა ვულკან ეტნას შესწავლას, რომლის ფერდობებზე დროდადრო ლავის უზარმაზარი ნაკადები მოედინებოდა და ათობით კილომეტრ მანძილზე ფარავდა მიდამოს. იგი უშიშრად ჩავიდა ვულკანის კრატერში, მაგრამ დაიღუპა.

იმ უხსოვარი დროიდან კაცობრიობამ განვითარების დიდი გზა განვლო. დაგროვდა უამრავი ფაქტი, რომლებიც მეცნიერებმა ჰიპოთეზებად ჩამოაყალიბეს.

XVIII ს. მეცნიერებაში გაბატონდა აზრი, თითქოს დედამიწის შიგნით მოთავსებული იყო ცეცხლოვან-თხევადი ბირთვი. ამ ვარაუდის საფუძველზე სწავლულები ლოგიკურად ასაბუთებდნენ, რომ ტემპერატურა მატულობდა დედამიწის წიაღში ღრმად ჩასვლასთან ერთად. ასაბუთებდნენ აგრეთვე ვულკანურ ამოფრქვევებსაც. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, მეცნიერება დედამიწის წარმოშობისა და მისი აგებულების შესახებ მხოლოდ ამ საუკუნის ბოლოს შექმნეს კანტმა და ლაპლასმა.

გერმანელმა ფილოსოფოსმა ემანუილ კანტმა და ცოტა უფრო მოგვიანებით ფრანგმა ასტრონომმა და მათემატიკოსმა პიერ სიმონ ლაპლასმა წამოაყენეს ჰიპოთეზა, რომლითაც ცდილობდნენ მოეცათ მზის სისტემის პლანეტების წარმოშობის სურათი.

კანტის აზრით მზის სისტემის წარმოშობამდე არსებობდა ცალ-ცალკე მოძრავი ნაწილაკებისაგან შემდგარი ნისლეული. ამ ნაწილაკების ერთმანეთთან შეჯახების შედეგად დროთა განმავლობაში მათი მოძრაობა მოწესრიგდა. ნაწილაკების ურთიერთსიახლოვისა და შეკავშირების გამო ნისლეული თანდათან გახურდა. გახურებულმა მბრუნავმა აირადმა ნისლეულმა გაბრტყელებული ფორმა მიიღო და თავისი სიდიდით პლანეტთა სისტემას გადააჭარბა. ამის შემდეგ ბრუნვის სიჩქარის გადიდების გამო ნისლეულს თანდათან მოშორდა ნივთიერებათა ფენები და წარმოიშვა რგოლები. თვითეული ეს რგოლი მისი შემადგენელი ნაწილების ურთიერთმიზიდულობის ძალის გავლენით შეიკუმშა და იქცა ბურთისმაგვარ სხეულად — პლანეტად. თავდაპირველად პლანეტა გავარვარებული იყო, მაგრამ შემდეგ, სითბოს გამოსხივების შედეგად, თანდათან გაცივდა. ნისლეულის ცენტრალური ნაწილი შეკუმშვისა და მთელი რიგი რგოლების მოცილების შემდეგ მზედ იქცა.

კანტისა და ლაპლასის ჰიპოთეზების თანახმად დედამიწის ბირთვი ცეცხლოვან-თხევადია, ხოლო ქერქი — ოდესღაც ცეცხლოვან-თხევადი ბურთის გაცივების პროდუქტი.

ცოტა მოგვიანებით, მართალია გაუშედავად, მაგრამ მაინც გაისმა სწავლულების ხმა, რომლებიც არ ეთანხმებოდნენ კანტ-ლაპლასის ჰიპოთეზას. ამ პატარა ჯგუფს რუსეთში ეკუთვნოდა გამოჩენილი მეცნიერი, აკადემიკოსი ვ. ვერნადსკი. ვერნადსკის აზრით, დედამიწა არასოდეს არ ყოფილა ცეცხლოვან-თხევადი მასა. ეს აზრი დღეს სავსებით მიღებულია მეცნიერებაში. თანამედროვე გეოფიზიკოსებისა და გეოლოგების უმრავლესობა უარყოფს დედამიწის წარმოშობის ცეცხლოვან-თხევად სტადიას და მისი გარსების გახურებას რადიოაქტიური დაშლის პროცესებით ხსნის.

საბჭოთა მეცნიერების ჯგუფმა აკადემიკოს ო. შმიდტის ხელმძღვანელობით მეტად საინტერესო კოსმოგონიური[1] ჰიპოთეზა წამოაყენა პლანეტების წარმოშობის შესახებ. ამ ჰიპოთეზის თანახმად, პლანეტები წარმოშობილია იმ კოსმოსური მტვრის ღრუბლებისაგან, რომელიც ოდესღაც მზის ირგვლივ ბრუნავდა. ო. შმიდტის აზრით ასეთი მტვრის ღრუბელი მისი შემადგენელი ნაწილების ურთიერთშეჯახების შედეგად მალე უნდა გადაქცეულიყო მზის ირგვლივ მდებარე ბრტყელ ფენად.

[1] კოსმოგონია — მეცნიერება ციური სხეულებისა და მათი სისტემების წარმოშობის შესახებ.

ურთიერთმიზიდულობის ძალის გავლენით ეს ფენა ცალკეულ შემკვრივებათა სისტემად იქცა, რომელთაგანაც შემდეგში პლანეტები წარმოიშვა. ო. შმიდტის აზრით დედამიწა ყოველთვის ცივი იყო და ამიტომაც მისი ქერქი სულაც არ წარმოადგენს დედამიწის გავარვარებული თხევადი მასის გაცივების შედეგად წარმოშობილ „წიდას“. ჩვენი პლანეტის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილი, დედამიწის ქერქი, თავდაპირველად ცივი იყო და მხოლოდ შემდეგ იწყო გახურება სხვადასხვა, პირველ რიგში, რადიოაქტიური პროცესების შედეგად.

მაგრამ დღეს მარტო ჰიპოთეზები როდი ეხმარება მეცნიერებს, რომ ჩაწვდნენ დედამიწის აგებულებას. ამისათვის შემუშავებულია კვლევის ფრიად ზუსტი გეოფიზიკური[1] მეთოდები, რომლებიც ემყარება მიწისძვრებითა და ხელოვნური აფეთქებებით გამოწვეული დედამიწის ქერქის რხევების შესწავლას. ამ რხევებს სწავლობს გეოფიზიკის განსაკუთრებული დარგი სეისმოლოგია. მიწისძვრებისა და ხელოვნური აფეთქებების დროს დედამიწაში წარმოიშვება სეისმური ტალღები. ხაზებს, რომელთა გასწვრივაც სეისმური რხევები ვრცელდება, სეისმური სხივები ეწოდება. არსებობს ორი სახის რხევა: სიგრძივი და განივი.

სიგრძივი ტალღები ვრცელდება მყარ სხეულში აფეთქების ადგილიდან ან მიწისძვრის ცენტრიდან და იწვევს დედამიწის ნივთიერებათა ნაწილაკების შეკუმშვასა და გაიშვიათებას, რის დროსაც ეს ნაწილაკები ტალღების გავრცელების მიმართულებით ირხევა. განივი ტალღები კი არის ნაწილაკთა რხევები დედამიწაში, რომლებიც პერპენდიკულარულია სეისმური სხივისა.

მიწისძვრების კერები დედამიწის სიღრმეში მდებარეობს და ხანდახან რამდენიმე ასეული კილომეტრითაა დაშორებული ზედაპირიდან. სეისმურ ტალღებს სეისმურ სადგურში იღებენ და საგანგებო ხელსაწყოებით — სეისმოგრაფებით იწერენ. ამასთან იწერება არა მარტო უშუალოდ მიწისძვრის კერისა და აფეთქების ადგილიდან მომავალი პირდაპირი ტალღები, არამედ ისეთი ტალღებიც, რომლებიც გადატყდა ან აირეკლა სხვადასხვა თვისებებიანი ქანების გამყოფ საზღვრებზე.

თვითეული მიწისძვრა იწვევს რხევით მოძრაობებს, რომლებიც ყოველმხრივ ვრცელდება მიწისძვრის კერის გარშემო.

დედამიწა რომ ერთგვაროვანი სხეული ყოფილიყო, მაშინ სეისმური ტალღები სწორხაზოვნად და ერთნაირი სისწრაფით გავრცელდებოდა. დედამიწაში სხვადასხვაგვარი ტალღების გავრცელების სიჩქარემ ცხადყო, რომ დედამიწა შედგება დაახლოებით კონცენტრული ზონების რიგისაგან, რომელთაც სხვადასხვანაირი სიმკვრივე და უთუოდ სხვადასხვანაირი აგებულება აქვთ.

გავიხსენოთ ჟ. ვერნის საინტერესო რომანი „მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისაკენ“. მწერალი მოგვითხრობს დედამიწის ქერქის აგებულებისა და მასზე სიცოცხლის განვითარების შესახებ ისე, როგორც ეს XIX ს. მეორე ნახევრის მეცნიერებს ჰქონდათ წარმოდგენილი.

მოდი, ჩვენც გავემგზავროთ დედამიწის ცენტრისაკენ.

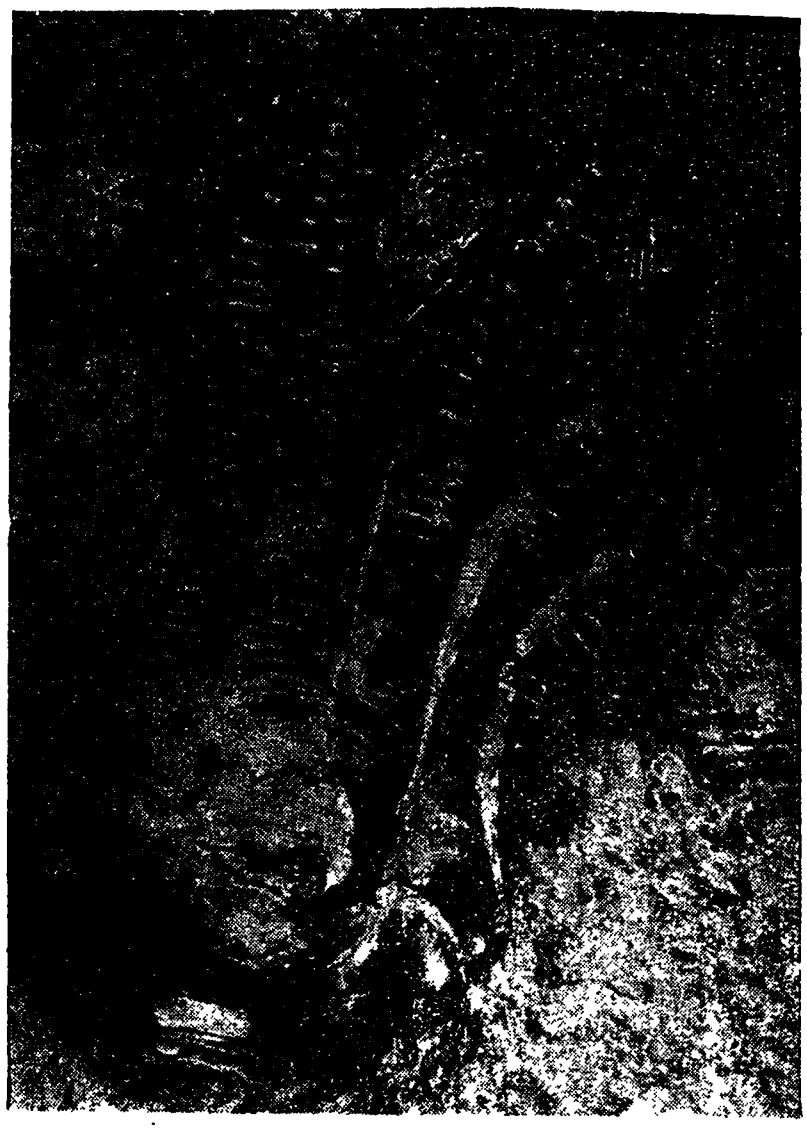
დედამიწის ქერქის ყველაზე ზედა ნაწილები შედგება უმთავრესად დანალექი ქანების შრეებისაგან, რომლებიც წარმოშობილია სხვადასხვაგვარი წვრილი ნაწილაკების დალექვით ზღვებსა და ოკეანეებში. ამ შრეებში ჩამარხულია იმ ცხოველთა და მცენარეთა ნაშთები, რომლებითაც დედამიწა შორეულ წარსულში იყო დასახლებული.

ეს ნაშთები დროთა განმავლობაში გაქვავდა და მათი შემცველი შრეების მიხედვით მეცნიერებს შესაძლებლობა აქვთ აღადგინონ დედამიწაზე სიცოცხლის განვითარების ისტორია. დანალექი ქანების საერთო სიმძლავრე (სისქე) 15—20 კმ არ აღემატება. მათში სიგრძივი რხევების გავრცელების სიჩქარე 2-დან 5 ათასამდე მ/წმ უდრის.

მაგრამ დანალექი ქანების ქვეშ რაღაა? ამ კითხვაზე პასუხს იძლევა ერთის მხრივ ქანების გაშიშვლებები და ჭაბურღილები და მეორეს მხრივ სეისმური ტალღები. აღმოჩნდა, რომ სეისმური ტალღები დედამიწის სიღრმეში კონტინენტებსა და ოკეანეების ფსკერზე სხვადასხვანაირი სიჩქარით ვრცელდება. ამის გამო მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ დედამიწაზე არსებობს მაგარი ქერქის ორი სახე: კონტინენტური და ოკეანური.

კონტინენტური ტიპის ქერქის სიმძლავრე საშუალოდ 30—40 კმ, მაგრამ ზოგიერთი მთის

[1] გეოფიზიკა — მეცნიერება დედამიწის ფიზიკურ თვისებებსა და იმ ფიზიკურ პროცესებზე, რომლებიც მიმდინარეობს მის მაგარ, თხევად და ჰაერის გარსებში.



დანალექ ქანებში გვხვდება იმ ცხოველური ორგანიზმების ნაშთები, რომლებითაც წარსულში ჩვენი პლანეტა იყო დასახლებული.

ქვეშ 80 კმ აღწევს. დედამიწის ქერქის კონტინენტური ნაწილი მთელ რიგ ფენებად იყოფა, რომელთა რიცხვი და სიმძლავრე რაიონების მიხედვით იცვლება. ჩვეულებრივ, დანალექი ქანების ქვემოთ აღნიშნავენ ორ მთავარ ფენას: ზედას — „გრანიტულს“, რომელიც ფიზიკური თვისებებით გრანიტს წააგავს (მდიდარია კაჟმჟავათი) და ქვედას — „ბაზალტურს“, უფრო მძიმე ქანების შემცველს (ვარაუდობენ, რომ იგი უმთავრესად ბაზალტისაგან შედგება). თვითეული ამ ფენის სისქე საშუალოდ 15 — 20 კმ. მაგრამ ხშირია ისეთი ადგილები, სადაც არ ჩანს მკვეთრი ზღვარი გრანიტისა და ბაზალტის ფენებს შორის და ამიტომ, ზოგიერთი მკვლევარის აზრით, დედამიწის ქერქის შემადგენლობა სიღრმესთან ერთად თანდათან იცვლება.

ო კ ე ა ნ უ რ ი ქერქი გაცილებით უფრო თხელია (5 — 8 კმ). შემადგენლობითა და თვისებებით იგი კონტინენტების ბაზალტური ფენის ქვედა ნაწილს წააგავს, ე. ი. შედგება ბაზალტისაგან ანდა რკინითა და მაგნიუმით მდიდარი ქანებისაგან. მაგრამ ქერქის ეს სახე დამახასიათებელია მხოლოდ ოკეანეთა ფსკერის ღრმა უბნებისათვის, რომლებიც არა უმცირეს 4000 მ სიღრმეზე მდებარეობს. ოკეანეების ფსკერზე არის ადგილები, სადაც დედამიწის ქერქს კონტინენტური ანდა შუალედი სახე აქვს.

ბევრი საინტერესო ცნობაა მიღებული ლაბორატორიებში ქანების ფიზიკური თვისებებისა და მათში სეისმური ტალღების გავლის შესახებ. ამ ცნობებით სარგებლობენ მეცნიერები სეისმოგრაფების ჩანაწერების ახსნისა და სხვადასხვა თვისებების მქონე ფენებს შორის საზღვრების დადგენისას. ბაზალტური შრე მისი მომდევნო შრისაგან გამოყოფილია ზედაპირით, რომელსაც ა. მ ო ხ ო რ ო ვ ი ჩ ი ჩ ი ს ზ ე დ ა პ ი რ ი[1] ეწოდება. ამ ზედაპირის ქვევით სეისმური ტალღების სიჩქარე ნახტომისებურად იზრდება 8,2 მ/წმ-მდე, რაც უთუოდ დედამიწის ნივთიერებათა გამკვრივებითაა გამოწვეული.

დედამიწის ყველა უბანზე ჩატარებული დაკვირვებების შედეგად მოხოროვიჩიჩის ზედაპირი პირობითად მიჩნეულია დედამიწის ქერქის ქვედა საზღვრად. მას მოსდევს დედამიწის გარსი, ანუ მანტია, რომელიც 2900 კმ სიღრმეზე ვრცელდება დედამიწის გარსი სამ: ზედა, გარდამავალ და ქვედა ფენად იყოფა. გარდამავალ ფენას ახასიათებს სეისმური ტალღების სიჩქარისა და დედამიწის ნივთიერების ელექტროგამტარობის უნარის ზრდა. მეცნიერთა უმრავლესობის აზრით გარდამავალ ფენაში იცვლება ნივთიერების შედგენილობა, ანდა მისი შემადგენელი მინერალები იცვლიან მდგომარეობას, რომლის დროსაც მათი ატომები უფრო მჭიდროდაა განლაგებული.

გარსის ქვედა ფენა ზედასთან შედარებით ერთგვაროვანია.

100 — 150 კმ სიღრმეზე შეიმჩნევა სეისმური ტალღების სიჩქარის მცირეოდენი შენელება. ვარაუდობენ, რომ ამ ფენაში ტემპერატურა ლღობის ტემპერატურას უახლოვდება, რასაც მიწისძვრის კერების სიმცირეც ადასტურებს. მეცნიერების აზ-

[1] მისი აღმომჩენი იუგოსლავიელი მეცნიერის სახელის მიხედვით.

რით, მანტიის ზედა ნაწილი თავისი ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობით ახლოს დგას მნიშვნელოვანი სიმკვრივის მქონე, მაგნიუმითა და რკინით მდიდარ ქანებთან. ეს ქანები, რომლებსაც პერიდოტიტები ეწოდება, დედამიწის ზედაპირის სიახლოვეს გვხვდება.

ჩვენ გვაქვს ზოგიერთი რეალური საბუთი ამ ქერქქვეშა გარსის არსებობის შესახებ. მაგალითად, სამხრეთ აფრიკისა და იაკუტიის ალმასის მაღაროებში უხვად გვხვდება დიდი სიღრმეებიდან ამოტანილი პერიდოტიტული ქანების ნატეხები.

დედამიწის ქერქის ზედა ნაწილებში მიმდინარე გეოლოგიურ პროცესებზე დიდ გავლენას ახდენს წიაღში მიმდინარე პროცესები. მეცნიერები თანდათან უფრო რწმუნდებიან, რომ დედამიწის ქერქის მოძრაობა, რომელიც წარმოშობს მთებს, ნაპრალებს, წყვეტებს, მიწისძვრებსა და ვულკანიზმს, მანტიის ზედა ნაწილის ენერგიის წყაროებითა და ნივთიერების გამონაყოფებითაა გაპირობებული. ამიტომ მანტიის ზედა ნაწილების შესწავლას უდიდესი მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება. ამერიკის შეერთებულ შტატებში შეიმუშავეს დედამიწის ქერქის გაბურღვის პროექტი ოკეანეების ქვეშ მანტიამდე. ბურღვა დაიწყეს 1961 წ. საგანგებოდ აგებული ბარჟებიდან მექსიკის ჩრდილო-დასავლეთ სანაპიროსთან მდებარე პატარა კუნძულის მახლობლად. 3600 მ სიღრმეზე წყლის ქვეშ გაყვანილი იყო დაახლოებით 200 მ ჭაბურღილი. ამის შემდეგ ბურღვა შეწყდა სხვადასხვა დაბრკოლებების გამო, ახლა კი ისევ არჩევენ ახალ ადგილს გასაბურღად.

თანამედროვე გეოფიზიკამ შეიმუშავა ხერხები, რომელთა საშუალებითაც შეიძლება გამოკვლეულ იქნას დედამიწის მასალის განლაგება სიმკვრივისა და დრეკადობის მიხედვით მის წიაღში.

დედამიწის გარსის (მანტიის) სიმკვრივის ცვალებადობა იმდენად შემადგენლობის ცვლაზე არ უნდა იყოს დამოკიდებული, რამდენადაც წნევაზე, რომელიც დიდ სიღრმეზე უზარმაზარი სიდიდისაა.

მაგალითად, წნევა ზედაპირის ერთეულზე უდრის:

სიღრმე კილომეტრებში	წნევა ატმოსფეროებში
5	1350
50	13500
800	296100
3200	1677900

მანტიის ქვეშ მოთავსებულია დედამიწის ბირთვი. ბირთვის გარეთა ნაწილი სითხის თვისებებს ამჟღავნებს: მასში ვერ გადის განივი ტალღები. დედამიწის ბირთვის რადიუსი 3471 კმ-ია. გარსიდან (მანტიიდან) ბირთვის მიმართულებით ნივთიერების ფიზიკური თვისებები მკვეთრად იცვლება. ამის მიზეზი, ალბათ, ის არის, რომ დიდი წნევის დროს იცვლება დედამიწის ნივთიერების ატომური სტრუქტურაც.

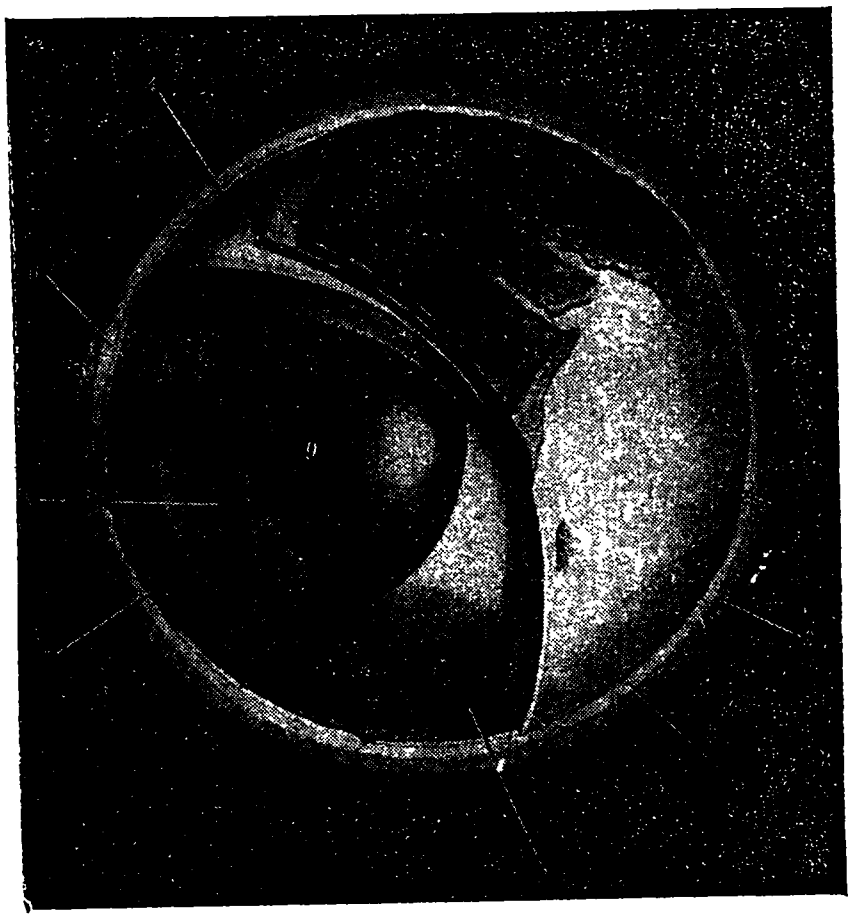
სიღრმის ზრდასთან ერთად დედამიწის ტემპერატურა 2000 — 3000°-მდე აღწევს. უფრო სწრაფად იგი დედამიწის ქერქში იზრდება, შემდეგ იწყებს შენელებას და დიდ სიღრმეებზე უთუოდ მუდმივი რჩება.

დედამიწის სიმკვრივე იზრდება 2,6-დან (ზედაპირზე) 6,8-მდე (ბირთვის საზღვარზე). თვით ბირთვში იგი 10-ს აღწევს, ხოლო ცენტრალურ ნაწილებში 12-ს აღემატება.

სულ ახლახან ფიქრობდნენ, რომ ბირთვს აქვს რკინოვანი შემადგენლობა, რკინის მეტეორიტების მსგავსი, ხოლო გარსს — სილიკატური, ქვის მეტეორიტების შესაბამისი. ზოგიერთ მეცნიერს მიაჩნია, რომ სიმკვრივის ასეთი ნახტომისებური ცვლა და ბირთვის საზღვართან სიმყარის მკვეთრი შემცირება აიხსნება არა ნივთიერების ქიმიური შემადგენლობის ცვლით, არამედ ფიზიკურ-ქიმიური პროცესით — ატომების ელექტრული გარსის ნაწილობრივი დაშლით 1,4 მლნ ატმოსფერო წნევის დროს. ელექტრონების ბირთვიდან მოშორება, რაც დიდი წნევისა და ტემპერატურის გავლენით ხდება, მკვეთრად ამკვრივებს ნივთიერებას და ახალ თვისებებს სძენს მას.

ამ პროცესს მეცნიერებმა უწოდეს ნივთიერების გადასვლა მეტალურ ფაზაში. მაგრამ ცდებმა, რომლებიც ამას წინათ ჩატარდა საბჭოთა კავშირში 3 მლნ ატმოსფერო წნევის პირობებში, ჯერჯერობით ვერ დაადასტურა ნივთიერების მსგავსი ცვლილებების არსებობა დედამიწის ბირთვში.

ბირთვში ზედაპირიდან 5100 კმ მანძილზე მოთავსებულია შიგა ბირთვი, ანუ ბირთვული. ის, როგორც ჩანს, მყარია. მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ დედამიწის წიაღში მატერიის არსებობის პირობები მკვეთრად განირჩევა ზედაპირის პირობებისა და აგრეთვე იმ პირობებისაგან, რომლებიც ლაბორატორიებშია შექმნილი.



ჩვენი პლანეტის აგებულების სქემა:
1 — ატმოსფერო; 2 — სტრატოსფერო; 3 — ტროპოსფერო; 4 — ჰიდროსფერო; 5 — გრანიტის ფენა; 6—ბაზალტის ფენა; 7 — დედამიწის შიგა გარსის ქერქქვეშა ნაწილი (მოხოროვიჩიჩის ზედაპირი); 8 — დედამიწის შიგა გარსი; 9 — დედამიწის ბირთვი (ბირთვული).

გეოფიზიკოსების აზრით, კონტინენტები წარმოიშვა დედამიწის გარსში (მანტიაში) 600 — 700 კმ სიღრმეზე პერიოდულად გამოყოფილი უზარმაზარი ენერგიის შედეგად. ამ მოვლენასთანაა დაკავშირებული დაყოფის (დიფერენციაციის) პროცესი, რაც იწვევს დედამიწის გარსის ცალკეული უბნების გაღარიბებას კაჟმჟავათი, ალუმინის ჟანგითა და ტუტე მეტალებით, მათ ამოტანას ზევით დედამიწის ქერქზე, სადაც ისინი კონტინენტებს წარმოქმნიან. ამრიგად, სეისმურ მონაცემებზე დაყრდნობით, დედამიწა შეიძლება ფიზიკური თვისებებით ერთმანეთისაგან განსხვავებულ შემდეგ ზონებად დაიყოს: დედამიწის ქერქი, ზედა მანტია გარდამავალი ფენა, ქვედა მანტია, გარეთა ბირთვი და შიგა ბირთვი.

მანტიასა და ბირთვზე ჯერჯერობით არ არსებობს რაიმე გარკვეული, ერთხმად აღიარებული შეხედულება.

დედამიწის მთლიანად შესწავლისას მეცნიერებმა უკვე დიდი ხანია გამოყვეს მისთვის დამახასიათებელ გარსთა რიგი: ჰაერის გარსი ანუ ატმოსფერო, თხევადი გარსი, ანუ ჰიდროსფერო (ჰიდრო — წყალი) და მაგარი გარსი — ლითოსფერო (ლითოს — ქვა), ანუ, როგორც მას დღეს უწოდებენ, დედამიწის ქერქი. XX ს. დასაწყისში გამოჩენილმა რუსმა მეცნიერმა ვ. ვერნადსკიმ დიდად განავითარა მოძღვრება დედამიწის გარეგანი გარსების შესახებ. მან დამატებით გამოყო წყვეტილი ყინულის გარსი და ბიოსფერო — არე, რომელიც ცოცხალ ორგანიზმებს უჭირავთ. გეოფიზიკოსებმა, როგორც უკვე ვიცით დედამიწის შინაგანი აგებულება სიღრმისეულ გარსთა რიგისა და ცენტრალური ბირთვის სახით წარმოსახეს.

გეოფიზიკის მონაცემების მეოხებით ყოველწლიურად უფრო და უფრო იოლი ხდება დედამიწის აგებულებაში გარკვევა, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა დამყარდეს კავშირი დედამიწის ქერქსა და წიაღში მიმდინარე მთელ რიგ მნიშვნელოვან გეოლოგიურ პროცესებს შორის. აი, რატომ არის ასე საჭირო და საინტერესო დედამიწის აგებულების შესწავლა.

კრისტალების სამყაროში

დავიწყოთ უბრალო ცდიდან. ჭიქაში ერთ მეოთხედზე ჩაასხით წყალი, შიგ ნელ-ნელა ჩაყარეთ სუფრის მარილი და კოვზით მოურიეთ. თავიდან მარილი ადვილად გაიხსნება, მერე და მერე უფრო ძნელად და ბოლოს, რამდენიც არ უნდა ურიოთ, მარილის ახალ-ახალი ულუფა გაუხსნელი დარჩება.

გადმოასხით მარილის ხსნარი ლამბაქზე, ან უმჯობესია, რაიმე ლითონის ჭურჭელზე და ქურაზე შეათბეთ. წყალი თანდათან აორთქლდება, ლამბაქზე კი მარილის ნამცეცები დარჩება. თუ ყურადღებით დააკვირდებით, დაინახავთ, რომ ეს ნამცეცები იზრდება. აი, მთელი წყალი აორთქლდა, ახლა



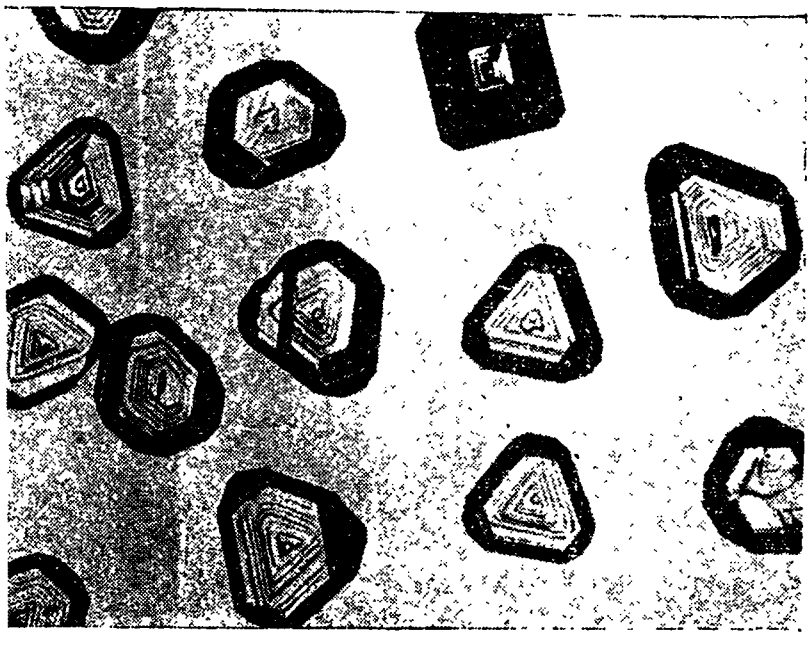
ბუნებრივი ფლუორიტის კრისტალები.

ნარჩენილ მარილის ნამცეცებს გამადიდებელი შუშით დახედეთ. რას დაინახავთ საინტერესოს? თვითეულ ნამცეცს სწორი, სარკესავით კრიალაგვერდებიანი კუბის ფორმა ექნება. რა მოხდა? სუფრის მარილის კ რ ი ს ტ ა ლ ე ბ ი გ ა ი ზ ა რ დ ა.

გამადიდებელი შუშით დახედეთ შაქრის ფხვნილს. აქაც თვითეული ნამცეცი კრისტალია, მაგრამ მარილის კრისტალისაგან განსხვავებით, შაქრის კრისტალი მოყვანილობით უფრო რთულია. ნატეხ შაქარში შეუიარაღებელი თვალითაც კარგად ჩანს, როგორ ბრწყინავს ალაგ-ალაგ ერთმანეთთან მკვიდროდ მიკრული კრისტალების — წესიერი მრავალწახნაგების — გვერდები. შაქრის ეს კრისტალებიც თ ვ ი თ ო ნ გ ა ი ზ ა რ დ ნ ე ნ გამდნარი შაქრის სიროფიდან.

ძნელი არ არის გაზარდოთ სხვა კრისტალებიც. შაბიამანი სამეურნეო მაღაზიებში იყიდება, თეთრი შაბი კი — ქიმიკატებში. გარდა ამისა, თქვენი სკოლის ლაბორატორიაშიც იქნება სხვადასხვა ნივთიერება. გახსენით რომელიმე მათგანი ცხელ წყალში იმდენი, რამდენიც გაიხსნება, და შემდეგ ხსნარი დადგით გრილ, მყუდრო ადგილას. მეორე დღეს ნახავთ, რომ ჭილაში ლამაზი, მრავალწახნაგა კრისტალები გაზრდილა. თუ ჭილაში ძაფს ჩაუშვებთ, კრისტალები ზედ მიეზრდება და თქვენც შეგიძლიანიშნავი სამკაული გექნებათ საახალწლო ნაძვისთვისათვის.

მსგავსი წესიერი მრავალწახნაგა კრისტალები ქვებს შორისაც გვხვდება. ხშირად მიწაში ისეთ



შაბის პატარა კრისტალები, რომლებიც ხსნარიდან გაზარდეს.

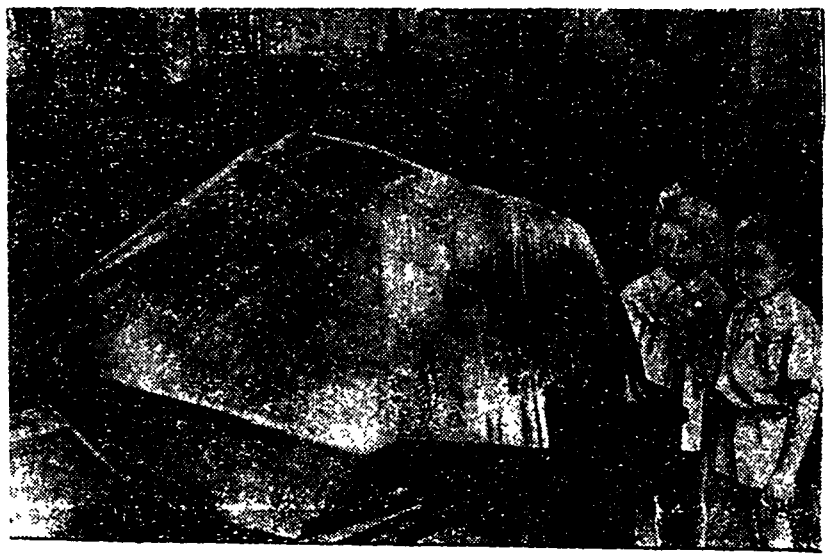
ქვებს პოულობენ, თითქოს რომელიმე დიდ ხელოვანს გამოეჭრას და გაეწმინდოს. კ რ ი ს ტ ა ლ ე ბ ი ბუნების მიერ შექმნილი, სწორი, სიმეტრიული მრავალწახნაგებია.

რამდენიმე წლის წინათ გეოლოგებმა აღმოაჩინეს გამოქვაბული, რომლის თაღი და კედლები დაფარული იყო ფლუორიტის საოცრად ლამაზი, დიდრონი ცისფერი კრისტალებით. ამ გამოქვაბულის შესასვლელი მდებარეობს შვეულ კლდეში, რომელიც მთის ტბაზეა წამოდგმული. იმისათვის, რომ შიგ შესულიყვნენ, თოკებზე გამობმული გეოლოგები 200 მ სიმაღლეზე ეკიდნენ, მაგრამ მათი შრომა აანაზღაურა იმ ულამაზესმა სურათმა, რომელიც თვალწინ გადაეშალათ. ყველაზე შესანიშნავი იყო კრისტალთა ჯგუფი, დაახლოებით 200 კბ წონისა; იგი ასზე მეტ იდეალურად გამჭვირვალე, თვალისმომჭრელ, ფირუზისფერ კუბს შეიცავდა. თვითეული კუბის წახნაგი 10 — 12 სმ აღწევდა.

ქარსის კრისტალები 7 მ სიგანისა და 3 მ სიგრძისაა. ნახევრად ძვირფასი მინერალის ბერილის კრისტალების სიგრძე კი 5,5 მ აღწევს. 1,5 მ სისქის ასეთი კოლონა შესანიშნავ სანახაობას წარმოადგენს. ესპანეთში ბერილის უზარმაზარ კრისტალებს კარიბჭეების დასამშვენებელ სვეტებად იყენებენ. ამბობენ, მინდვრის შპატის ერთი კრისტალი იმოდენა იყო, რომ შიგ მთელი ქვის სამტეხლო მოთავსდაო. მთის ბროლის კრისტალები ხშირად ადამიანზე ორჯერ მაღალი სვეტებია, რომლებიც ტონაზე მეტს იწონის. რამდენიმე წლის წინ გაზეთი „პრავდა“ იტყობინებოდა, რომ ალტაიზე გეოლოგებმა

დედამიწის ზურგზე უდიდესი მთის ბროლის კრისტალი იპოვეს. ეს კრისტალი ორსართულიანი სახლის სიმაღლისა იყო და 70 ტ იწონიდა. ამ გოლიათის ირგვლივ იმავე მთის ბროლის მეტრიანი კრისტალები შემოჯარულიყო.

ვეებერთელა ქვამარილის კრისტალების სახით გვხვდება სუფრის მარილიც. შუა აზიისა და ირანის უდაბნოებში დაკრისტალებული ქვამარილის მთელი ქედებია გაჭიმული. უცნაური და საკვირველი მოყვანილობა აქვს ამ მარილის კლდეებს, რომლებსაც ცივი ელვარება ახასიათებს. მარილის მთების ფერდობებზე ვერც ბუჩქს ნახავთ და ვერც ბალახის ღეროს. მხოლოდ აქა-იქ მოჩხრიალებს მარილის ნაპირებს შორის, მარილის კალაპოტში, მარილის ნაკადული.



მთის ბროლის კრისტალი.

უწინ კრისტალები იშვიათობად, „ბუნების ოინად“ მიაჩნდათ. რა თქმა უნდა, გოლიათი მრავალწახნაგები არც ახლა გვხვდება ყოველ ფეხის ნაბიჯზე, მაგრამ მომცრო ზომის კრისტალები თითქმის მუდამ გარს გვახვევია. გრანიტში უბრალო თვალითაც კი იოლი გასარჩევია ქარსის ფირფიტები და კვარცისა და მინდვრის შპატის პატარ-პატარა კრისტალები. ქვიშაქვა და ქვიშა დამრგვალებული, ნაგორები კვარცის კრისტალებისაგან შედგება, ხოლო მარმარილო — კალციტის კრისტალებისაგან. დედამიწაზე თითქმის ყველა ქანი კრისტალებისაგან შედგება.

მეტალის ახალ მონატეხზე ადვილია შეუიარაღებელი თვალით ან გამადიდებელი შუშით კრისტალების მარცვლების შემჩნევა. თუ ეს კრისტალები მეტისმეტად პატარებია, მაშინ მათ „დასანახად“ რენტგენის სხივებს იშველიებენ. ამ შესანიშნავი სხივების მეშვეობით, სხივებისა, რომლებიც ჩვეულებრივი სინათლისათვის გაუვალ საგნებში ატანენ, დაადგინეს, რომ ყველა მყარი მეტალი და ყველა მინერალი კრისტალია. დედამიწაზე არაკრისტალური მეტალი არ არსებობს. აღმოჩნდა აგრეთვე, რომ კრისტალებისაგან შედგება ბევრი სხვა ნივთიერებაც. თიხას, კაუჩუკს, ჰვარტლს, ძვლებს, თმებს, მაჩვზლარბას ეკლებს, მამონტის ეშვებს, შალის, აბრეშუმისა და ცელულოზის ბოჭკოებს კრისტალური აგებულება აქვს.

ჩვენ კრისტალების სამყაროში ვცხოვრობთ. ქალაქები და სახლები ქვისა და ლითონისგანაა აგებული, ე. ი. ძირითადად კრისტალებისგანაა ნაშენი. ჩვენ კრისტალებზე დავდივართ, დედამიწის წიაღიდან ვიღებთ კრისტალებს, მათგან ვამზადებთ სხვადასხვა ნაწარმს, კოსმოსში ვგზავნით კრისტალურ ხელსაწყოებს, ვჭამთ კრისტალებს, ვმკურნალობთ კრისტალებით და ნაწილობრივ თვითონაც კრისტალებისაგან შევდგებით.

დედამიწაზე არ მოიპოვება ისეთი ადგილი, სადაც კრისტალები არ იყოს. და არა მარტო დედამიწაზე! საპლანეტათშორისო სივრციდან ჩვენამდე ხშირად აღწევენ ციურ სხეულთა ნამსხვრევები — მეტეორიტები, რომლებიც აგრეთვე კრისტალებისაგანაა აგებული. ამას წინათ საბჭოთა ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ იუპიტერისა და სატურნის ღრუბლები, როგორც ჩანს, ამიაკის კრისტალებისაგან შედგება, ხოლო სატურნის რგოლები თრთვილის კრისტალებითაა დაფარული. არსებობს აგრეთვე მონაცემები, რომ ისეთი ვარსკვლავების შუაგული, როგორიცაა „თეთრი ჯუჯები“, კრისტალურ ნივთიერებას წარმოადგენს.

კრისტალების აგებულება

მაგრამ როგორ ვიპოვოთ კრისტალი, თუ იგი თვალისათვის უჩინარია, როგორ გავარჩიოთ ის არაკრისტალისაგან? იქნებ ამ საქმეში კრისტალების მრავალწახნაგოვნობა დაგვეხმაროს? მაგრამ მეტალში ან რიყის ქვაში ერთმანეთთან შეზრდილ, წვრილ-წვრილ კრისტალებს გარეგნულად საკმაოდ არაწესიერი ფორმა აქვთ. ამავე დროს კი მინა შე-

იძლება მრავალწახნაგა იყოს, მაგალითად, დაწახნაგებული მინის ყელსაბამი, მაშინ, როდესაც იგი არაკრისტალური ნივთიერებაა. როგორღა მოვიქცეთ?

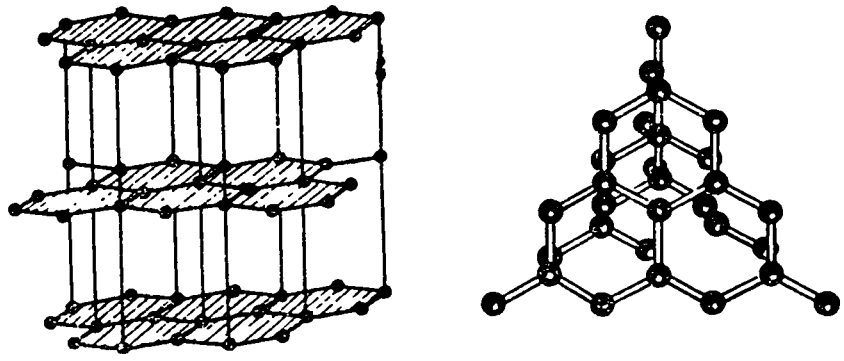
საქმე ის არის, რომ კრისტალები თვითონ, ადამიანის ჩაურევლად ღებულობენ თავიანთ ფორმას, მ რ ა ვ ა ლ წ ა ხ ნ ა გ ე ბ ა დ ი ზ რ დ ე ბ ი ა ნ, მინა კი აუცილებლად ადამიანის ხელმა უნდა დაუწახნაგოს.

ეს ძირითადი განსხვავება კრისტალებსა და არაკრისტალებს შორის აიხსნება მათი შინაგანი აგებულებით, იმით, თუ როგორ არის მათში განლაგებული ნივთიერების უმცირესი ნაწილაკები — ატომები, იონები და მოლეკულები. სამყაროში ყველაფერი ამ უმცირესი ნაწილაკებისაგან შედგება. ყველგან და ყველაფერში, ქვებსა და მეტალებში, ხესა და ადამიანის სხეულში, წვიმის წვეთსა და კვამლის ქულაში — ყველგან უმცირესი ნაწილაკები მოძრაობენ. სამყაროში არ მოიძებნება არც ერთი ატომი და არც ერთი მოლეკულა, რომელიც განუწყვეტლივ არ მოძრაობდეს.

მაგრამ ეს მოძრაობები ერთფეროვანი როდია. გაზსა და სითხეში ნაწილაკები უწესოდ მოძრაობენ. ცალკეული ნაწილაკები უახლოვდებიან ერთმანეთს, ეჯახებიან, შორდებიან, ისევ ახლოს მიდიან ერთმანეთთან და ისევ შორდებიან, ხანდახან საკმაოდ დიდი მანძილით. გაზისა და სითხის შემადგენელი ნაწილაკები, ალბათ, სულ სხვადასხვა მხარეს გაიფანტებოდნენ, მათ რომ ერთმანეთის მიზიდულობის ძალა არ აკავებდეთ. გაზში ასეთი ძალა ძალიან მცირეა და ამიტომაც არის, რომ იგი ასე იოლად ფართოვდება. მიზიდულობის ძალა არც სითხეშია მაინცდამაინც დიდი, მაგრამ უფრო მეტია, ვიდრე გაზში.

რა ხდება, როცა სითხე ან გაზი გაცივების შედეგად მყარ სხეულებად იქცევა? მაგალითად, როცა წყალი გაყინვისას მყარ ყინულად გვევლინება, ან როცა წყლის ორთქლი კრისტალდება და გასაოცარ ნაყშებად იქცევა ჭირხლისა და თოვლის ფანტელების სახით, ანდა როცა გამდნარი ფოლადი ცივდება? იცვლება თუ არა ამ დროს ნაწილაკთა მოძრაობა? დიახ, იცვლება და მნიშვნელოვნადაც. ნაწილაკები მყარ ნივთიერებებშიც მოძრაობენ, მაგრამ წესიერად, სიმეტრიულად. თვითეული ნაწილაკი მხოლოდ მისთვის განკუთვნილ უბანზე მოძრაობს, რომლის საზღვრებსაც არასოდეს არ სცილდება. მყარი კრისტალების სხეულში ნაწილაკების წყობა თაფლის ფიჭას ან ხარაჩოებს წააგავს: ისინი მწყობრ რიგებად არიან გაჭიმული მარჯვნივ და მარცხნივ, წინ და უკან, ზევით და ქვევით, ფიზკულტურელთა მწკრივების მსგავსად, მაგრამ გაქვავებულები როდი არიან, ადგილზე ირხევიან. თითქოს მოუთმენლად ელიან ბრძანებას: „დაიშალეთ!“

მაგრამ დაშლა, მწყობრის მიტოვება მყარი კრისტალური სხეულის ნაწილაკებს მხოლოდ გარკვეულ პირობებში შეუძლიათ: მაგალითად, თუ კრისტალს ისე გავახურებთ, რომ მან დნობა დაიწყოს. გაზაფხულის ცხოველი მზე ყინულს ადნობს, ანგრევს ყინულის კრისტალში ნაწილაკების მწკრივს, ახსუსტებს ძალას, რომელიც ამ ნაწილაკებს ადგილზე აკავებს. მაგრამ აი, მზე თვალს მიეფარა, ყინვამ დაჰკრა, ჰაერში თოვლის ფანტელები აცეკვდა და ნაწილაკებიც ისევ სწორ, სიმეტრიულ რიგებში ჩადგნენ.



ნახშირბადის ატომების განლაგება გრაფიტისა (მარცხნივ) და ალმასის (მარჯვნივ) კრისტალებში.

წესრიგი და სიმეტრია — აი, რა ახასიათებს მყარ კრისტალურ სხეულებს. თვითეულ კრისტალში ნაწილაკები განლაგებულია კარგად გამოკვეთილ, სიმეტრიულ მწკრივებად. ვიდრე ეს წესრიგი არსებობს, არსებობს კრისტალიც. თუ წესრიგი დაირღვა, ეს იმას ნიშნავს, რომ კრისტალი დადნა, სითხედ იქცა, ან აორთქლდა — გაზის სახე მიიღო.

კრისტალების გარეგან ფორმას მათი შინაგანი აგებულება განსაზღვრავს. კრისტალის ზრდისას ყოველი ახალი ნაწილაკი თავის შესაფერის ადგილს ეძებს მწყობრში.

მაგრამ კრისტალი მაშინაც კრისტალად ითვლება, როცა მისი გარეგანი ფორმა მრავალწახნაგს არ წარმოადგენს. ჩვენ რომ კრისტალს კუთხეები ჩამოვამტვრიოთ, ყველა წიბო მოვუშალოთ, დავამრ-

გვალოთ და შემდეგ ხსნარში ან ნადნობში ჩავუშვათ, ისე რომ ზრდა შეეძლოს, იგი კვლავ მრავალწახნაგა ფორმას აღიდგენს. რატომ ხდება ასე? იმიტომ, რომ ზედაპირის შეცვლამ ვერ დაარღვია მისი შინაგანი წყობა, კრისტალი ისევ კრისტალად დარჩა, არ დაუკარგავს თვითდაწახნაგების უნარი. რენტგენის სხივების დახმარებით ჩვენ ადვილად შეგვიძლია დავრწმუნდეთ, რომ რომელიმე უსახური ნატეხის ანდა მომრგვალებული, ქვიშის ნამცეცის აგებულება ისევე საოცრად სიმეტრიული და კანონზომიერია, როგორც დედამიწის წიაღში ნაპოვნი უზარმაზარი კრისტალისა, ანდა იმ კრისტალისა, რომელიც ხელოვნურადაა გაზრდილი ლაბორატორიაში მეცნიერის მიერ.

მაშ, რატომ არის, რომ ყველა კრისტალი არ იზრდება მრავალწახნაგებად?

დედამიწის წიაღში არის მაგმა, ანუ უამრავი ნივთიერების მეტად რთული ნადნობი ხსნარი, რომლის გაცივებისას წარმოიშვება სხვადასხვა კრისტალური აგებულების ნივთიერებები. რატომ არის, რომ ერთგვაროვანი მაგმიდან სხვადასხვანაირი მინერალები წარმოიქმნება? იმიტომ, რომ თვითეული კრისტალური ნივთიერება მხოლოდ ზუსტად დადგენილი ტემპერატურის დროს დნება და მყარდება. ყოველმა თქვენგანმა იცის, რომ წყალი (ნორმალური წნევისას) 0°-ზე იყინება. თუ ტემპერატურა დაწევას დაიწყებს, ზუსტად 0°-ზე წყალი გაიყინება — ყინულის კრისტალებად იქცევა. ვიდრე მთელი წყალი არ გაიყინება, მისი ტემპერატურა არ შემცირდება. და პირიქით, თუ ყინულის კრისტალს 0°-მდე გავათბობთ, იგი უცვლელი დარჩება. როგორც კი ტემპერატურა 0° მიაღწევს, კრისტალი მაშინვე დნობას დაიწყებს. ამის შემდეგ რამდენიც არ უნდა ვათბოთ იგი, ყინულის ტემპერატურა აღარ გაიზრდება, სანამ მთლიანად არ გადნება. წყლის ტემპერატურა მხოლოდ მაშინ მოიმატებს, როცა მთელი კრისტალი დადნება, ანუ წყლად იქცევა (სხვანაირად რომ ვთქვათ, როცა ყველა ნაწილაკის წყობა დაირღვევა).

თვითეული კრისტალური ნივთიერება მტკიცედ დადგენილ დნობის ტემპერატურაზე დნება და კრისტალდება. რკინა — 1530°-ზე; კალა — 232°-ზე; კვარცი — 1713°-ზე; ვერცხლისწყალი — მინუს 38°-ზე.

არაკრისტალურ მყარ ნივთიერებებს არ გააჩნიათ დნობის (და მაშასადამე, დაკრისტალების) გარკვეული ტემპერატურა, ისინი გათბობისას თანდათან რბილდებიან.

როცა დედამიწის წიაღში მაგმა ნელ-ნელა ცივდება, მისი შემადგენელი ქიმიური ნივთიერებებიც ასევე თანდათან, რიგრიგობით მყარდებიან, იმიტომ რომ დაკრისტალების სხვადასხვა ტემპერატურა აქვთ. პირველად ისეთი ნივთიერებები იქცევიან კრისტალებად, რომლებსაც დაკრისტალების დიდი ტემპერატურა აქვთ, შემდეგ უფრო მცირე ტემპერატურის მქონენი, და ასე თანდათან გაცივებისას მაგმა იშლება სხვადასხვა, თითქმის ყოველთვის კრისტალურ მინერალებად.

თუ ამ მინერალებს ზრდაში არაფერი არ უშლით ხელს, ისინი წესიერ მრავალწახნაგებად იზრდებიან. მაგრამ, როცა ბევრი კრისტალი ერთად იზრდება, ერთმანეთს ავიწროებენ. საკმარისია კრისტალი თავის მეზობელს შეეჯახოს, რომ ვეღარ შეძლოს იმ მხარეს ზრდა. ამის გამო კრისტალი ცალმხრივად იწყებს მატებას. ასე წარმოიქმნება მრავალწახნაგების ნაცვლად უფორმო მარცვლები. ცალკეული კრისტალები ადვილად ჩანან მიკროსკოპში და შეუიარაღებელი თვალითაც, მაგრამ მათ შორის იშვიათია და ხანდახან სულაც არ გვხვდებიან წესიერი მრავალწახნაგები.

საინტერესოა, რომ ერთი და იგივე ნივთიერება შეიძლება იყოს როგორც კრისტალური, ასევე არაკრისტალური.

გავადნოთ რაიმე ნივთიერება, ვთქვათ შაქარი. რა მოხდება, როცა ეს ხსნარი გაცივებასა და გამყარებას დაიწყებს? თუ ნელ-ნელა გაცივდება, კრისტალურ სახეს მიიღებს. ასე წარმოიქმნება შაქრის ის პატარა-პატარა კრისტალები, რომელთაგანაც ფხვნილი და ნატეხი შაქარი შედგება. მაგრამ თუ გაცივება სწრაფად მიმდინარეობს, მაგალითად, თუ ხსნარს ცივ წყალში ან ძალიან გაცივებულ ლამბაქზე მოვათავსებთ, მაშინ წარმოიქმნება არაკრისტალური შაქარი — შაქარყინული.

ამის მიზეზი ადვილი გასაგებია. წარმოიდგინეთ, რომ მწყობრში უნდა ჩააყენოთ სწრაფად მოძრავი ადამიანების ჯგუფი. ეს იმ შემთხვევაში მოხერხდება იოლად, თუ ადამიანებს მისცემთ დროსა და საშუალებას გარკვეულ მანძილზე დაშორდნენ ერთმანეთს და სწორ რიგებად დადგნენ. მაგრამ, თუ თქვენ უეცრად გასცემთ ბრძანებას „სდექ!“, რა თქმა უნდა, არავითარი წესრიგი არ დამყარდება. იგივე ამბავი ხდება ხსნარის გაცივების დროსაც.

ხსნარში ნაწილაკები უწესრიგოდ მოძრაობენ. თუ ხსნარი ნელ-ნელა ცივდება, ნაწილაკები მწყობრში დგებიან და კრისტალებს წარმოქმნიან. მაგრამ როცა ხსნარი სწრაფად ცივდება, მაშინ ნაწილაკები ვერ ასწრებენ მწყობრში ჩადგომას და ნივთიერებაც არაკრისტალურად მყარდება. ასე წარმოიქმნება, მაგალითად, ჩვეულებრივი მინა.

საინტერესოა, რომ დროთა განმავლობაში არაკრისტალური ნივთიერება შეიძლება გარდაიქმნას, ან უფრო სწორად, დაკრისტალდეს. თუ შაქარყინულს ორი თვის განმავლობაში სადმე მყუდრო ადგილზე მოვათავსებთ, იგი ფხვიერი ქერქით დაიფარება. გამადიდებელი შუშით დავინახავთ, რომ ეს შაქრის პატარ-პატარა კრისტალები იქნება, უფრო ხანგრძლივი დროის შემდეგ კი მთელი შაქარყინული დაკრისტალდება.

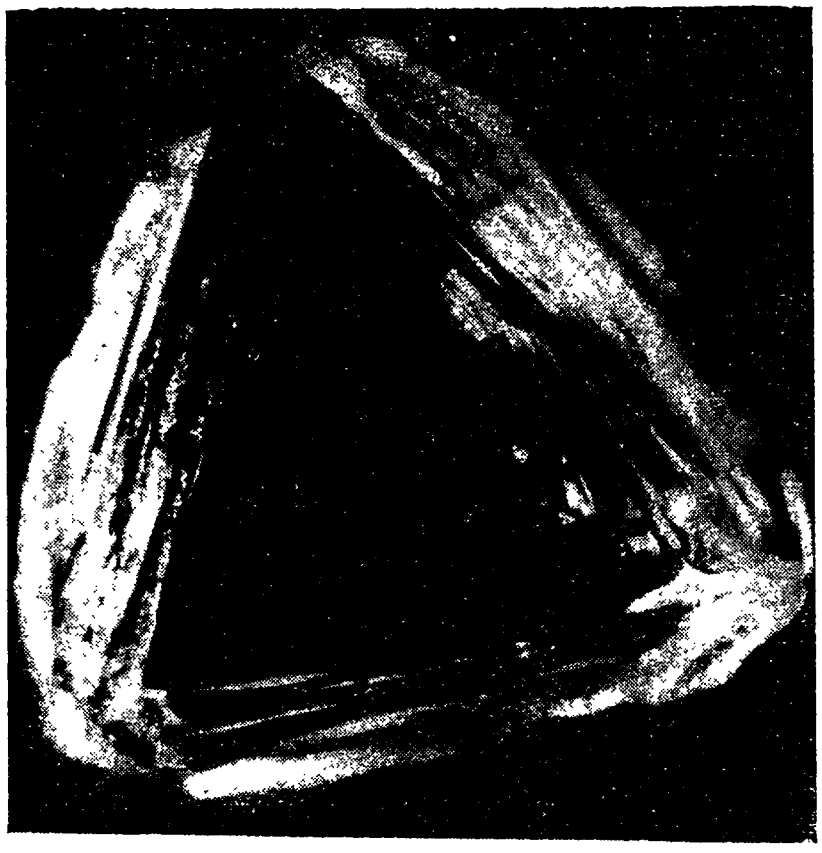
დროთა განმავლობაში ყველა არაკრისტალური ნივთიერება კრისტალურად იქცევა, მათი ნაწილაკები წესიერ მწკრივებად დალაგდება. განსხვავება მხოლოდ ამ პროცესის ხანგრძლიობაშია: შაქრისათვის საკმარისია რამდენიმე თვე, ქვისთვის კი — მილიონობით წელი. თქვენ წარმოიდგინეთ, ჩვეულებრივი ფანჯრის მინაც შეიძლება დაკრისტალდეს. ძალიან დაძველებული მინა ხშირად გაუმჭვირვალე ხდება იმიტომ, რომ მასში უამრავი გაუმჭვირვალე კრისტალი წარმოიშვება. მინის ქარხნის ღუმელებში ხანდახან ჩნდება კრისტალური მინის ლოდები. ეს კრისტალური მინა მეტად გამძლეა. ღუმელის დაშლა უფრო ადვილია, ვიდრე ამ ჯიუტი ლოდის იქიდან გამოგდება. როცა მეცნიერებმა კრისტალური მინა და მისი ატომების განლაგება შეისწავლეს, დაიწყეს ახალი, მეტად გამძლე მასალის, კრისტალური მინის — „სიტალის“ დამუშავება.

შეიძლება თუ არა კრისტალური სტრუქტურის შეცვლა

ბუნება მეტისმეტად მრავალფეროვანია, მას არ უყვარს გამეორება. რკინის ატომის აგებულება სრულიად არა ჰგავს ყინულის კრისტალის წყობას. ყოველ ნივთიერებას თავისი სტრუქტურა — ატომების განლაგების თავისი წესი აქვს და ნივთიერების თვისებებიც იმაზეა დამოკიდებული, როგორია ეს წესი. ერთი და იგივე ატომები, ერთი და იმავე ხარისხის ნაწილაკები სხვადასხვანაირი განლაგებისას სულ სხვადასხვა თვისებების ნივთიერებებს ქმნიან.

დიდი ხნის წინ ლენინგრადში (მაშინდელ პეტერბურგში) ასეთი რამ მოხდა: ჯარისკაცთა ტანსაცმლის ერთ-ერთ საწყობში „გაცივდნენ“ და „ავად გახდნენ“ ღილები. იმ დროს ფარაჯების ღილებს კალისაგან ამზადებდნენ. ცივ, გაყინულ საწყობში თეთრი ბრჭყვიალა ღილების უზარმაზარი მარაგი იყო შენახული. როცა პირველად რამდენიმე ღილი გაშავდა, ამისათვის ყურადღება არავის მიუქცევია. ღილები კი თანდათან კარგავდნენ ელვარებას, შავდებოდნენ და იფშვნებოდნენ. ყველაზე გასაოცარი ის იყო, რომ გაფუჭებული ღილები ასენიანებდნენ თავიანთ მეზობლებს, რომლებიც ასევე კარგავდნენ ელვარებას, შავდებოდნენ და იფშვნებოდნენ. რამდენიმე დღეში ბრჭყვიალა ღილების მთები ნაცრისფერი ფხვნილის უფორმო გროვად იქცა. საწყობის მთელი ქონება დაღუპა „კალის ჭირმა“, როგორც მაშინ თეთრი კალის ამ „ავადმყოფობას“ შეარქვეს.

მაინც რა „ავადმყოფობა“ იყო ეს? ეს იყო მხოლოდ და მხოლოდ ატომების გადაჯგუფება კალის კრისტალებში. არსებობს კალის ორი სახის კრისტალი. ერთია ჩვეულებრივი მოვერცხლისფრო-თეთრი კალა, რომელსაც შეუძლია წარმოქმნას დიდრონი კრისტალები, მაგრამ კალის იგივე ატომები გადაჯგუფების შემდეგ ქმნიან სხვა, ე. წ. ნაცრისფერი კალის კრისტალებს. ამ ორი სახის კალის თვისებები სხვადასხვანაირია. თეთრი კალა ჭედადი მეტალია, ნაცრისფერი კი — მყიფე. თეთრი სახესხვაობიდან ნაცრისფერში გადასვლისას კალა იფხვნება. ამიტომაც თეთრ კალას ხმარობენ მისარჩილად, მოსაკალავად და სხვადასხვა საგნების დასამზადებლად, ნაცრისფერი კალისაგან კი არაფრის გაკეთება არ შეიძლება. თეთრი და ნაცრისფერი კალა—ორივენი კალის კრისტალებია. კალის ქიმიური თვისებები უცვლელი რჩება, იცვლება მხოლოდ კრისტალური სტრუქტურა: იცვლება ატომთა წყობა, რის შედეგადაც იცვლება ნივთიერების ფიზიკური თვისებები. თეთრი კალის კრისტალური სტრუქტურის გარდაქმნა ნაცრისფერი კალის კრისტალურ სტრუქტურად შეიძლება დიდი ყინვების დროს დაიწყოს. „კალის ჭირი“ იყო კაპიტან სკოტის ექსპედიციის დაღუპვის ერთ-ერთი მიზეზი სამხრეთ პოლუსზე 1911 — 1912 წწ. თხევადი სათბობის მთელი მარაგი, რომელიც ექსპედიციას ჰქონდა,



იაკუტიაში ნაპოვნი ალმასის კრისტალი (ძლიერ გადიდებული).

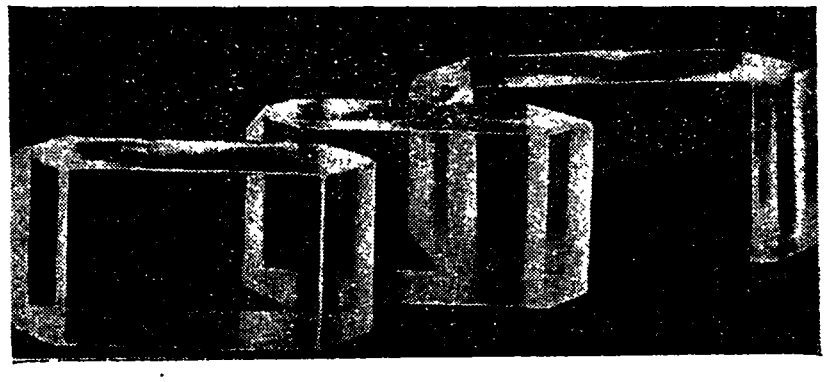
მოთავსებული იყო კალით დარჩილულ ჭურჭლებში. სუსხიანი ანტარქტიკული ზამთრის პირობებში თეთრი კალა ნაცრისფერი კალის ფხვნილად იქცა და ჭურჭლებიც დაიშალა. მამაცი მკვლევარები სათბობის გარეშე დარჩნენ. აი, როგორი სავალალო შედეგების გამოწვევა შეუძლია ნივთიერების კრისტალური სტრუქტურის შეცვლას! ავიღოთ მეორე მაგალითი. ჭვარტლი, ანუ მური რბილი შავი ფხვნილია. იგი გროვდება ქვაბის ფსკერზე, საკვამლე მილებში ანდა ბოლთან ერთად ჰაერში იფანტება. ეს არის ნახშირბადი. ნახშირიც ნახშირბადის ატომებისაგან შედგება.

ფანქარში მოთავსებული გრაფიტის რბილი ღერო, რომელიც ქაღალდზე კვალს ტოვებს, ნახშირბადის კრისტალებს წარმოადგენს. ნახ. გვ. 19 ჩანს, რომ გრაფიტის კრისტალური სტრუქტურა თითქოს შრეებისაგან შედგება და თან მანძილი ამ შრეებს შორის გაცილებით მეტია, ვიდრე მანძილი თვითეულ შრეში შემავალ ატომებს შორის. ასეთი შრეები შედარებით იოლად მოძრაობენ და ერთიმეორეზე ცურავენ. ჩვენც სწორედ ამ თვისებით ვსარგებლობთ, როცა გრაფიტის ფანქრით ვწერთ. გრაფიტის კრისტალების შრეები მოძრაობენ და ქერცლის სახით რჩებიან ქაღალდზე. მხოლოდ უნდა გვახსოვდეს, რომ თვითეული ქერცლი წარმოადგენს არა ერთ, არამედ ბევრ ატომურ შრეს: კრისტალში ატომის შრეებს შორის მანძილი ხომ სანტიმეტრის ასმემილიონედ ნაწილს უდრის, ქაღალდზე დარჩენილი გრაფიტის კვალი კი შეუიარაღებელი თვალითაც შესანიშნავად ჩანს.

მაგრამ არსებობს კრისტალური ნახშირბადის სხვა ფორმაც. ეს არის ალმასი. ალმასი ყველაზე ძვირადღირებული და ლამაზი ქვაა ძვირფას ქვებს შორის. პატარა დაკუთხული ალმასი, ალბათ, ყოველ თქვენგანს უნახავს. ეს ხომ პაწაწინა კრისტალია, რომელიც მინის საჭრელ ხელსაწყოშია ჩასმული.

ალმასი ყველაზე მკვრივია დედამიწაზე ცნობილ მინერალებს შორის. ალმასის ხერხით ქვებსაც კი ხერხავენ. ალმასის ბურღებით ღრმად ბურღავენ მიწას. მისი დახმარებით მზადდება წვრილი მავთულები ისეთი მკვრივი მეტალებიდან, როგორიცაა ნახშირბადიანი და ქრომნიკელიანი ფოლადი, ვოლფრამი და სხვა მაგარი შენადნობები. იმისათვის, რომ მეტალის მავთული უწვრილეს ძაფად იქცეს, იგი უნდა გატარდეს წვრილ ხვრელში, შემდეგ უფრო წვრილში და შემდეგ კიდევ და კიდევ უფრო წვრილში. მავთული რომ სწორი გამოვიდეს, ხვრელი ძალზე მკვრივ მასალაში უნდა გაკეთდეს, წინააღმდეგ შემთხვევაში მავთული თვითონ გაჭრის მას. ასეთი ხელსაწყოებისათვის (ფილიერებისათვის) შეუდარებელი მასალაა ალმასი. ალმასში გაკეთებულ ხვრელში ატარებენ მავთულებს, რომელთა დიამეტრი მილიმეტრის მეათასედებს უდრის. ასე აკეთებენ, მაგალითად, ვოლფრამის ძაფებს ელექტრონათურების სპირალებისათვის.

ალმასის ფხვნილით აპრიალებენ და აშანდაკებენ მაგარ ქვებს, ნაწრთობ ფოლადს, მაგარსა და ზემაგარ შენადნობებს. საავიაციო და საავტომობილო



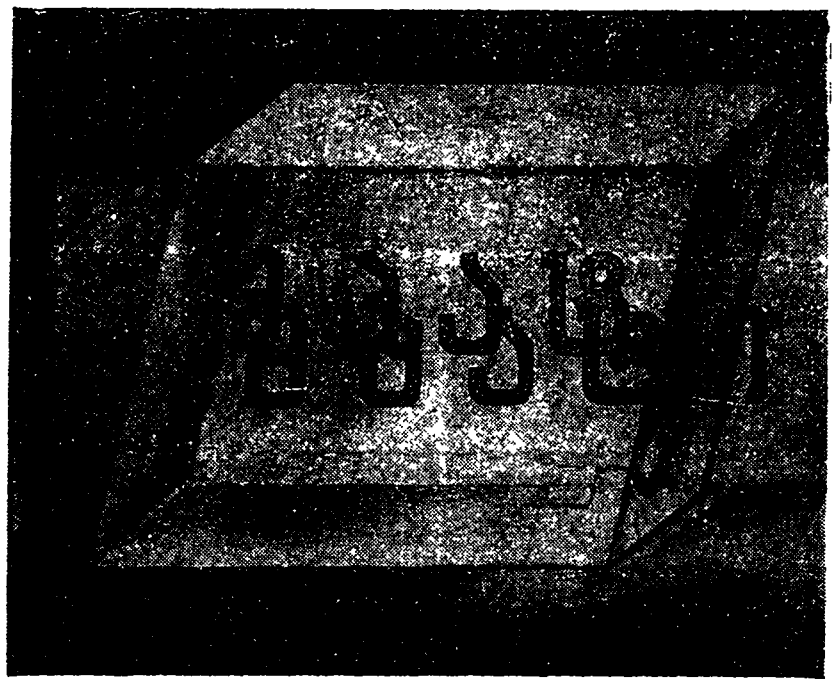
სეგნეტური მარილის ხელოვნურად გაზრდილი კრისტალები.

წარმოებაში ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილები ალმასის საჭრისებითა და ბურღებით მუშავდება.

წარმოებაში, საერთოდ, ალმასის სულ პაწაწინა, გაუმჭვირვალე კრისტალებს ხმარობენ, რადგან გამჭვირვალე კრისტალები მეტად ძვირად ფასობს.

მთელ მსოფლიოში ერთი წლის განმავლობაში მოპოვებული ალმასი (საბჭოთა კავშირის გამოკლებით) ერთი საბარგო მანქანის ძარაზე დაეტევა. ამიტომ გასაკვირი არ არის, რომ კარგა ხანია დაიბადა აზრი: გრაფიტი ალმასად ექციათ.

ერთი შეხედვით თითქოს აქ ძნელი არაფერი იყო, მხოლოდ ნახშირბადის ატომების წყობა უნდა შეეცვალათ, მაგრამ საქმე საქმეზე რომ მიდგა, ამის გაკეთება არც ისე იოლი შეიქნა. ბუნებაში ალმასი წარმოიქმნება დედამიწის წიაღში, სადაც ტემპერატურა 3500° აღწევს, ხოლო წნევა 200000-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე. ოთხმოც წელზე მეტი შეალიეს ამ საქმეს სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერებმა, მაგრამ ამაოდ, ნახშირბადის ატომური წყობა არ ნებდებოდა. საინტერესოა, რომ თავდაპირველად ამოცანა თეორიულად გადაწყვიტეს. ფიზიკოსებმა გაიანგარიშეს ტემპერატურა და წნევა, რომელთა დროსაც გრაფიტის მსუბუქი ატომური წყობა ალმასად უნდა გადაქცეულიყო. ამ პირობებში ჩვეულებრივი მასალები არ გამოდგება: მასიური ფოლადი უკვე აღარ წარმოადგენს საიმედო საფარველს, წყალბადი ისე გადის ფოლადის ყუმბარის კედლებში, როგორც წყალი ცხრილში. და მაინც ეს უძნელესი ამოცანა საბჭოთა მეცნიერებმა გადაწყვიტეს. ამჟამად ჩვენში არსებობს საბჭოთა ხელოვნური ალმასისა და მისგან დამზადებული ხელსაწყოების წარმოება. ხელოვნური ალმასები ბუნებრივზე უფრო იაფი ჯდება და სიმაგრით თუ აჭარბებს, თორემ არ ჩამოუვარდება მათ. ალმასის ხელსაწყო ათჯერ უფრო მეტ ხანს ძლებს, ვიდრე ჩვეულებრივი. მოხახუნე ნაწილების ალმასით დამუშავება ერთიორად ზრდის მათი ვარგისიანობის ვადას, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ასეთი ნაწილებიანი ავტომანქანა, ტრაქტორი და კომპრესორი ორჯერ მეტ ხანს იმუშავებს კაპიტალური შეკეთების გარეშე.



ისლანდიური შპატის კრისტალი.

უწესრიგობა წესრიგში და წესრიგი უწესრიგობაში

მეცნიერებს დიდი ხანია მოსვენებას არ აძლევდა ბუნების ერთი გამოცანა. რაკი იცოდნენ კრისტალში ატომთა წყობა, მათ გაიანგარიშეს, როგორი უნდა ყოფილიყო ატომური „ჩონჩხის“ სიმაგრე. და უეცრად სინამდვილეში ყველა ტექნიკური ლითონი ნაკლები სიმკვრივისა აღმოჩნდა, ვიდრე ეს გაანგარიშების მიხედვით იყო ნავარაუდევი. მაგალითად, სუფთა რკინა ან სუფთა კალა ათასჯერ თუ არა, ასჯერ უფრო მკვრივი უნდა იყოს ტექნიკაში გამოყენებულ ამავე მეტალებზე.

რატომ არის, რომ რეალურ, ტექნიკურ ლითონს არ გააჩნია ის სიმკვრივე, რომელიც გაანგარიშებითაა მიღებული?

აღმოჩნდა, რომ ატომური წყობის იდეალური წესრიგის დროს თვითეულ კრისტალში შეიძლება შეგვხვდეს დეფექტები: ატომური სიბრტყე ხან თითქოს დაუმთავრებელია, მორღვეულია, ხან კი მისი წყობა თითქოს მოუწესრიგებელია. თურმე ასეთი დეფექტები ყოველთვის არის ნებისმიერ კრისტალში. მართალია, ეს მეტად „წვრილ-წვრილი“ დეფექტებია, მაგრამ ცნობილია, რომ „ძაფი სადაც წვრილია, იქ წყდება“. ამიტომაც კრისტალზე გარეგანი ძალის მოქმედებისას ყველაზე ადრე უწესრიგო ადგილები ირღვევა. წარმოიდგინეთ, რომ მრავალსართულიანი სახლის ჩონჩხის ერთერთი ძელი დაზიანდა. ამის გამო შეიძლება მთელი

შენობა დაინგრეს. ასევეა კრისტალშიც. ატომური წყობის მოუწესრიგებლობის გამო იგი უფრო ადვილად იშლება, ვიდრე ეს გაანგარიშებით არის ნავარაუდევი.

ტექნიკური რკინის 1 მმ² 20 კგ წონას უძლებს, მაშინ როცა იგივე კვეთს შეიძლებოდა 1400 კგ-თვის გაეძლო. და მხოლოდ იმიტომ, რომ რკინის რომელიღაც ატომებმა ადგილი შეიცვალეს, უნდა დაიხარჯოს სამოცდაათი ტონა რკინა, მაშინ როცა ერთი ტონა რკინითაც იოლად გავიდოდით. ბუნებრივია, რომ ტექნიკა დიდადაა დაინტერესებული ზეგამძლე კრისტალების შექმნით. ეს ისეთი კრისტალები უნდა იყოს, რომლებსაც სრულყოფილი, იდეალური წყობა ექნებათ, ყოველგვარი დარღვევის გარეშე. ამოცანა მეტად ძნელია, მაგრამ პირველი მიღწევები უკვე გვაქვს. მიღებულია რკინისა და სხვა მეტალების კრისტალები, რომელთა გამძლეობა 100 — 1000-ჯერ აღემატება ბუნებრივი მეტალების გამძლეობას. ჯერჯერობით ასეთი კრისტალები ძალზე ცოტაა. ეს არის ძაფისმაგვარი კრისტალები — „ულვაშები“, რომლებიც ადამიანის თმის ღერზე უფრო წვრილია. დიდ, უნაკლო კრისტალებს ჯერჯერობით ცოტას ზრდიან, მაგრამ ზეგამძლე „ულვაშებიც“ უდავოდ მეცნიერების უდიდესი მიღწევაა.

მეცნიერები კიდევ ერთ ამოცანას ხსნიან დიდის წარმატებით. ისინი სწავლობენ, როგორ დაამყარონ წესრიგი უწესრიგობაში, ე. ი. ისე გაზარდონ კრისტალები, რომ დეფექტები და ატომური წყობის დარღვევა შემთხვევითი კი არა, წინასწარ განსაზღვრული იყოს. ამის საფუძველზე უკვე იქმნება წინასწარ ნავარაუდევი თვისებების — მაგნიტური, ელექტრული, მექანიკური და სხვ. თვისებების მქონე კრისტალები.

კრისტალები მუშაობენ

კრისტალების აგებულებით აიხსნება მათი ბევრი საოცარი თვისება. კვარცისა და სხვა ნივთიერებების კრისტალებს აღმოაჩნდა მეტად საინტერესო თვისება: პიეზოელექტრობა. თუ ხელს მოვუჭერთ კვარცის კრისტალიდან გამოჭრილ ფირფიტას, მასზე ელექტრული მუხტები გაჩნდება. წნევის გადიდებისას ელექტრული მუხტის სიდიდე იზრდება. როცა ფირფიტას გაჭიმავენ, ელექტრული მუხტი მაშინვე იცვლის ნიშანს: იქ, სადაც პლუსი იყო, მინუსი ჩნდება. თუ ასეთ ფირფიტას ელექტრულ მუხტს მივადებთ, მაშინ ყველაფერი პირიქით მივიღებთ: კრისტალი მუხტის ნიშნის მიხედვით იკუმშება და იშლება. თუ კვარცის ფირფიტას მორიგეობით დავადებთ ხან ერთ და ხან მეორე მუხტს, ფირფიტა ხან შეიკუმშება და ხან გაიშლება, ე. ი. რხევას დაიწყებს. ამგვარად, კვარცის კრისტალს შეუძლია მექანიკური რხევა ელექტრულ რხევად აქციოს და პირიქით.

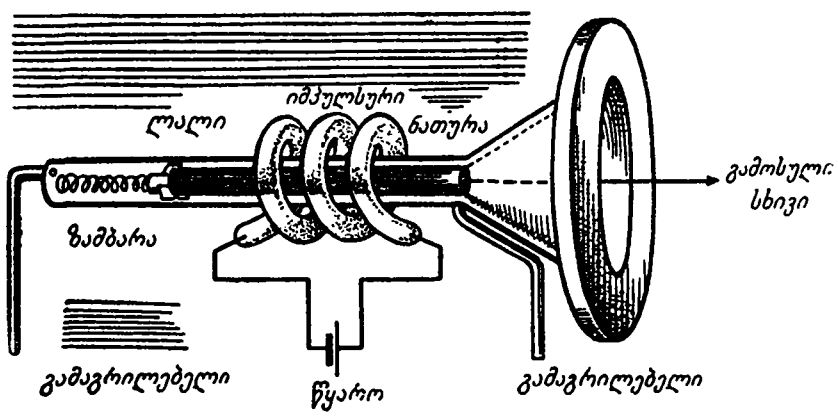
კვარცის კრისტალებიდან საგანგებოდ გამოჭრილ ფირფიტებს, ე. ი. პიეზოკვარცებს, ფართოდ იყენებენ რადიოტექნიკაში. ისინი კონტროლს უწევენ და უზრუნველყოფენ მიმღები და გადამცემი რადიოსადგურების სიხშირეების მუდმივობას. მათ გარეშე ვერც ერთი რადიოსადგური ვერ იმუშავებდა.

ამ ფირფიტების გამოყენების საფუძველზე შეიქმნა არნახული სიზუსტის ხელსაწყო, სახელდობრ კვარცის საათი. ეს საათი სამასი წლის განმავლობაში მხოლოდ ერთი წამით ცდება. რისთვის არის საჭირო ასეთი სიზუსტე? კვარცის საათების გარეშე ჩვენს დროში უაზრობა იქნებოდა კოსმოსური ხომალდების მართვა და მათთან რადიოკავშირის დამყარება.

პიეზოკვარცის ფირფიტები დაუყოვნებლივ და გასაოცარი სიზუსტით უპასუხებენ წნევის შეცვლას სულ უმნიშვნელო სიდიდიდან ათობით ტონამდე. ამიტომ ამ ფირფიტებს ათავსებენ წნევის გასაზომ ხელსაწყოებში; შეიცვლება თუ არა წნევა, ფირფიტაზე გაჩნდება ელექტრომუხტები, რომლებსაც ელექტრული ხელსაწყოებით იჭერენ და აძლიერებენ. პიეზოკვარციანი ხელსაწყოების საშუალებით შეიძლება შევისწავლოთ წნევის ცვალებადობა უზარმაზარ ორთქლის მანქანებში, შიგაწვის ძრავებში, საარტილერიო ჭურვის ლულაში — გასროლის მომენტში და ყუმბარის აფეთქებისას, ადამიანის სისხლის წნევა და წვენების წნევა მცენარეების ღეროებში. ასეთი ხელსაწყო რომ თანამგზავრში მოთავსდეს, იგი კოსმოსიდან შეგვატყობინებს კოსმოსური მტვრის რამდენი ნაწილაკი მოხვდება ხომალდის კედელს. პიეზოელექტრულ კრისტალებს იყენებენ მიკროფონებში, ტელეფონებში, წყალქვეშ კავშირის დასამყარებელ ხელსაწყოებში და სხვა.

წარმოებას დიდი რაოდენობით სჭირდება პიეზოკვარცის ფირფიტები. ამისათვის კი ტონობითაა საჭირო კვარცის კრისტალები. ჩვენი ქვეყანა მდიდარია კვარცის საბადოებით. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, სულ ახლახან წარმოებებს არ ჰყოფნიდა კვარცი. არ ჰყოფნიდა იმიტომ, რომ პიეზოტექნიკისათვის საჭირო კვარცისა და მთის ბროლის სუფთა, გამჭვირვალე კრისტალები ბუნებაში იშვიათად გვხვდება.

მეცნიერები კარგა ხანია ცდილობენ მთის ბროლის კრისტალები ხელოვნურად გაზარდონ. ამ რამდენიმე წლის წინათ ეს ამოცანა საბჭოთა მეცნიერებმა გადაჭრეს.



ლალის სინათლის გენერატორი (ლაზერი).

ლაბორატორიებში სხვა კრისტალების შექმნაც ისწავლეს, ისეთების, რომლებიც წარმატებით უწევენ მეტოქეობას კვარცს ტექნიკაში.

საათს რომ სახურავი ავხადოთ, დავინახავთ, რომ თვლები პაწაწინა წითელ ქვებს — ლალის კრისტალებს ეყრდნობა. ეს ძვირფასი ქვა გამძლეობითა და სიმაგრით მხოლოდ ალმასს ჩამორჩება. აბა დაითვალეთ, რამდენი ადამიანი ატარებს საათს და, მაშასადამე, რამდენი კრისტალია საჭირო საათების წარმოების უზრუნველსაყოფად! ჩვენს ქვეყანაში არის ქარხნები, რომლებიც ტონობით ამზადებენ ხელოვნურ ლალს.

სულ ახლახან მთელ მსოფლიოს მოედო ცნობა ლალის კრისტალის ახალი გამოყენების შესახებ: თუ საგანგებოდ მომზადებულ ლალის კრისტალს მარტივ გაზგანმმუხტველ ნათურას დავასხივებთ, კრისტალიდან ისეთი სიძლიერის სინათლის სხივი ამოიჭრება, რომ, თუ მას მთვარისკენ მივმართავთ, თვალნათლივ დაგვანახვებს მის ზედაპირზე ნებისმიერ დეტალს. ლალის გენერატორიდან გამოსული წითელი სინათლის სხივი 3 სმ სისქის ფოლადში ატანს.

რა არის საჭირო იმისათვის, რომ ეს მძლავრი სინათლის გენერატორები ფართოდ იქნას გამოყენებული? ამისათვის საჭიროა ვისწავლოთ, როგორ გავზარდოთ ლალის ხარისხიანი კრისტალები.

კრისტალებს ფართოდ იყენებენ ტექნიკაში. ისინი გვხვდება ნახევარგამტარ მოწყობილობებში, ელექტრონულ-გამოთვლითი მანქანების მეხსიერების ელემენტებში, მზის ბატარეებში, ბირთვული გამოსხივების აღმრიცხველ ხელსაწყოებში, ფოტოაპარატებისა და ტელესკოპების პრიზმებსა და ობიექტივებში და ბევრ სხვა მოწყობილობასა და დანადგარში.

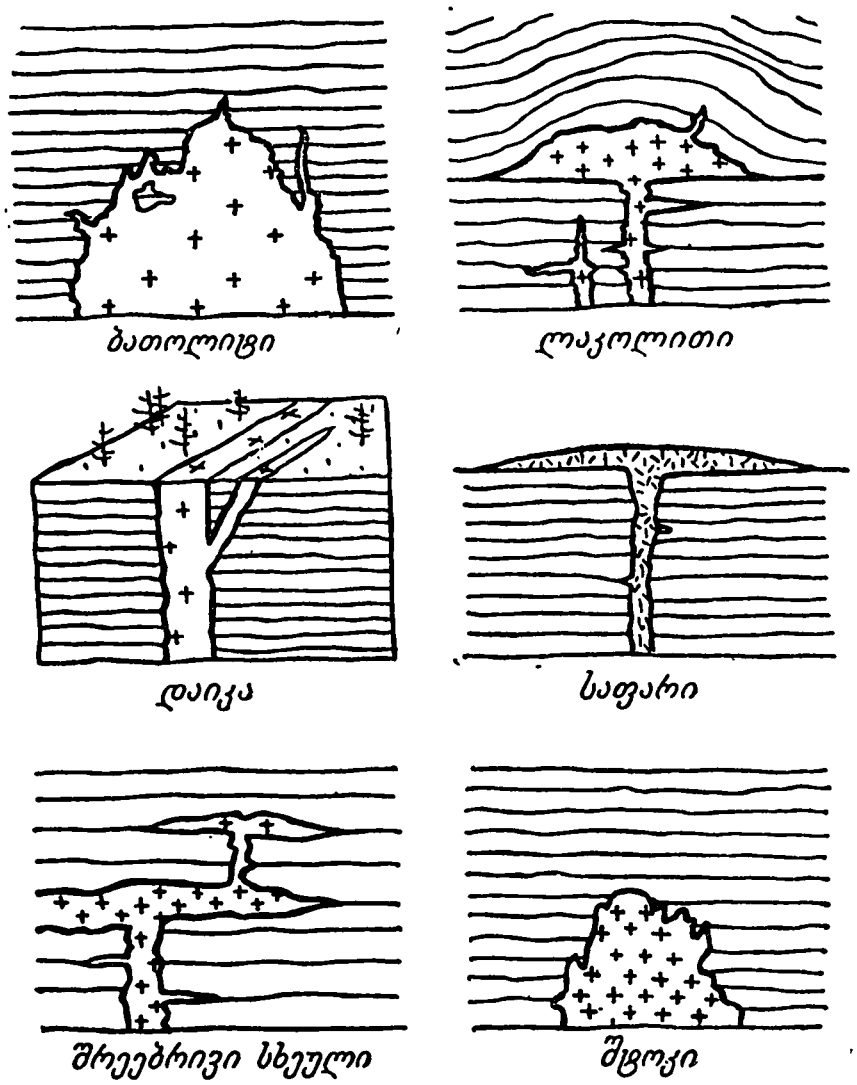
როგორ წარმოიქმნება მინერალები და ქანები

მდინარის ნაპირას ან მთის ფერდობზე ხშირად ვპოულობთ სხვადასხვა მინერალის ან ქანის ნატეხს, რომელშიც ერთმანეთთან მჭიდროდ მიკრული მარცვლები (კრისტალები) მოჩანს. ზოგიერთი ნატეხი მუქი ფერის მინის მსგავსია და ერთგვაროვან სხეულს წააგავს, მაგრამ მიკროსკოპით გასინჯვისას ირკვევა, რომ იგი უწვრილესი მარცვლებისაგან შედგება. გვხვდება ისეთი ქანებიც, რომლებსაც მკვეთრად ეტყობა შრეებრიობა, და რომლებიც გაქვავებულ ნიჟარებს შეიცავს.

რატომ არის, რომ ქანები ასე განსხვავდება ერთიმეორისაგან? ეს მათი სხვადასხვაგვარი წარმოშობის შედეგია. ზოგი მათგანი წარმოშობილია ცეცხლოვან-თხევადი მაგმიდან და ამიტომაც მიიღეს სახელწოდება მ ა გ მ უ რ ი, ანუ ა მ ო ნ თ ხ ე უ ლ ი. მაგალითისათვის შეგვიძლია დავასახელოთ გრანიტი, ბაზალტი, ტუფი, პემზა. სხვა ქანები უძველესი ზღვებისა და ტბების ფსკერზე წარმოიშვა, სადაც თანდათანობით, მილიონობით წლის განმავლობაში გროვდებოდა ქვიშა, თიხა და ორგანიზმე-

ბის ნარჩენები. ასე წარმოიქმნა დ ა ნ ა ლ ე ქ ი ქანები. დედამიწის ქერქის მოძრაობის შედეგად ზღვის ფსკერი ხმელეთად იქცა.

დანალექი ქანებიდან კარგადაა ცნობილი თიხა, ცარცი, ქვიშაქვა, კირქვა. დედამიწის ქერქის მოძრაობასთან დაკავშირებით დანალექი და მაგმური ქანები შეიძლებოდა მიწის წიაღში მოქცეულიყო



მაგმური ქანების განლაგების სახეები.

და იქ დიდი წნევისა და გახურების გავლენით სახე ეცვალა. ასე იქმნებოდა ახალი ქანები, რომლებსაც გეოლოგებმა მ ე ტ ა მ ო რ ფ უ ლ ი[1] უწოდეს. მათ ეკუთვნის მარმარილო, თიხა-ფიქალი და გნეისი.

მაშასადამე, წარმოშობის მიხედვით არსებობს მაგმური, დანალექი და მეტამორფული ქანები, რომელთაგან თვითეული მინერალებისაგან შედგება.

მ ი ნ ე რ ა ლ ი არის ელემენტების ბუნებრივი ქიმიური ნაერთი, რომელსაც გარკვეული, მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი თვისებები გააჩნია. მაგალითად, ნატრიუმისა და ქლორის შეერთება სუფრის მარილს გვაძლევს, სილიციუმისა და ჟანგბადისა კი — კვარცს. ბუნებაში ისეთი მინერალებიც გვხვდება, რომლებიც მხოლოდ ერთი ელემენტისაგან შედგება. ასეთებია თვითნაბადი ოქრო, ვერცხლი, გოგირდი და სხვ. მინერალები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ფერით, სიმაგრით, სიმკვრივითა დ. სხვა თვისებებით.

მინერალების რაოდენობა ძალიან დიდია, დაახლოებით სამი ათას სახესხვაობამდეა, მაგრამ მათგან ნახევარი ძალზე იშვიათია.

მაგმური ქანები

დედამიწის ზედაპირიდან დიდ სიღრმეებზე არსებობს გავარვარებული მაგმის კერები. მთებიs წარმოშობისას დედამიწის ქერქში ჩნდება ღრმა ბზარები, რომლებშიც მაგმა ამოდის და გაჩენილ სიცარიელეებს ავსებს. მაგმა თანდათან ცივდება და კრისტალდება. თუ ეს პროცესი საკმაოდ ღრმად მიმდინარეობს, მაშინ ჩნდება მარცვლოვანი კრისტალური ქანები, რომლებსაც სიღრმის მაგმური ქანები ეწოდება. მაგრამ როცა მაგმა ვულკანის ყელიდან (იხ. გვ. 88) ან დედამიწის ქერქში გაჩენილი ბზარიდან ამოდის, წარმოიქმნება ამონთხეული მაგმური ქანები. ამ ქანებს ან ფოროვანი, წიდისებური სახე აქვს (პემზა), ანდა—მინისებური (ობსიდიანი).

მაგმური ქანები ხშირად არაფრით არ ჰგავს ერთმანეთს. ისინი ფერითაც სხვადასხვანაირებია. ზოგი თითქმის თეთრია, ზოგი მოყვითალო-ვარდისფერი, მწვანე, წითელი, ყავისფერი და შავი. ზოგიერთი მათგანი მინასავით მკვრივია, ზოგი კი შეუიარაღებელი თვალით შესამჩნევი მინერალების მარცვლებისაგან შედგება.

საიდან შეიქმნა ქანების ასეთი მრავალსახეობა, თუკი ყველა მაგმიდანაა წარმოშობილი? ამ საკითხის გარკვევაში დიდ დახმარებას გვიწევს მაგმის შემადგენლობა, რომელშიც ძირითადად შედის ჟანგბადი, სილიციუმი, ალუმინი, რკინა, კალციუმი, ნატრიუმი, კალიუმი და მაგნიუმი. ეს ელემენტები შეადგენს მაგმის 97%-ზე მეტს, მენდელეევის სისტემის სხვა ელემენტები კი — მხოლოდ დანარჩენ 3%-ს.

ელემენტები, რომელთაგანაც გამდნარი მაგმა

[1] ბერძნული სიტყვიდან „მეტამორფოო“ — ვცვლი, გარდავქმნი.

შედგება, მის მასაში თანაბრად არ არის განაწილებული. ისინი ნელ-ნელა მოძრაობენ საკმაოდ დიდ მანძილზე და მაგმის ცალკეულ უბნებში იყრიან თავს. ასეთი გადაადგილება დაკავშირებულია იმ ელემენტთა სიმკვრივესთან, რომელთაგანაც მაგმა შედგება. შედარებით მსუბუქი ელემენტები ზევით ადიან, უფრო მძიმე ელემენტები კი იძირებიან. შესაძლებელია აგრეთვე, რომ ძალიან რთული ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების შედეგად მაგმური მასები დანაწილდეს ერთმანეთში შეურეველ სხვადასხვა შემადგენლობის ნადნობებად. მაგმის დანაწილებას ხელს უწყობს მისი აქროლადი ნაწილების (გაზების) გადაადგილებაც, რომელთაც თან გადააქვთ სხვადასხვა ელემენტები. გარდა ამისა, მაგმა, რომელიც ქანებს ადნობს, მათი შემცველი ელემენტებითაც მდიდრდება.

სხვადასხვა ელემენტების გადაჯგუფებასთან დაკავშირებით ერთ ადგილზე ერთნაირი შედგენილობის მაგმა გროვდება, მეორე ადგილზე კი — მეორენაირი შედგენილობისა. დედამიწის ქერქის ბზარში შესვლისას სხვადასხვა შედგენილობის მაგმა სხვადასხვანაირ ქანებს წარმოქმნის. მაგალითად, რკინით მდიდარი მაგმა მუქ მწვანე, თითქმის შავ ქანს წარმოშობს, რომელიც შავ ქარსს შეიცავს, ხოლო მუქი მწვანე ქანმაშენი მინერალები — პიროქსენს, რქატყუარასა და ოლივინს. თუ მაგმა ღარიბია რკინით, მაშინ მისი დაკრისტალების შედეგად მიიღება ნაცრისფერი, ვარდისფერი და სხვა ღია ფერების ქანები, რომლებშიც უმეტესად ისეთი მინერალები გვხვდება, როგორიცაა კვარცი და მინდვრის შპატი. მინერალების შეხამება მეტად მრავალგვარია და ამიტომ მაგმური ქანების სახესხვაობებიც ძალიან ბევრია.

სიღრმის მაგმური ქანები დედამიწის ზედაპირიდან სამ კილომეტრზე და კიდევ უფრო ღრმად წარმოიშვება. მათ აშკარად ეტყობათ მარცვლოვანობა. მინერალების მარცვლების ზომა რამდენიმე მილიმეტრიდან 5 სმ-მდე აღწევს. ჩვეულებრივ, რაც უფრო დიდი რაოდენობით ცივდება მაგმა და რაც უფრო ღრმადაა იგი, მით უფრო უკეთ კრისტალდება მინერალების მსხვილი მარცვლები. ყველაზე მეტად გავრცელებული სიღრმის ამონთხეული ქანი არის გრანიტი. მასში ადვილი გასარჩევია ბიოტიტის, მოვარდისფრო-ნაცრისფერი მინდვრის შპატისა და ნახევრად გამჭვირვალე კვარცის მარცვლები. გრანიტის მარცვლოვან აგებულებას სავსებით შეესაბამება მისი სახელწოდებაც (ლათინური სიტყვიდან „გრანუმ“ — მარცვალი).

დედამიწის ქერქში სიღრმის ქანების ბევრი სახესხვაობაა გავრცელებული, რომლებიც, საერთოდ, კი ჰგავს გრანიტს, მაგრამ მინერალური შედგენილობით განსხვავდება მისგან. ასეთია, მაგალითად, სიენიტი, რომელშიც გრანიტთან შედარებით მეტი მინდვრის შპატია, ბიოტიტით და რქატყუარით მდიდარი დიორიტი. არსებობს აგრეთვე შუალედი აგებულების ქანებიც — გრანოდიორიტები, გრანოსიენიტები და სხვ. ეს ქანები უმეტესად ვარდისფერი, ნაცრისფერი და მუქი ნაცრისფერია. გარდა ამისა, გვხვდება უფრო მუქი კრისტალური ქანებიც — მუქი მწვანე გაბრო, რომელიც უმთავრესად პლაგიოკლაზის [1] და მუქი პიროქსენისგან შედგება, და მუქი მწვანე, თითქმის შავი პერიდოტიტები — უძველესი კრისტალური ქანები, რომლებიც უმთავრესად ოლივინს შეიცავს.

მოცულობა დედამიწის ქერქში შემოჭრილი მაგმისა, რომელიც გაცივებისას ქანებს წარმოქმნის, მეტად დიდია. მაგალითად, გრანიტებს ხანდახან ათასობით კვადრატული კილომეტრი უჭირავს. საბჭოთა კავშირის ზოგიერთ რაიონში, კერძოდ კავკასიაში, შეიძლება მთელი დღე ვიაროთ მანქანით მთავარი ქედის გასწვრივ და სულ მუდამ გრანიტს ვუცქიროთ. იგი წარმოშობილია მრავალი ბზარიდან ამოსული მაგმისაგან, რომელიც თავის გზაზე ყველა ქანს ადნობდა. მაგმური ნადნობის გაცივებისას წარმოიშვება გრანიტის სხეულები, რომლებიც მიწისქვეშა მთებს წააგავს. გრანიტისა და სხვა მაგმური ქანების ასეთ მასივებს ბათოლიტებს უწოდებენ.

როცა მაგმა ზედაპირზე ვერ ამოდის, იგი აწვება დედამიწის ზედა ფენას და ამობურცავს ხოლმე მას. ასე წარმოიქმნება სოკოსმაგვარი სხეულები ლაკოლითები. ზოგიერთ ადგილას ლაკოლითები ბორცვების სახით გაშიშვლდა მათი მფარავი დანალექი ქანების დაშლისა და გადარეცხვის შედეგად. ასეთებია, მაგალითად, მთა აიუ-დაღი ყირიმში და მთები: ბეშთაუ, ჟელეზნაია, მაშუკი, ხანჯალი და აქლემი კავკასიაში, პიატიგორსკის რაიონში.

ამას გარდა, არსებობს მაგმური სხეულების სხვა სახეებიც. ასეთებია, მაგალითად, ფილების მაგვარი

[1] პლაგიოკლაზი — მინერალი, რომელიც შეიცავს ალუმინის, სილიციუმის, ნატრიუმისა და კალციუმის ჟანგს.



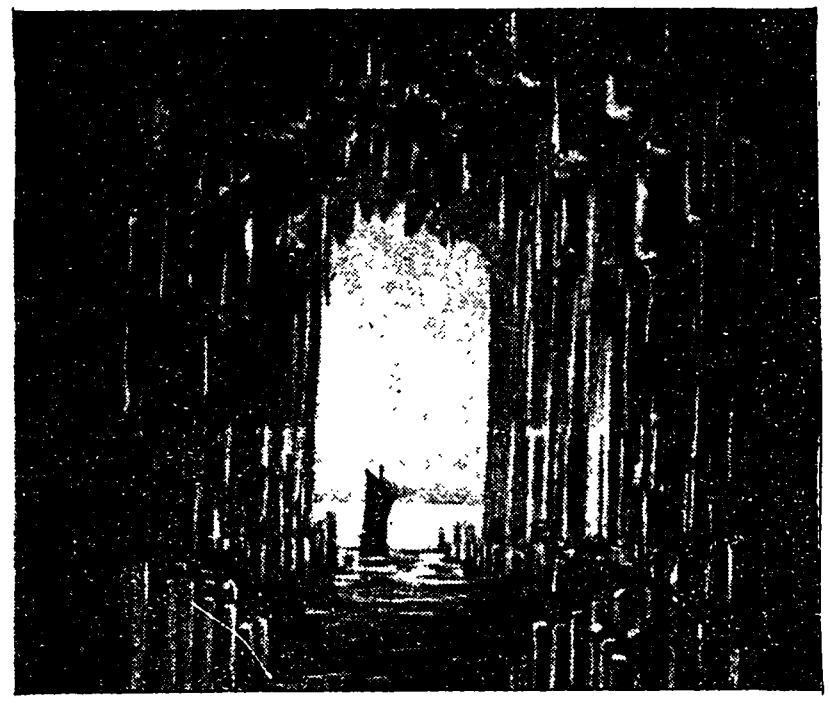
მთა აიუ-დაღი ყირიმში — ლაკოლითი.

დაიკები. ჩვეულებრივ, მათ არცთუ ისე დიდი სისქე აქვთ (5 — 10 მ), მაგრამ ხანდახან ათასობით მეტრზე არიან გაჭიმული. დაიკების წარმოშობისას საზოგადოდ ბზარებში არცთუ ისე დიდი რაოდენობის მაგმა აღწევს. მთის ცივ ქანებთან შეხებისას იგი სწრაფად ცივდება, ვერ ასწრებს მთლიანად დაკრისტალებას და წარმოქმნის წვრილმარცვლოვან ქანებს — უკვარცო პორფირიტებს, ღია ფერის კვარციან პორფირსა [1] და სხვ.

ამონთხეული მაგმური ქანები წარმოშობილა დედამიწის ზედაპირზე ამონთხეული მაგმიდან, რომელსაც ლავას უწოდებენ. მაგმა, რომლის ტემპერატურაც 1000° აღემატება, დედამიწის ზედაპირზე სწრაფად ცივდება და ქმნის მინის მსგავს ქანს. ეს არის ე. წ. ვულკანური მინა, ანუ ობსიდიანი. თუ ლავა ძალიან დიდი რაოდენობით ამოინთხევა, ნელა გაცივდება და ნაწილობრივ მოასწრებს დაკრისტალებას სხვადასხვა მინერალის პატარ-პატარა კრისტალების შემცველ მინისმაგვარ მასად. ამონთხეული ქანის წვრილკრისტალური აგებულების დანახვა მხოლოდ მიკროსკოპში შეიძლება.

ამონთხეული ლავის უზარმაზარი მასა ხანდახან საკმაოდ სქელ საფარველს ქმნის. ამ დროს ლავა ასწრებს დაკრისტალებას, ამიტომ ქანი მარცვლოვანი აგებულებისაა. ასეთია, მაგალითად, ბაზალტი— ყველაზე გავრცელებული ამონთხეული ქანი მთელ დედამიწაზე. აღმოსავლეთ ციმბირში დაახლოებით 1 მლნ კმ² ფართობზე გვხვდება ბაზალტის ნუკი მწვანე, თითქმის შავი საფარი, რომლის სისქეც 200 მ-ია. კუნძულ ისლანდიაზე ბაზალტის საფარი კიდევ უფრო დიდია — 3000 მ. ეს დაახლოებით ათასსართულიანი სახლის სიმაღლეა. ამის შემდეგ ადვილი წარმოსადგენია, რამდენი ლავაა ამონთხეული დედამიწის ზედაპირზე.

ხშირად ბაზალტის ცალკეული მასივები თავისებური აგებულებით გამოირჩევა. გვხვდება ხუთკუთხა ან ექვსკუთხა კვეთის სვეტებად დაპობილი ბაზალტის მასივები. შოტლანდიის ნაპირებიდან დასავლეთით, სტაფის კუნძულზე, ე. წ. ფინგალის გამოქვაბულში არის ბაზალტის გამოსავლები. შოტლანდიური ლეგენდა მოგვითხრობს, რომ ოდესღაც ეს გამოქვაბული გოლიათმა გამოჭრა თავისი მბრძანებლის — ფინგალისათვის. სინამდვილეში ფინგალის გამოქვაბული დიდი ხნის წინ ჩამქრალი ვულკანის ნახელავია, რომლის ყელიდანაც ბაზალტური ლავის უზარმაზარი ნაკადები ამოდიოდა. სწორედ ერთ-ერთ ასეთ ნაკადში დროთა განმავლობაში ზღვის ტალღების მიერ ამოჭრილი ღრმულია ფინგალის გამოქვაბული.



ბაზალტის სვეტები ფინგალის გამოქვაბულში სტაფის კუნძულზე.

საბჭოთა კავშირში სვეტების სახის ბაზალტის

[1] პორფირი — ქანი, რომელშიც გარკვევით მოჩანს კრისტალები. ეს კრისტალები ჩაძირულია ძირითად მინისებურ მასაში, რომელიც შედგება დაუკრისტალებელი მინერალური ნაერთებისაგან.

გამოსავლები გვხვდება ჩრდ. ტიმანის ნაპირებზე, სომხეთში — სევანის ტბის მახლობლად და ჩამჭრალი ვულკანის — არაგაცის ფერდობებზე, ალტაიში — იმიერბაიკალის რაიონში და ბევრ სხვა ადგილას.

გარდა ბაზალტებისა, ამონთხეულ ქანებში გავრცელებულია ღია ფერის ანდეზიტები და ლიპარიტები, რომლებიც უმეტესად კვარცისა და მინდვრის შპატისაგან შედგება.

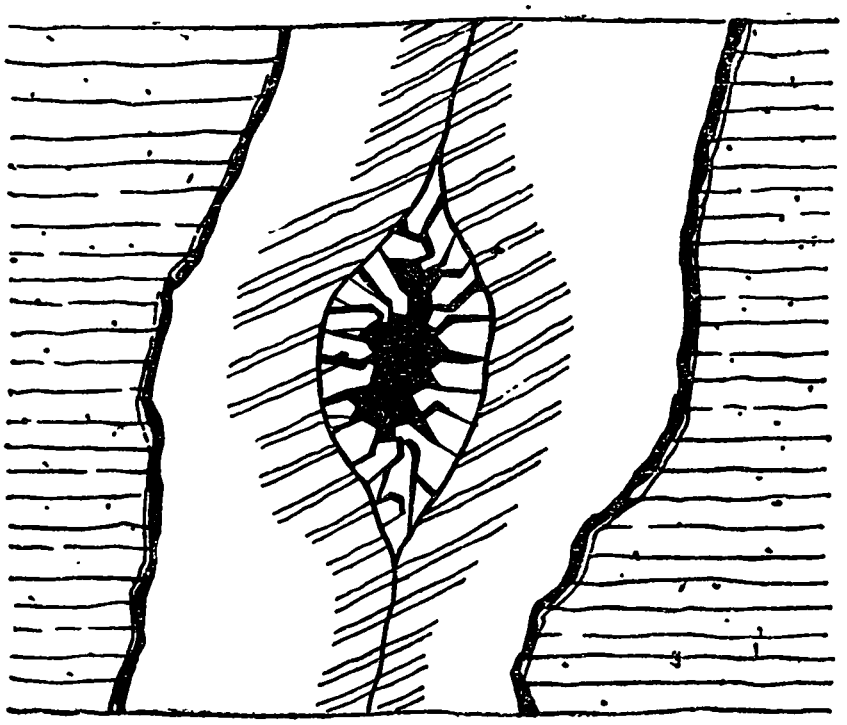
როგორ წარმოიქმნება სასარგებლო ნამარხი მაგმის დაკრისტალებისას

წიაღისეული მაგმა შეიცავს სხვადასხვა ქიმიურ ელემენტს, რომელთაგანაც მინერალები წარმოიქმნება. ეს ელემენტები მაგმიდან მისი გაცივების დაწყებისთანავე გამოიყოფა.

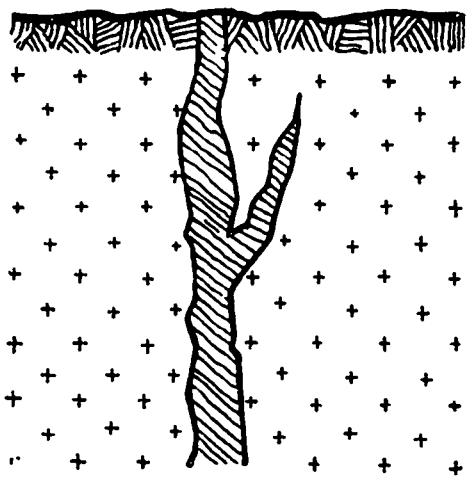
ჩვენ უკვე ვიცით, რომ მაგმის გაცივებისას წარმოიქმნება კვარცის, მინდვრის შპატისა და სხვა, ე. წ. ქანმაშენი მინერალების კრისტალები, რომელთაგანაც ძირითადად შედგება მაგმური ქანები. მადნის მინერალები, ე. ი. ქრომის, ნიკელის, სპილენძისა და სხვა მინერალები, აგრეთვე პლატინა თავს იყრის მაგმაში, რომლისგანაც წარმოიქმნება მუქი ფერის ქანები: დუნიტი, პიროქსენიტი და სხვა.

სხვადასხვა მიზეზების (დიდი სიმკვრივისა და სხვ.) გამო მადნის მინერალები თავს იყრიან მაგმის ქვედა ნაწილში ანდა სხვა მაგმურ კერებში. ამრიგად, ისეთი რაოდენობის მადნის მინერალი გროვდება, რომ წარმოიქმნება სასარგებლო ნამარხები, საბადოები (ქრომის, სპილენძისა და სხვ.). ასეთ საბადოებს მაგმურ საბადოებს უწოდებენ. აქ მინერალები უშუალოდ ისეთი მაგმიდან კრისტალდება, რომლის ტემპერატურა 800 — 1000 — 1500° აღწევს. მაგრამ მადნის მინერალების უმეტესობა ასეთი დიდი ტემპერატურის დროს ვერ ყალიბდება, იდევნება ქანმაშენ მინერალთა მიერ და ხშირად დიდი რაოდენობით გროვდება.

ჩვენ რომ დედამიწის ქერქის „ლაბორატორიაში“ შეგვეძლოს შეხედვა, ასეთ სურათს დავინახავდით: მაგმა თანდათან იწყებს გაცივებას, დაკრისტალებას და წარმოქმნის ქანებს, მაგალითად, გრანიტს. გრანიტი ძირითადად სამი მინერალისაგან — კვარცის, მინდვრის შპატისა და ქარსისგან შედგება. როცა მინერალების მარცვლები ზრდას იწყებენ, მათ შენებაზე მხოლოდ „აგურაკები“ იხარჯება. ვთქვათ, იზრდება კვარცის მარცვალი (SiO_2). იგი შენდება სილიციუმისა და ჟანგბადისაგან. ამასთან წარმოიშვება საკმაოდ მტკიცე ნაგებობა — კრისტალური მესერი (იხ. გვ. 19), თითქოს კვარცი გამოდევნის სხვა ქიმიურ ელემენტებს. იგივეს ვხედავთ მინდვრის შპატისა და ქარსის წარმოქმნის დროსაც. „დევნილი“ ელემენტები მაგმაში, საერთოდ, უხვადაა. მათ შორის აღსანიშნავია მადნის ელემენტები — ლითიუმი, ბერილიუმი, ბორი, ცირკონიუმი, ნიობიუმი, აგრეთვე ტყვია, ოქრო, თუთია, ვოლფრამი, ვერცხლი, ურანი, კობალტი, ბისმუტი და სხვა მრავალი. ეს ელემენტები, უკვე დაკრისტალებული მაგმის უბნებიდან ისეთ ადგილებში იდევნება, სადაც მაგმა ჯერ კიდევ თხევადია. აქ უამრავი მადნის ელემენტი და გაზი გროვდება, ვიდრე მოქმედებას არ დაიწყებს წნევის ძალა, რომელიც დედამიწის ქერქს კუმშავს და ნაპრალებს წარმოშობს. მაშინ მაგმა მადნის ელემენტებითა და გაზით ამ ბზარებისკენ მიისწრაფვის, აქ ცივდება, 600 — 800°-ზე დაკრისტალებას იწყებს და წარმოქმნის პეგმატიტურ ძარღვებს. ძარღვის კედელთან ახლოს ქანს წვრილმარცვლოვანი აგებულება აქვს, ცენტრისკენ კი უფრო მსხვილმარცვ-



პეგმატიტური ძარღვის აგებულების სქემა: ცენტრში კვარცისა და სხვა მინერალების შემცველი ღრუ.



ქანის ნაპრალში წარმოშობილი მადნის ძარღვი.

ლოვანი. სხვადასხვანაირი მარცვლოვანობა იმით არის გამოწვეული, რომ პეგმატიტური ხსნარი ნაპრალში მოხვედრისა და მის ცივ კედლებთან შეხებისას მალე ცივდება. რაც უფრო დაშორებულია მაგმა ნაპრალის კედლიდან, მით უფრო ნელა ცივდება და უფრო კარგად კრისტალდება. პეგმატიტურ ძარღვში ქანი უმთავრესად კვარცისა და მინდვრის შპატისაგან შედგება. ორივე ეს მინერალი ერთდროულად კრისტალდება, ამასთან კვარცი საოცრად დაკუთხული მარცვლების სახით გამოიყოფა, შეეზრდება მინდვრის შპატს და ქანს ისეთ დამახასიათებელ შესახედაობას აძლევს, რომელიც ძალიან წააგავს ძველებრაულ დამწერლობას. აქედან წარმოდგა მისი სახელწოდებაც „საწერი გრანიტი“, ანუ „ებრაული ქვა“.

პეგმატიტური ძარღვის ცენტრისაკენ მინდვრის შპატისა და კვარცის მარცვლები მსხვილდება. ცალკეული მარცვლის ზომა 20 სმ-ს აღწევს. ძარღვის ცენტრალურ ნაწილში ხშირად გვხვდება სიცარიელეები, რომლებიც წარმოქმნილია თხევად მაგმაში გაზის მოხვედრის შედეგად. ამ სიცარიელეების კედლები უმეტესად მოფენილია ბაცი ცისფერი ან მოყვითალო ღვინისფერი ტოპაზებით, მწვანე ან ვარდისფერი ტურმალინებით, ხასხასა წითელი გრანიტებით, ღია ფერისა და შავი ქარსის ექვსკუთხა დასტებით, კვამლისებური კვარცის დიდრონი კრისტალებით და სხვა მინერალებით. სიცარიელეები ხანდახან 2 მ აღწევს და შიგ უზარმაზარი კრისტალები ჩნდება.

ძველად პეგმატიტურ ძარღვებში უმთავრესად ძვირფას ქვებს ეძებდნენ, ახლა კი — იშვიათ მიწა მინერალებს. ამ ძარღვებში მოთავსებული ელემენტები აუმჯობესებენ იმ მეტალების თვისებებს, რომელთაც ფართოდ იყენებენ ტექნიკაში.

„დევნილ“ ელემენტებს შორის ისეთებიცაა, რომლებსაც მეტად დიდი ტემპერატურის გამო (600 — 800°) არ შეუძლიათ პეგმატიტურ ძარღვში დაკრისტალება. ასეთებია ვერცხლისწყალი, სტიბიუმი, ტყვია, თუთია, ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, კობალტი, ბისმუტი, ვოლფრამი და სხვა ელემენტები. ისინი გამოეყოფიან ხოლმე პეგმატიტურ ნადნობს და ნელ-ნელა ცივდებიან დაკრისტალების პროცესში მყოფი მაგმის ნარჩენებთან ერთად. როცა ტემპერატურა 600 — 400°-ზე და უფრო დაბლა ეცემა, ხოლო დედამიწის ქერქში ნაპრალები ჩნდება, გაზები და წყლის ორთქლი შიგ გახსნილი მადნის ელემენტებით ამ ნაპრალებისაკენ მიისწრაფვის. ნაპრალების ცივ კედლებთან შეხებისას წყლის ორთქლი კონდენსირდება. წყლის ცხელი ხსნარებიდან გამოიყოფა მადნის მინერალები. ასეთ ძარღვებს ჰიდროთერმულს უწოდებენ. ისინი შეიცავენ კვარცს, კალციტს და სხვა არამადნურ მინერალებს. ამ ძარღვებში იყრის თავს ისეთი ძვირფასი მადნის მინერალები, რომლებიც შეიცავენ ოქროს, ვოლფრამს, სპილენძს, კალასა და სხვა ელემენტებს. ჰიდროთერმული ძარღვებიდან იღებენ სხვადასხვა მეტალურ და არამეტალურ სასარგებლო ნამარხებს.

დანალექი ქანები

გაზაფხულზე, თოვლის დნობისას, ანდა ზაფხულში კოკისპირული წვიმის შემდეგ ყველა მაღლობიდან წყლის ნაკადები მოედინება. ეს ნაკადები ერთდება ღელეებად, რომლებსაც თავიანთი წყალი მდინარეებისაკენ მიაქვთ.

ღელეებსა და მდინარეებს დედამიწიდან ყოველწლიურად აუარებელი თიხნარი, ქვიშნარი და სხვა მინერალური ნაწილაკები ჩააქვთ ზღვებში.

ზღვის წყალი, გარდა თიხნარისა, დიდი რაოდენობით შეიცავს კალციუმის ქიმიური ნაერთების ხსნარს. ეს ელემენტი ზღვებისა და ოკეანეების ბევრი ბინადარის კირქვოვანი ჯავშნის შემადგენელი ნაწილია. როცა ზღვის ორგანიზმები იხოცება, მათი ნარჩენებისაგან იქმნება კირქვიანი ქანების შრეები. ეს შრეები თანდათან მჭიდროვდება, მაგრდება და ბოლოს ქვავდება. ამ მასალისაგან იგება კირქვის შრეები, ხოლო თიხოვანი ნაწილაკებისგან თიხა-ფიქლები. ხშირად ზღვის წყლიდან ერთდრო-

ულად გამოიყოფა თიხნარი და კირქვის ნაწილაკები და წარმოიქმნება მ ე რ გ ე ლ ი.

ზოგიერთი დანალექი ქანი მთლიანად ზღვის ზღარბთა ეკლების გროვის, ზღვის შროშანების სახსრების, ნიჟარების, ზღვის მკვდარ ცხოველთა ჩონჩხებისა და ჯავშნებისაგან შედგება. მაგალითად, ყველასთვის კარგად ცნობილი ცარცი, რომელსაც თქვენ სკოლაში ხმარობთ და რომელიც ბელგოროდის მახლობლად და სხვა რაიონებშიც მოიპოვება, შედგება უმცირესი არსებების — ფორამინიფერების ნარჩენებისაგან. ხშირად გვხვდება აგრეთვე კირქვიანი ქანის შრეები (ყირიმში), რომელიც ძვირფას სამშენებლო ქვას წარმოადგენს.

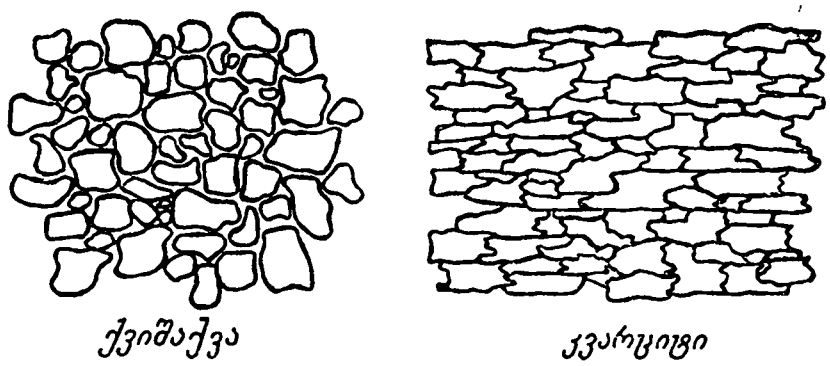
ოკეანის სიღრმის ნალექები შედგება კაჟიანი შლამისაგან, რომელიც წარმოიქმნება კაჟჯავშნიანი დახოცილი უწვრილესი წყალმცენარეების — დიატომეებისა და აგრეთვე უმარტივესი ერთუჯრედიანი ორგანიზმების — რადიოლარიებისაგან; რადიოლარიებსაც საკმაოდ მკვრივი კაჟის გარსი აქვთ. გამაგრების შემდეგ დიატომური შლამი იქცევა მაგარ ქანად — დიატომიტად. ამ შლამიდან, რომელიც დიატომეებს გარდა სხვა წვრილი ცხოველური ორგანიზმების ნარჩენებს შეიცავს, წარმოიქმნება დიატომიტის მსგავსი ქანი — ტრეპელი.

ზღვის ნალექს, რომელიც შედგება მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმების ნარჩენებისაგან, ო რ გ ა ნ ო გ ე ნ უ ლ ი დანალექი ქანები ეწოდება. ისინი ჩვეულებრივ ზღვების ღრმა უბნებში წარმოიქმნებიან, სადაც წყალში გახსნილი კალციუმის, სილიციუმისა და სხვა ელემენტების ქიმიური ნაერთები ალწევს. წყალმარჩხ ადგილებში გროვდება ნაშალი ქანების შედარებით მძიმე ნაწილაკები, ხოლო ნაპირთან ახლოს ზღვის ტალღებით დამრგვალებული კენჭები.

ზღვის ფსკერზე ქვიშის შრეები ზედა ქანების დაწოლის შედეგად თანდათან მკვრივდება, ქვიშის მარცვლებს შორის სიცარიელეები კირქვითა და ზღვის წყლის შემადგენელი სხვა ნივთიერებებით ივსება და წარმოიქმნება მკვრივი ქანი ქვიშაქვა. გამკვრივებული, კირქვიანი და სხვა ხსნარებით შედუღებული ქანების დიდრონ და დაკუთხულ ნა-



დანალექი ქანების შრეების გამოსავალი ნოვოროსიისკის მახლობლად.



მარცხნივ კვარცის მარცვლების განლაგება ქვიშაქვაში, მარჯვნივ — კვარციტში.

ტეხებს ბრექჩია ეწოდება, ხოლო გამკვრივებულ კენჭების შრეს — კონგლომერატი.

ოკეანის ფსკერზე ილექება, აგრეთვე, ზღვის წყალში გახსნილი რკინის, მარგანეცისა და ალუმინის ჟანგები. ალაგ-ალაგ მათგან წარმოიშვება რკინის, მარგანეცისა და ბოქსიტის (ალუმინის) მადნის საკმაოდ მძლავრი შრეები, რომლებიც მონაცვლეობენ სხვადასხვა ქანების შრეებთან.

დანალექ ქანებს შორის გვხვდება ქვანახშირის შრეებიც. ეს შრეები წარმოშობილია ტორფისა და მერქნიანი მცენარეების ნარჩენებისაგან, რომლებიც უხვად გროვდებოდა სანაპირო, დაჭაობებულ უბნებში. დროთა განმავლობაში ისინი დაფარა თიხის, ქვიშაქვის, კირქვისა და სხვა დანალექი ქანების საკმაოდ სქელმა შრეებმა. დიდი დაწოლისა და უჰაერობის შედეგად მცენარეული ნარჩენები თანდათან სახეს იცვლიდა, ნახშირბადით მდიდრდებოდა (ნახშირბადდებოდა) და საბოლოოდ ქვანახშირად იქცა.

ნავთობიც უთუოდ ორგანული წარმოშობისაა. უმცირესი ცხოველური და მცენარეული ორგანიზმების ნარჩენები უძველესი ზღვების ფსკერზე გროვდებოდა და წარმოქმნიდა ორგანულ შლამს. მათ თანდათან სხვა ნალექები ფარავდა და ამკვრივებდა. ხანგრძლივი დროის განმავლობაში უჰაეროდ ყოფნის შედეგად ეს ნარჩენები ნავთობად იქცა. ხშირად ნავთობთან ერთად საწვავი გაზის უზარმაზარი მარაგიც გვხვდება.

ასევე საინტერესოა ბუნებაში სხვა სასარგებლო ნამარხების წარმოშობაც. ზღვასთან ვიწრო სრუტით შეერთებულ უბეში წყალი სწრაფად ორთქლდება, იზრდება მისი მარილიანობა, განსაკუთრებით ცხელ და მშრალ ჰავიან ადგილში. როცა ხსნარი ზედმეტად გაჯერებულია, მარილი ფსკერზე ილექება. ასე წარმოიქმნება მირაბილიტის, აწუ გლაუბერის მარილის, ქვამარილის, თაბაშირისა და სხვა სასარგებლო ნამარხების შრეები.

დანალექ ქანებს ყოველთვის ჰორიზონტალური მდგომარეობა როდი აქვს. ისინი ხშირად გვხვდება მთის ღრმულებსა და ხეობებში, მდინარეების კალაპოტსა და ღრმა ხრამებში. დედამიწის ქერქში წარმოშობილი ძლიერი წნევის შედეგად ქანები ბევრგან დანაოჭებულია.

ზღვის ფსკერზე დაგროვილი ნალექები უზარმაზარი წნევის ქვეშ მკვრივდება და თიხოვანი მინერალებიდან წარმოიქმნება გამჭვირვალე ქარსის პატარა-პატარა ქერცლები — სერიციტი და ქლორიტი. თუ ნალექი სილიციუმიან ნივთიერებას შეიცავს, შეიძლება კვარცი მივიღოთ, კირქვის ნაწილაკებისაგან კი — კალციტი. როცა დანალექ კირქვიან მასალაში მაგნიუმია, მაშინ წარმოიშვება სულ სხვა ქანი — დოლომიტი.

ნალექები ტბებსა და ჭაობებშიც გროვდება, მაგრამ შრეების სისქე აქ დიდი არ არის.

მთების ფერდობებზე ქანების გამოფიტვისას წარმოიქმნება ქვიშა, თიხა და ქანების ნამტვრევები. სულ სხვანაირად მიმდინარეობს ეს პროცესი უდაბნოში. ძლიერ ქარებს იქიდან დიდი რაოდენობით გამოაქვთ ქვიშა, რომელიც ხვდება კლდეებს, ეხახუნება ერთმანეთს. სუსტი, არამყარი ნივთიერების მარცვლები მალე ილევა და მტვრად იქცევა. ეს მტვერი ქარს შორს მიაქვს უდაბნოდან და იქ ლექავს რბილი ქანი—ლიოსის სახით. უდაბნოში კი გროვდება ქვიშა, რომელიც კვარცისა და სხვა მინერალებისაგან შედგება.

მეტამორფული ქანები

ქანი, მიუხედავად იმისა, თუ სად წარმოიშვა იგი, დედამიწის წიაღში თუ ზედაპირზე, მაინც განიცდის ცვლილებას. ზღვის ფსკერზე სხვადასხვა ნალექი გროვდება. მილიონობით წლის განმავლობაში ამ ნალექის სისქე ასეულ და ხანდახან ათასეულ მეტრსაც აღწევს. ზევით განლაგებული შრეები უზარმაზარი ძალით აწვება ქვედა შრეებს და ფხვიერი ნალექიც თანდათან მკვრივდება. ერთი კუბური მეტრი ქანი საშუალოდ 2500 კილოგრამს იწონის. ხოლო 100 მ სიმაღლის ქანის სვეტი თავის ქვეშ მოქცეულ 1 მ² ქანს ასჯერ უფრო მეტი სიმძიმით — 250 000 კგ ძალით აწვება. ამას უნდა დავუმატოთ

წყლის დაწოლაც. ასეთი უზარმაზარი დაწოლის შედეგად დანალექი ქანები არა მარტო მკვრივდება, არამედ ნაწილობრივ დაკრისტალებასაც იწყებს.

დედამიწის ქერქში რამდენიმე კილომეტრის სიღრმეზე ქანებზე მოქმედებს მაღალი, ასობით გრადუსი ტემპერატურა. გარდა ამისა, დედამიწის ქერქის ცალკეული უბნები განიცდის დაწოლას შიგნიდან, მათზე გავლენას ახდენს სხვა გეოლოგიური ფაქტორებიც. ამის გამო ათობით მეტრის სისქის შრეები ნაოჭდება. ამასთან ზოგიერთი ქანი, მაგალითად, კირქვა, რომელიც დედამიწის ქერქის შრენარშია მოქცეული, თანდათან ადგილს იცვლის მთიდან წამოსული ყინვარივით.

ძალზე დიდი დაწოლისა და ტემპერატურის გამო ქანები და მინერალები ახალ-ახალ თვისებებს იძენენ. ამ პროცესს მ ე ტ ა მ ო რ ფ ი ზ მ ი ეწოდება. მაგალითად, ძირითადად კვარცის მარცვლებიდან ნაგები ქვიშაქვისაგან წარმოიქმნება ახალი მკვრივი ქანი კვარციტი. იგი შედგება გადაკრისტალებული კვარცისაგან, რომლის მარცვლებიც ისე ახლოსაა ერთმანეთთან, რომ მათ შორის ცარიელი ადგილი აღარ რჩება.

თუ კვარციტი რკინის ჟანგის შემცველი ქვიშაქვისაგანაა წარმოქმნილი, მაშინ გვექნება რკინიანი კვარციტი. რკინიანი კვარციტის უზარმაზარი საბადოებია კრივოი როგში, კურსკის მაგნიტური ანომალიის რაიონში და სხვაგან.

მეტამორფიზმის პროცესში გადაკრისტალების შედეგად კირქვა მარმარილოდ იქცევა, დანალექი და მაგმური ქანები კი — გნეისებად. ამ ყველაზე მეტად გავრცელებულ მეტამორფულ ქანში საზოგადოდ ისეთივე მინერალები შედის, როგორიც გრანიტშია, რომლისგანაც იგი ცოტად თუ ბევრად ნკვეთრად გამოხატული ზოლისებური აგებულებით განირჩევა.

ხანდახან ქანები მხოლოდ მაგმისა და ცხელი ხსნარების მოქმედებით განიცდიან მეტამორფიზაციას. დედამიწის ქერქში შეჭრისა და ქანებთან შეხებისას მაგმა ნაწილობრივ ალღობს მათ. ცხელი ხსნარები, წყლის ორთქლი და გაზები, რომლებსაც თან მოაქვთ სხვადასხვა ელემენტების ნაერთები, ირგვლივ მყოფ ქანებზე მოქმედებენ: ხსნიან და გამოაქვთ ერთი მინერალი, ხოლო მის ადგილზე შეორეს ლექავენ.

* * *

მზის, ჰაერისა და წყლის გავლენით დედამიწის ქერქი განუწყვეტლივ იცვლება. მილიონობით წლის განმავლობაში დედამიწის ზედაპირიდან აღგვილ იქნა უზარმაზარი სისქის შრეები. მადნების საბადოები თანდათან შიშვლდებოდა, ან უფრო უახლოვდებოდა ზედაპირს. ატმოსფეროს, გრუნტის წყლებისა და სხვა ფაქტორების გავლენით ამ საბადოებშიც ერთი მინერალიდან მეორე წარმოიქმნება. მხოლოდ რამდენიმე ნივთიერება — ოქრო, პლატინა და ზოგიერთი სხვა, არ იცვლის თავის ქიმიურ შედგენილობას. ამგვარად, მინერალები და ქანები წარმოიშვება როგორც დედამიწის წიაღში, ასევე მის ზედაპირზეც.

სასარგებლო ნამარხები

ჩვენს საუკუნეში, რომელიც ატომური ენერგიისა და ტექნიკის საუკუნედ ითვლება, სასარგებლო ნამარხები ძალიან დიდი რაოდენობითაა საჭირო.

ს ა ს ა რ გ ე ბ ლ ო ნ ა მ ა რ ხ ე ბ ი ეწოდება ისეთ ორგანული თუ არაორგანული წარმოშობის მინერალურ ნივთიერებებს, რომლებიც დედამიწის ქერქში ძევს და ადამიანმა შეიძლება საჭიროებისამებრ გამოიყენოს, როგორც ბუნებრივი სახით (ქვანახშირი, სუფრის მარილი, ზოგიერთი სამშენებლო მასალა), ასევე გადამუშავების შემდეგ (მეტალების ან აპატიტური მადნები).

სასარგებლო ნამარხები ქმნიან საბადოებს, ე. ი. მინერალური ნივთიერებანი ისე იყრიან თავს დედამიწის ქერქში, რომ მათი დამუშავება ეკონომიურად ხელსაყრელია. ეს იმას ნიშნავს, რომ მინერალური ნედლეული უნდა იყოს გარკვეული ხარისხისა და საკმაო რაოდენობით, მისი მოპოვებისა და გადაზიდვისათვის კი კარგი პირობები უნდა არსებობდეს.

ფიზიკური მდგომარეობის მიხედვით სასარგებლო ნამარხები იყოფა მყარ (რკინის მადნები), თხევად (ნავთობი) და გაზისებრ (საწვავი გაზი) ნამარხებად.

თავიანთი შემადგენლობის, თავისებურებისა და

სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგებში გამოყენების ხასიათის მიხედვით სასარგებლო ნამარხები იყოფა: 1) საწვავ, 2) მეტალურ და 3) არამეტალურ (არამადნურ) ნამარხებად.

სასარგებლო ნამარხებს ყველა სახელმწიფოსათვის ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს. ამიტომ ყოველგვარი გაზვიადების გარეშე შეიძლება ითქვას, რომ სამთო მრეწველობისა და მასთან მჭიდროდ დაკავშირებული სამრეწველო წარმოების დარგების მდგომარეობა სავსებით ასახავს ამა თუ იმ ქვეყნის ეროვნულ სიმდიდრეს, მის სიძლიერესა და დამოუკიდებლობას.

თუ, საერთოდ, ვილაპარაკებთ სხვადასხვა მეტალებისა და სხვა მნიშვნელოვანი სასარგებლო ნამარხების (ქვანახშირი, ნავთობი და სხვ.) მარაგზე, რომელიც დედამიწის ქერქშია მოქცეული, იგი ძალზე დიდია და მის გამოლევაზე ჯერჯერობით ფიქრიც ზედმეტია. მთავარი სულ სხვა რამეა. საქმე ის არის, რომ სასარგებლო ნამარხების ამ გრანდიოზული მარაგის მთლიანად გამოყენება შეუძლებელი ხდება, რადგან მათი მოპოვება ჯერჯერობით ყველგან არ ხერხდება.

თავისი არცთუ ისე დიდი ხნის ისტორიის მანძილზე კაცობრიობამ დედამიწის წიაღიდან აურაცხელი რაოდენობის სხვადასხვა სასარგებლო ნამარხი ამოიღო.

მინერალებისა და ქანების გამოყენება ადამიანებმა ჯერ კიდევ თავიანთი არსებობის გარიჟრაჟზე დაიწყეს. ჯერ საუკუნის მანძილზე პირველყოფილმა ადამიანმა ქვისაგან შრომისა და თავდაცვის იარაღების გაკეთება ისწავლა. არქეოლოგიური გათხრების მონაცემების საფუძველზე დადგენილია, რომ მინერალური ნედლეულის პირველი სახეობები, რომლებითაც პირველყოფილი ადამიანი სარგებლობდა, იყო არამეტალური სასარგებლო ნამარხები — კაჟი, რქაულა, კვარცი, კვარციტი და ზოგიერთი სხვა მაგარი მინერალი და ქანი. ქვისგან ამზადებდნენ დანებს, შუბებისა და ისრების ბუნიკებს, ნაჯახებს, სატეხებს, ასტამებსა და სხვა იარაღებს.

ქვასთან ერთად თიხასაც იყენებდნენ. პირველყოფილი ადამიანის მარჯვე ხელით კეთდებოდა თიხის ჭურჭელი, სხვადასხვა სამკაულები და თვით ღმერთების გამოსახულებებიც კი. დაახლოებით ნეოლითურ დროში გაიცნო ადამიანმა ოქრო და სპილენძი. როცა თავისთვის უფრო საჭირო ქვების ამოცნობა ისწავლა, ადამიანმა მათ მოგროვებას მიჰყო ხელი.

ძველ მსოფლიოში კარგად განვითარებული მთის სარეწები ჰქონდათ მაშინდელ ყველაზე უფრო კულტურულ ხალხებს — ინდოელებს, ბაბილონელებს, ეგვიპტელებსა და ბერძნებს. ჩვენში უძველესი მაღაროების ნაშთები ნაპოვნია უკრაინაში, ურალზე, ალტაიში, ამიერკავკასიაში, ყაზახეთსა და ამიერბაიკალეთში. ზოგიერთი მაღარო ქვის ხანის დასასრულს ეკუთვნის. ბრინჯაოს ხანაში II და I ათასწლეულებში ჩვენს ერამდე კალბინის და ნარიმის ქედებზე უკვე კალის მადანს იღებდნენ. დაახლოებით 3500 წლის წინ ურალისპირეთში მალაქიტის მადნიდან სპილენძს ადნობდნენ. I ათასწლეულში ჩვენს ერამდე ჩრდილოეთ ყაზახეთში ოქროსა და სპილენძის, ხოლო შუა აზიაში — ვერცხლისა და ტყვიის მადნებს ამუშავებდნენ.

ბრინჯაოს ხანაში ჩვენი წინაპრები სამკაულებად იყენებდნენ სხვადასხვა ძვირფას და სანაკეთო ქვებს.

რკინის ხანის დასაწყისშივე რუსეთის ველის შუა და ჩრდილოეთ რაიონებში მცხოვრებმა ტომებმა ჭაობის რკინის მადნებიდან ისწავლეს რკინის გამოდნობა. რკინის ხანის კვალი ბევრგანაა შემონახული დნეპრისა და ვოლგის სათავეებთან, ოკას შუა დინებასა და კარელიაში.

ამგვარად, პირველყოფილ საზოგადოებასა და შემდეგ, ძველ მსოფლიოში, გამოყენებული სასარგებლო ნამარხების სახეები არცთუ ისე მრავალფეროვანია. მადნებიდან იყენებდნენ ოქროს, ვერცხლს, სპილენძს, რკინას, ტყვიას, კალასა და თუთიას. უფრო ფართოდ იყენებდნენ არამადნეულ ნამარხებს.

თანამედროვე მრეწველობის მიერ გამოყენებული ნამარხების რიცხვი განუწყვეტლივ იზრდება. დღეს მეცნიერებისა და ტექნიკის მიღწევების შედეგად ბევრი ისეთი მინერალი და ქანი გახდა მნიშვნელოვანი, რომლებიც დიდი ხანი არ არის, რაც სასარგებლო ნამარხთა სიაში შევიდა. მაგალითად, ისეთი ძვირფასი მადნები, როგორიცაა ნიკელი, კობალტი, ვოლფრამი, პლატინა, ურანი და სხვები, საუკუნეების მანძილზე უსარგებლოდ მიაჩნდათ და ყრიდნენ. შეიძლება ითქვას, რომ დედამიწის წიაღში არასასარგებლო ნამარხები არ არსებობს. ყოველი ქანი და ღარიბი მადანი

შეიძლება გამოვიყენოთ, თუკი მათი მოპოვების იაფ საშუალებებს შევიმუშავებთ.

საბჭოთა ხელისუფლების პერიოდში საბჭოთა კავშირში სასარგებლო ნამარხთა იმდენი საბადო აღმოაჩინეს, რომ დღეს ჩვენს ქვეყანას პირველი ადგილი უჭირავს მსოფლიოში ისეთი მნიშვნელოვანი მინერალური ნედლეულის მარაგის მიხედვით, როგორიცაა ნავთობი, რკინა, მარგანეცი, სპილენძი, ტყვია, ვოლფრამი, კალიუმის მარილები და მრავალი სხვა.

საბჭოთა კავშირის მიწის წიაღში ყველგან მოიპოვება სხვადასხვა სასარგებლო ნამარხი: ახალი მიწიდან პამირამდე და ჩვენი სამშობლოს უკიდურესი დასავლეთი ოლქებიდან შორეულ კოლიმამდე.

XXII ყრილობაზე მიღებულ სკკპ პროგრამაში ნათქვამია, რომ მეტალების და სათბობის წარმოების შემდგომი გადიდება კვლავაც დარჩება სახალხო მეურნეობის ერთ-ერთ მთავარ ამოცანად. 1980 წლისათვის ჩვენი შავი მეტალურგია ისეთ დონეს მიაღწევს, რომ წელიწადში შესაძლებელი იქნება 250 მლ ტ ფოლადის გამოდნობა. განსაკუთრებით გაიზრდება მსუბუქი, ფერადი და იშვიათი მეტალების წარმოება. ქიმიური მრეწველობა დიდი რაოდენობით მოიხმარს ნავთობსა და გაზს, ფართოდ გამოიყენებენ ატომურ ენერგიას სახალხო მეურნეობაში, მედიცინასა და მეცნიერებაში.

საწვავი ნამარხები

საწვავი ნამარხების გარეშე ვერც მრეწველობა იარსებებს, ვერც სოფლის მეურნეობა და ვერც ტრანსპორტი.

საწვავი ნამარხების ძირითადი სახეებია ტორფი, მურა ნახშირი და ქვანახშირი, საწვავი ფიქლები, ნავთობი და საწვავი გაზები. საწვავ ნამარხებს ხშირად კაუსტობიოლითებს[1] უწოდებენ.

ტორფი უხსოვარი დროიდანაა ცნობილი, როგორც საწვავი მასალა. მას ჯერ კიდევ XII—XIII სს. იღებდნენ დიდი რაოდენობით შოტლანდიასა და ნიდერლანდებში. დიდი ხნის შემდეგ (XVI—XVII სს.) დაიწყეს ტორფის მოპოვება საფრანგეთში, შვეციასა და გერმანიაში.

რუსეთში ტორფის მოპოვება პირველად სცადეს XVIII საუკუნეში.

ტორფი წარმოადგენს ჭაობებისა და დაჭაობებული ტბების ფსკერზე წარმოქმნილ ნახევრად დამპალ მცენარეულ მასას. იგი შედგება ნახევრად დაშლილი მცენარეების (ისლის, ლერწმის, ლელქაშის, ჭაობის სხვადასხვა ბალახეულის, ხავსის), ხშირად სხვადასხვა ხეების (ნაძვის, მურყანის, არყის) ნარჩენების, მთლიანად გახრწნილი მცენარეების ნარჩენების, ე. წ. ჰუმუსისა და მინერალური ნივთიერებების — ქვიშის, თიხისა და შლამისაგან.

ბუნებრივ მდგომარეობაში ტორფი ბევრ წყალს შეიცავს (დაახლოებით 80—90%). რაც უფრო მაღალია მცენარეთა ლპობის ხარისხი, მით უფრო მდიდარია ტორფი ნახშირბადით და, აქედან გამომდინარე, უფრო კალორიულიც. საუკეთესო სახის ტორფი მხოლოდ 2% ნაცარს იძლევა.

ტორფი უფრო მეტ სითბოს გამოყოფს, ვიდრე შეშა, მაგრამ საგრძნობლად ჩამორჩება ქვანახშირსა და ნავთობს და ამიტომ მისი შორ მანძილზე გადაზიდვა ეკონომიურად არ არის მიზანშეწონილი. გაცილებით ხელსაყრელია, თუ მას გამოიყენებენ ადგილობრივ ელექტროსადგურებში და ფაბრიკა-ქარხნებში.

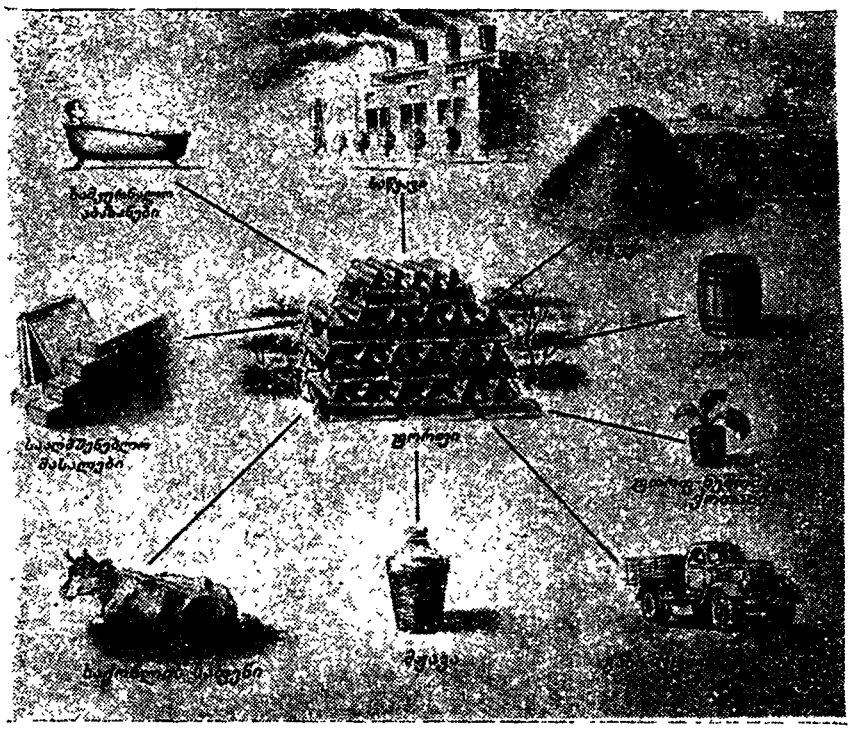
უკანასკნელ წლებში, როგორც ჩვენში, ისე საზღვარგარეთ, დიდი ყურადღება ეთმობა ტორფის ქიმიურ გადამუშავებას. ტორფიდან ბევრ ძვირფას პროდუქტს ღებულობენ, მაგალითად: გაზს, კოქსს[1], ბენზინს, ნავთს, კუპრს, ხის სპირტს, ამიაკს, კარბოლისა და ძმრის მჟავებს, რკინიგზის შპალების გასაჟღენთ ზეთს, ცვილსა და სხვა ნივთიერებებს. ტორფს იყენებენ მშენებლობაში, როგორც სითბოს საიზოლაციო მასალას, აგრეთვე სოფლის მეურნეობაში (ცხოველთა საფენად, სასუქად და სხვ.).

ტორფნარი თითქმის ყველგანაა გავრცელებული უდაბნოებს გარდა. ჩვეულებრივ, ტორფის ფენა 2—3 მ სისქისაა, მაგრამ ხანდახან 10—12 მ აღწევს. ტორფს ერთი შესანიშნავი თვისება აქვს; ეს არის ბუნებაში მარაგის აღდგენის უნარი, რითაც იგი სხვა საწვავი ნამარხებისაგან განსხვავდება.

---

[1] ეს სახელწოდება წარმოდგება სამი ბერძნული სიტყვიდან: „კაუსტოს“ — საწვავი, „ბიოს“ — სიცოცხლე და „ლითოს“ — ქვა. სიტყვასიტყვით იგი ნიშნავს ორგანიზმების ცხოველმყოფელობის შედეგად წარმოქმნილ საწვავ ქვას.

[1] კოქსი — საწვავი მასალა, რომელიც ქვანახშირისა და ტორფის უჰაეროდ, მშრალი გამოხდის გზით მიიღება.



როგორ იყენებენ ტორფს.

ტორფის ყოველწლიური ნამატი ტორფნარის მთელ ფართობზე 1 — 3 მმ უდრის.

ტორფის მსოფლიო მარაგი ჯერ არ არის გამოთვლილი. ნავარაუდევია, რომ საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ტორფის მსოფლიო მარაგის 60% მოდის. ტორფით ყველაზე მდიდარია ციმბირი და ევროპული ჩრდილოეთი. საბჭოთა კავშირში ტორფის მოპოვება მთლიანად მექანიზებულია.

ნამარხი ქვანახშირი, როგორც სათბობი, ადამიანისათვის ჯერ კიდევ ქვის ხანაში იყო ცნობილი. ქვანახშირი ნახსენები აქვს თავის ნაწარმოებებში გამოჩენილ ბერძენ ფილოსოფოსს არისტოტელეს, რომელიც ცხოვრობდა IV ს. ძვ. წ.

ევროპის ქვეყნებში ფართო მასშტაბით ქვანახშირის მოპოვება მხოლოდ XVII ს. დაიწყეს. ჩვენს ქვეყანაში ქვანახშირის ძირითადი საბადოები აღმოაჩინეს XVIII ს. 1721 წ. გრიგოლ კაპუსტინმა დონბასში იპოვა ქვანახშირი, ივანე პალიცინმა კი — მოსკოვის მიდამოებში. ერთი წლის შემდეგ მიხეილ ვოლკოვმა ქვანახშირი აღმოაჩინა კუზბასშიც. რუსეთის უდიდესი ქვანახშირის საბადოების აღმომჩენები უბრალო რუსი ადამიანები იყვნენ.

მას შემდეგ, რაც ორთქლის მანქანა გამოიგონეს და მადნის დნობა ხის ნახშირის მაგიერ ქვანახშირით დაიწყეს, ამ უკანასკნელმა საწვავ ნამარხებს შორის პირველი ადგილი დაიკავა. ამჟამად ათასობით მატარებელი მიაქროლებს ქვანახშირს მეტალურგიული ქარხნებისაკენ, სადაც მას კოქსის ღუმელებსა და ბრძმედებში წვავენ. ქვანახშირს წვავენ ორთქლმავლებისა და გემების საცეცხლეებში, თბოელექტროსადგურებში და სხვა ორთქლძალის დანადგარებში: ქვანახშირიდან ღებულობენ ბენზინს, ფისს, პლასტმასებს, მნათ გაზს, ამიაკსა და ასობით სხვა ძვირფას პროდუქტს.

ნამარხი ქვანახშირის ფერი იცვლება ღია მურადან შავამდე. ქვანახშირი არის მჭრქალი და ბრჭყვიალა, მყიფე და ქვასავით მაგარი. სხვადასხვაა ნამარხი ქვანახშირის ქიმიური შემადგენლობაც. ქვანახშირის ყველა თვისება იმაზეა დამოკიდებული, რა მასალისაგანაა იგი წარმოქმნილი და რა ცვლილებები განიცადა. ზოგი მათგანი მერქნიანი და ბალახეული მცენარეებისაგანაა წარმოქმნილი, ზოგი კი წყალმცენარეების, სპორებისა და მიკროორგანიზმების ნარჩენებისაგან.

დიდი რუსი მეცნიერი მ. ლომონოსოვი გეოლოგიურ მეცნიერებაში პირველი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ქვანახშირი წარმოიქმნა უძველესი ტორფნარებისაგან „მიწისქვეშა ცეცხლის“ დახმარებით.

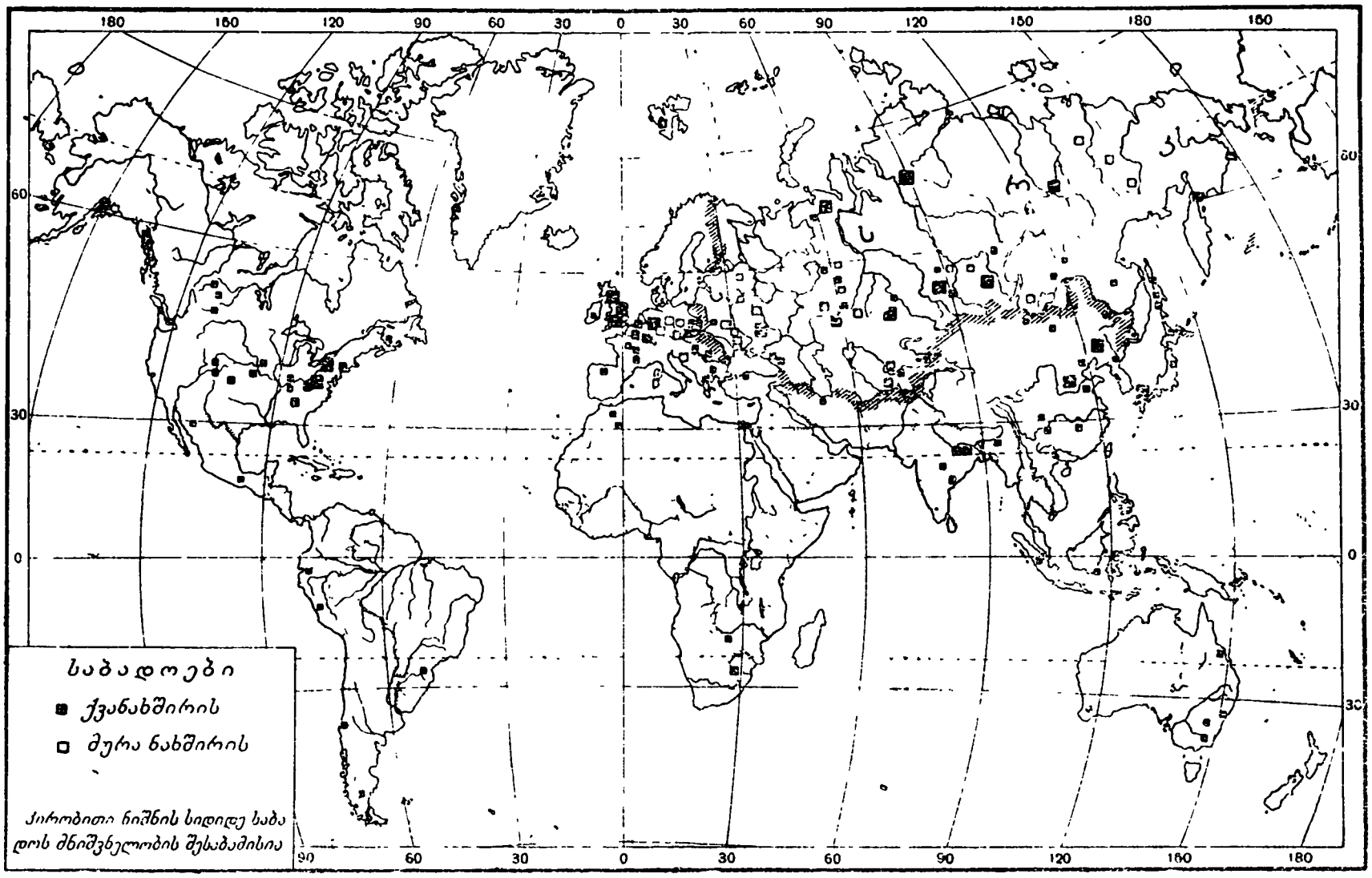
ქვანახშირის საბადოები დედამიწის სიცოცხლის სხვადასხვა პერიოდში — ქვანახშირის, პერმულ, იურულ და აგრეთვე მესამეულ პერიოდებშია წარმოქმნილი.

ქიმიური თვისებების, გარეგანი ნიშნების, თბოუნარიანობისა და ზოგიერთი სხვა თვისებურების მიხედვით ნამარხი ქვანახშირი იყოფა მურა ნახშირად, ქვანახშირად და ანტრაციტად.

მურა ნახშირი გვხვდება როგორც მკვრივი, ასევე ფხვიერი, მიწისებური მასის სახით. იგი მუქი მურა ან თითქმის შავი ფერისაა. მონატეხზე ჩვეულებრივ ძალიან მჭრქალი ელვარება ეტყობა. სიმაგრით არ გამოირჩევა. ხშირად მურა ნახშირის ლოდის მონატეხზე შეუიარაღებელი თვალითაც შეიძლება მცენარეული ნარჩენების დანახვა.

მურა ნახშირის კალორიულობა 2000 — 6200 კალორიას უდრის. იგი ბევრ ნაცარს იძლევა (40%-მდე) და ბევრ გოგირდს შეიცავს.

ქვანახშირი შავი მასაა, რომელსაც ხანდახან ზეთის ან ფისის ელვარება დაჰკრავს. მისი მონატეხი ნიჟარისებური ან ხიწვისებურია. შეხებისას ხელს აჭუჭყიანებს. მიკროსკოპში ჩანს, რომ ისიც მცენარეული წარმოშობისაა.



დედამიწაზე ქვანახშირის მთავარ საბადოთა განაწილების სქემა.

ტექნიკური თვალსაზრისით ქვანახშირი იყოფა შეცხობად (კოქსოვან), სუსტად შეცხობად (სუსტად კოქსოვან) და არშეცხობად ნახშირად (გამოფიტული, ფხვნილისმაგვარი ქვანახშირი). ქვანახშირის კალორიულობა 6600 — 8750 კალორიას შორის მერყეობს.

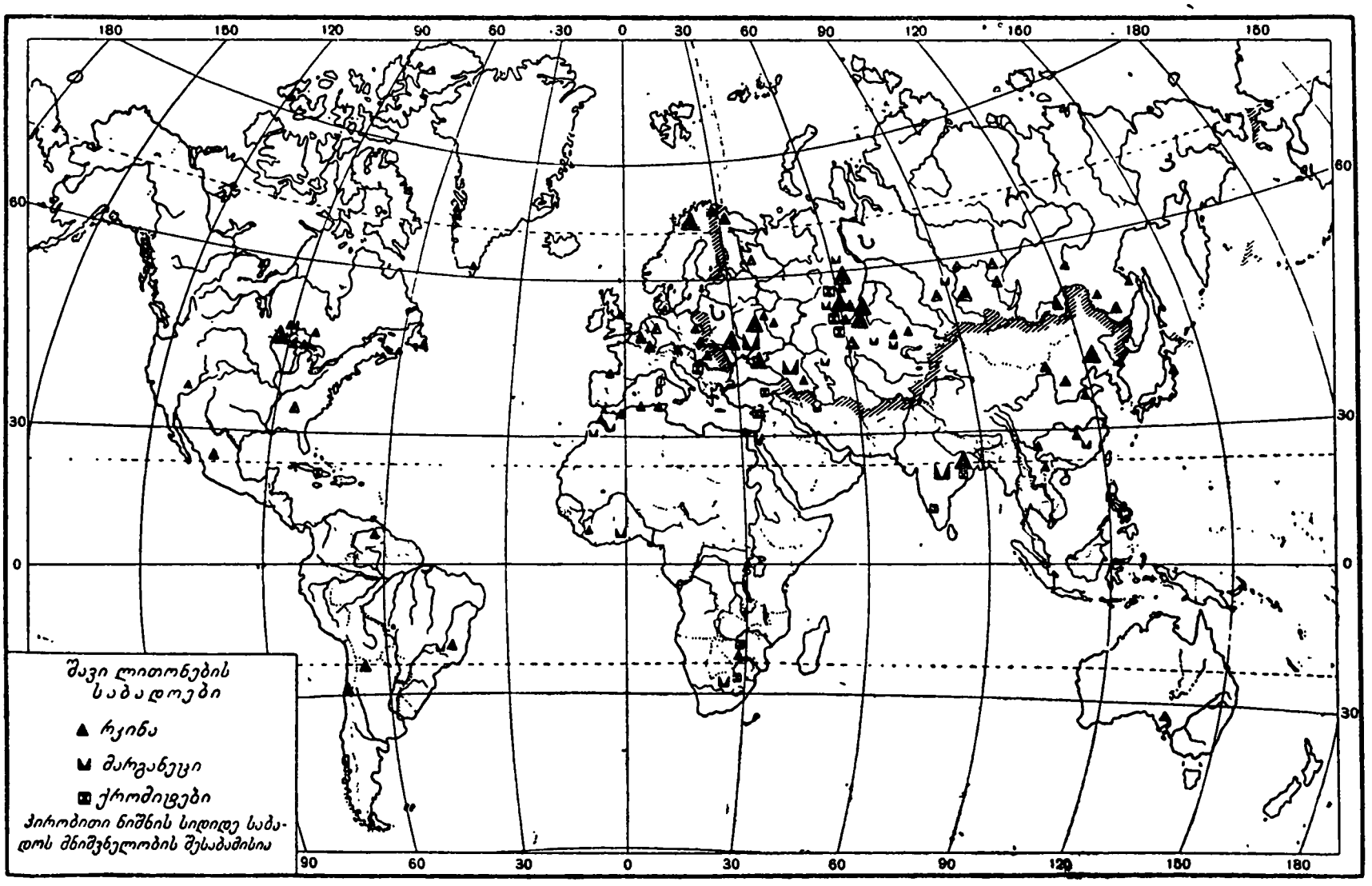
ანტრაციტი მკვრივი, რუხი ან რკინისებურად შავი მასაა, რომელსაც მეტალური ელვარება დაჰკრავს. ხანდახან ნამტვრევის ზედაპირზე ცისარტყელას ფერები შეიმჩნევა. შეხებით ხელს არ აჭუჭყიანებს. გაცილებით მაგარია, ვიდრე ქვანახშირი. ანტრაციტს ძალიან ძნელად ეკიდება ცეცხლი და მხოლოდ ძლიერი წევის დროს ანთია. მისი კალორიულობა 8650 კალორიას აღწევს.

საბჭოთა კავშირი ქვანახშირის მარაგით უმდიდრესი ქვეყანაა მთელ მსოფლიოში.

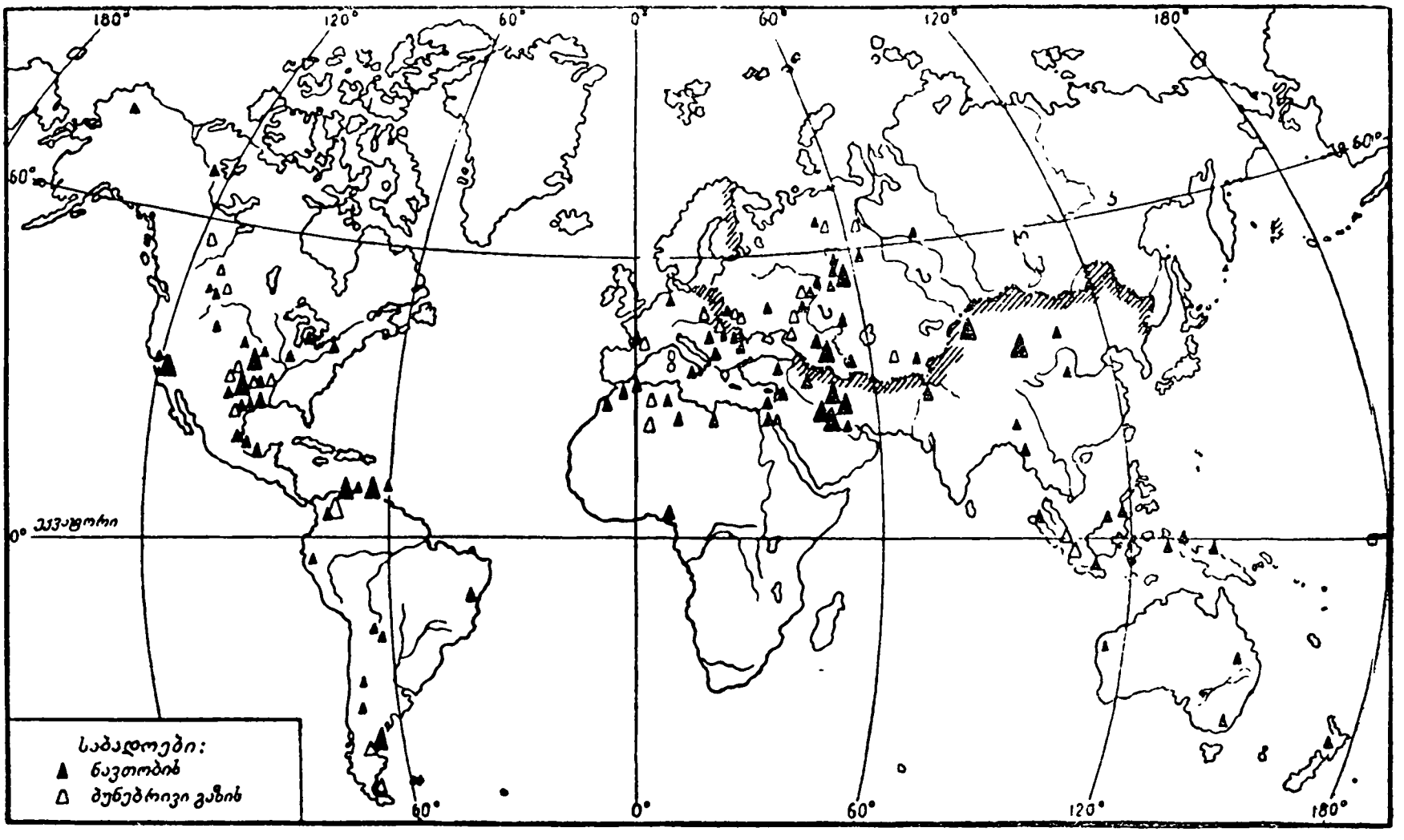
უკანასკნელი 50 — 60 წლის განმავლობაში დიდი სამრეწველო მნიშვნელობა მიენიჭა საწვავ ფიქლებს.

საწვავ ფიქლებს უწოდებენ ყოველგვარ დაფიქლებულ თიხიან ქანებს, რომლებიც საწვავ ორგანულ ნივთიერებებს შეიცავენ და რომელთა ნაცრიანობა 30 — 40% აღემატება. საწვავი ფიქლების თბოუნარიანობა 1500 — 3000 კალორიას შეადგენს. ისინი შედარებით უფრო იოლად მუშავდება თხევად სათბობად — ნავთობად და ბენზინად.

საწვავი ფიქლები სხვადასხვა გეოლოგიურ ეპოქაშია წარმოქმნილი და ზოგიერთი მათგანი მყარი საწვავი ნამარხების უძველესი წარმომადგენელია (მაგალითად, შუნგიტის ფიქლები კარელიაში და კუკერის ფიქლები ესტონეთში). საწვავი ფიქლები სხვადასხვა ფერისაა. კარგი საწვავი ფიქალი ჩვეულებრივი ასანთითაც იოლად ინთება, ჭვარტლიანი ყვითელი ალით იწვის და ფისის დამახასიათებელ სუნს გამოსცემს. მოპოვებული საწვავი ფიქლების მთავარ მასას მშრალად ხდიან, რის შედეგადაც ღებულობენ ფიქლის ზეთს, გაზსა და ამიაკურ წყალს. ზეთიდან ამზადებენ ნავთობს, ბენზინს და სხვადა-



დედამიწაზე შავი ლითონების მთავარ საბადოთა განაწილების სქემა.



დედამიწაზე ნავთობისა და გაზის მთავარ საბადოთა განაწილების სქემა.

სხვა მინერალურ ზეთებს. გაზს იყენებენ განათებისა და გათბობისათვის, აგრეთვე ენერგეტიკაში. მისი წვის დროს წარმოქმნილი ნაცარი კი სხვადასხვა სამშენებლო მასალის, ცემენტის, აგურისა და სხვათა დამზადებას ხმარდება.

საწვავი ფიქლების მსოფლიო მარაგი (თხევად სათბობზე გადაანგარიშებით) ბევრად მეტია ნავთობისა და მისი შემცვლელი ნივთიერებების ბუნებრივ მარაგზე.

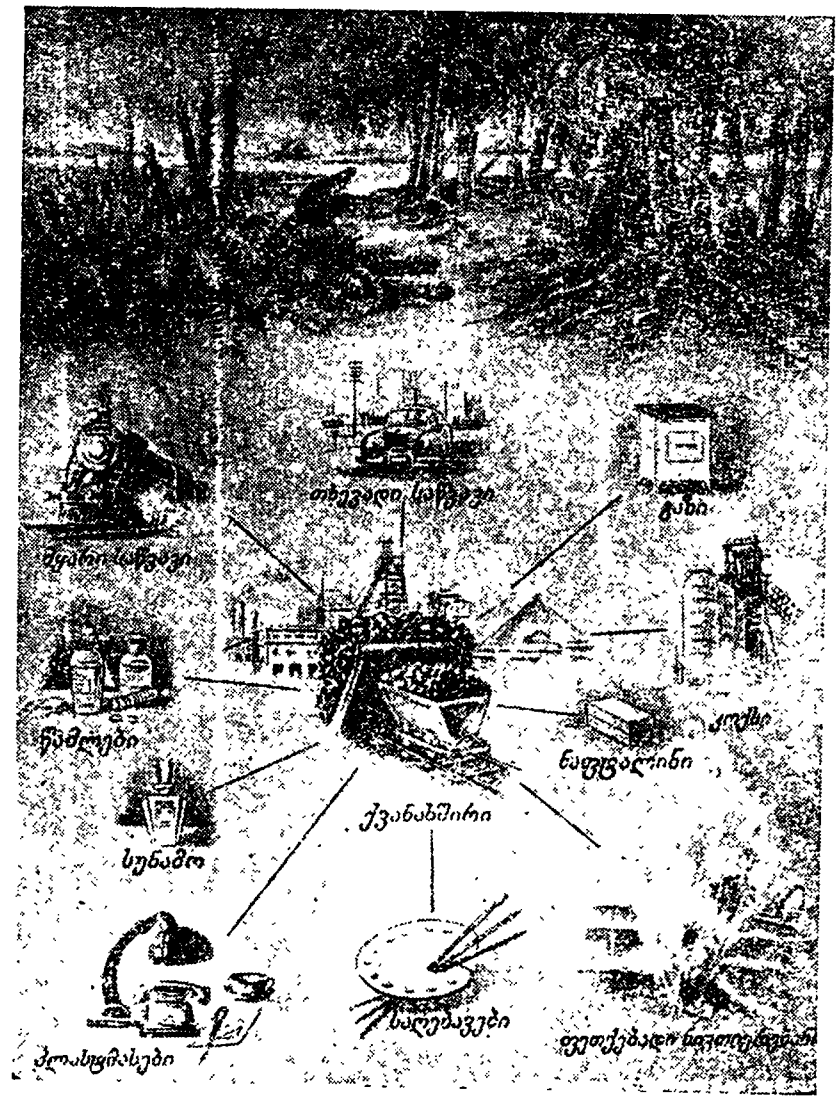
ნავთობს კაცობრიობა დიდი ხანია იცნობს. მას ჯერ კიდევ ძველი ეგვიპტელები ხმარობდნენ მიცვალებულთა ცხედრების დასაბალზამებლად. ნავთობს ძველ საბერძნეთშიც იყენებდნენ და მას „სიცილიურ ზეთს“ უწოდებდნენ. ჩვენს ქვეყანაში აფშერონის ნახევარკუნძულის მცხოვრებნი შუის უქონლობის გამო ჯერ კიდევ VIII ს. იყენებდნენ ნავთობით გაჟღენთილ მიწას თავიანთი სადგომების გასათბობად. მიწა იწვოდა და ადამიანებს სიცივისაგან იცავდა.

მიუხედავად იმისა, რომ ადამიანი დიდი ხნის წინათ იცნობდა ნავთობს, მისი ფართოდ გამოყენება მხოლოდ გასული საუკუნის მეორე ნახევარში დაიწყეს. განსაკუთრებული მნიშვნელობა კი ნავთობსა და მის პროდუქტებს ჩვენს დროში მიენიჭა.

ნავთობი ზეთისმაგვარი, უთუოდ ორგანული წარმოშობის ხითხეა. იგი, საერთოდ, მუქი ფერისაა, მაგრამ გვხვდება ღია ყვითელი, მომწვანო-ყავისფერი ან მოწითალო-ყავისფერიც. ნავთობს ნავთის სუნი აქვს და ხანდახან მეტნაკლებად გოგირდის სუნიც დაჰკრავს.

ნავთობი მეტად თბოუნარიანია. 1 კგ ნავთობი წვის დროს 10 000 კალორია სითბოს გამოყოფს. ამ მხრივ იგი ანტრაციტს სჯობია, ამას გარდა ყოველგვარი ნარჩენების გარეშე იწვის. ნავთობის ქიმიურ შემადგენლობაში მთავარი ადგილი ნახშირწყალბადებს უჭირავს, ამასთან ნახშირბადი ნავთობის 84 — 88% შეადგენს, წყალბადი კი — 14%. ნავთობში შედის აგრეთვე ჟანგბადის, გოგირდისა და აზოტის ნაერთები და ზოგი არაორგანული (მინერალური) მინარევი. სხვადასხვა საბადოების ნავთობს ხშირად ქიმიური შემადგენლობაც სხვადასხვანაირი აქვს.

ნავთობი ყველა ნალექში გვხვდება, კამბრიულიდან დაწყებული მესამეულის ჩათვლით. ნავთობს შეიცავს ზღვის წარმოშობის ფოროვანი დანალექი ქანები: ქვიშა, ქვიშაქვა, რომლებიც ხშირად

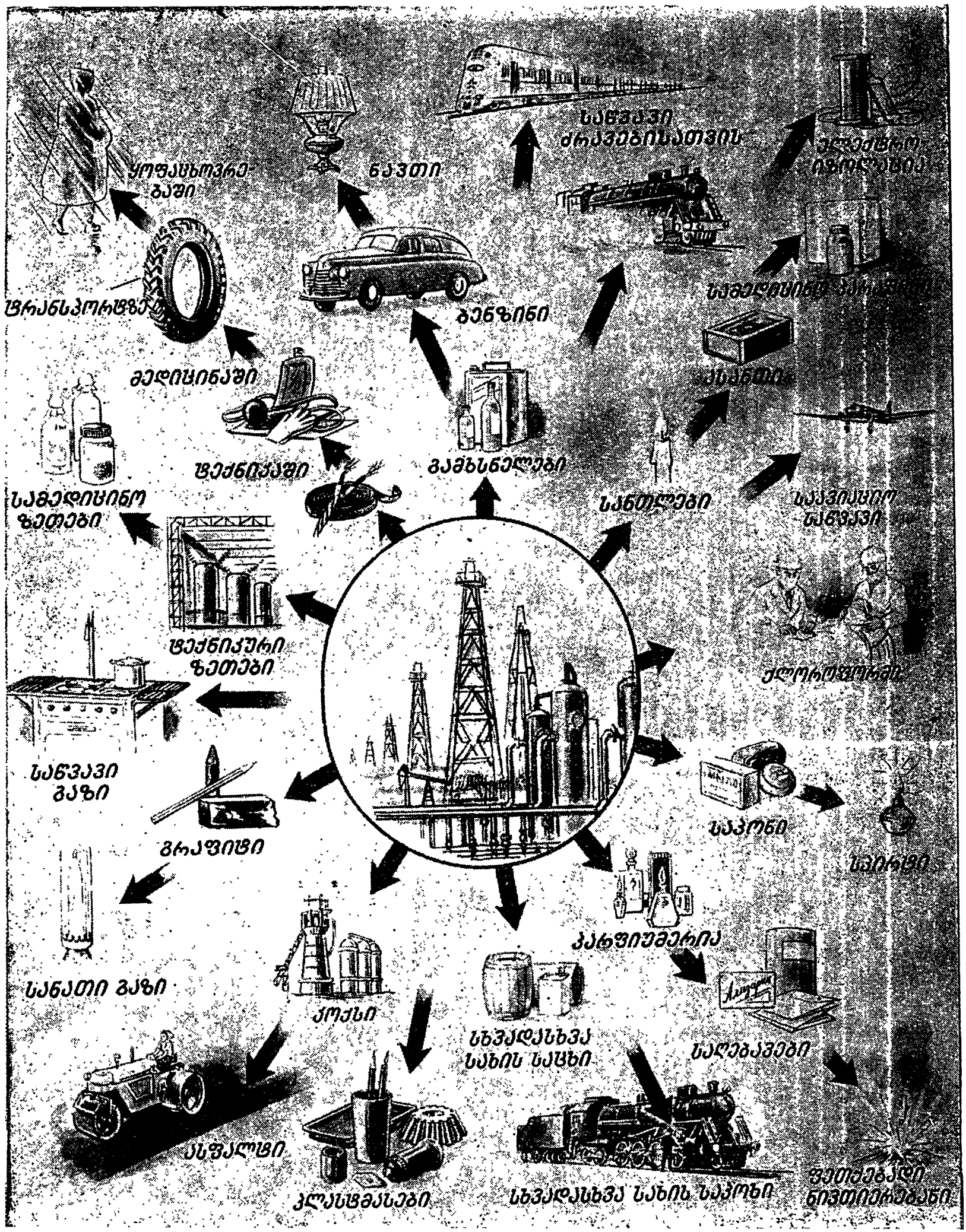


როგორ იყენებენ ქვანახშირს.

თალებივითაა მოხრილი. იგი გვხვდება კირქვებშიც, სადაც სიცარიელეებსა და ნაპრალებს ავსებს. ნავთობის საბადოებზე ხშირად გაზის დიდი წნევა მოქმედებს. ამიტომ ჭაბურღილის ბურღვისას აუცილებლად უნდა მიიღონ სათანადო ზომები, თორემ შეიძლება ნავთობმა უზარმაზარი შადრევანივით ამოხეთქოს და გაზის დიდ რაოდენობასთან ერთად უსარგებლოდ დაიკარგოს. ნავთობის ღია შადრევანი ნავთობის სარეწებზე მეტად საშიშია.

ძნელია სახალხო მეურნეობაში მოინახოს ისეთი დარგი, რომელიც ნავთობსა და მისი გადამუშავების შედეგად მიღებულ პროდუქტებს არ საჭიროებდეს. და მართლაც, ნავთობია ენერგიის, სითბოსა და სინათლის წყარო, ნედლეული ქიმიური მრეწველობისა და სხვა მრავალი დარგისათვის.

ნავთობიდან უამრავი პროდუქტი მზადდება: ბენზინი, გაზოლინი, ნავთი, მაზუთი, სხვადასხვა საპოხი ზეთი, სპირტი, სინთეზური კაუჩუკი და სხვა მრავალი.

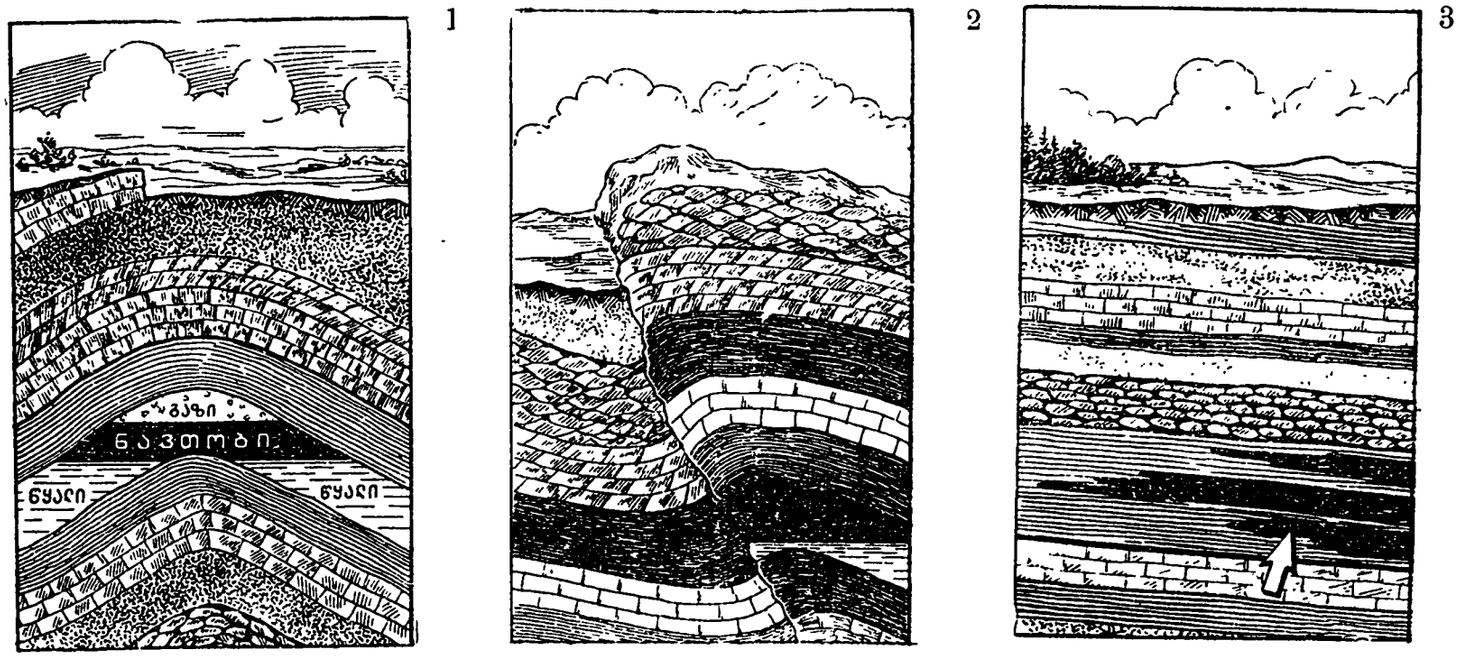


როგორ იყენებენ ნავთობს.

საბჭოთა კავშირს ნავთობის მარაგის მხრივ პირველი ადგილი უჭირავს მსოფლიოში (მას ნავთობის მსოფლიო მარაგის ნახევარზე მეტი გააჩნია).

ჩვენი ქვეყნის ასობით ქალაქსა და სოფელში მოვიდა ბუნებრივი საწვავი გაზი. მილიონობით ბინა გაზიფიცირებულია. გაზს იყენებს

გენს სხვადასხვა გაზისმაგვარი ნახშირწყალბადების, აზოტის, ნახშირჟანგის, ნახშირმჟავა გაზის, ჟანგბადისა და წყალბადის ნარევს, რომელშიც შერეულია აგრეთვე გოგირდწყალბადი და ფოსფორული წყალბადი. საწვავი გაზის თბოუნარიანობა ძალზე დიდია, იგი 11 400 კალორიას აღწევს.



1. გაზის, ნავთობისა და წყლის განლაგება ანტიკლინში.
2. ნავთობის დასაჭერი მახე სიცარიელეებიან და დანაპრალებულ კირქვაში.
3. ქვიშის შრეებს თიხა ენაცვლება. მათი გამოსოლვის ადგილებში იქმნება ნავთობის მახე.

მოსკოვის, ლენინგრადის, ხარკოვის, კიევის, სარატოვისა და სხვა ქალაქების ბევრი სამრეწველო საწარმო.

ბუნებრივი საწვავი გაზი ბენზინის მიღების მნიშვნელოვანი წყაროა, აგრეთვე ფასდაუდებელი ნედლეული ქიმიური მრეწველობისათვის პლასტმასების, ხელოვნური ქსოვილებისა და სხვათა დასამზადებლად.

ბუნებრივი საწვავი გაზი წარმოადგენს

საწვავი გაზი თავისი წარმოშობის ადგილიდან მოხმარების პუნქტებამდე გაზგაყვანილობის საშუალებით მიდის. გაზგაყვანილობის სიგრძე ხანდახან 2000 კმ აღემატება (მაგალითად, ბუხარა—ურალი).

ჩვენს ქვეყანას საწვავი გაზის, ამ ყველაზე იაფი და მეტად კალორიული სათბობისა და ქიმიური მრეწველობისათვის აუცილებელი ნედლეულის ძვირფასი წყაროს, უზარმაზარი მარაგი გააჩნია.

მეტალური ნამარხები

შავი მეტალები და მათი შენადნობები

რკინა დედამიწის ქერქში ყველაზე უფრო გავრცელებული მეტალია, მაგრამ მისი გამოყენება ზოგიერთ სხვა მეტალზე — ოქროზე, სპილენძზე, კალაზე, ტყვიასა და თუთიაზე — გვიან დაიწყეს. ამის მიზეზი, ალბათ, ის არის, რომ რკინის მადანი სრულებით არ წააგავს მეტალს. პირველყოფილი ადამიანისათვის ძნელი მისახვედრი იყო, რომ ამ მადნიდან შეიძლებოდა მეტალის მიღება, რომელიც მისთვის საჭირო ნივთების დასამზადებლად გამოდგებოდა.

ძალიან ბევრმა დრომ განვლო, ვიდრე ადამიანმა მადნიდან რკინის მიღება და იქიდან ფოლადისა და თუჯის დამზადება ისწავლა.

ამჟამად რკინის მადანი ისეთ საპასუხისმგებლო ნამარხებს მიეკუთვნება, რომელთა გარეშე არ შეუძლია არსებობა მრეწველობის მხრივ ოდნავ მაინც განვითარებულ ქვეყანას. რკინის მადანი წარმოადგენს შავი მეტალურგიის ნედლეულს, რომელსაც წლის განმავლობაში ასობით მილიონი ტონა მადანი სჭირდება.

რკინის მადნიდან ადნობენ თუჯს (ნახშირბადის შემცველობა 2,5 — 4%), ფოლადს (ნახშირბადი 1,5—0,2%), რკინას (ნახშირბადი 0,2—0,4%), ფოლადისებურ თუჯს (ნახშირბადი 2,5 — 1,5%).

მრეწველობაში უფრო მეტად ფოლადს იყენებენ, თუჯსა და რკინას კი — უფრო ნაკლებად.

თუჯს რკინის მადნიდან ადნობენ ბრძმედებში, რომლებიც კოქსით ან ქვანახშირით მუშაობენ. რაც შეეხება ფოლადსა და რკინას, მათ ადნობენ თუჯიდან ბესემერის კონვერტორებში, ამრეკლავ ბრძმედებში ან თომასის წესით (იხ. სე ტ. 5).

შავ მეტალებსა და მათ შენადნობებს დიდი მნიშვნელობა აქვს ადამიანთათვის. ასობით მილიონი ტონა თუჯი და ფოლადი ხმარდება რკინიგზებისა და ხიდების მშენებლობას, რკინაბეტონის შენობების, სხვადასხვა მანქანების, ელმავლების, ვაგონების, ავტომანქანების, ტრაქტორების, გემებისა და სხვათა აგებას. რკინისაგან მზადდება საყოველთაო მოხმარების უამრავი საგანი.

ბუნებაში დიდი რაოდენობით გვხვდება რკინის შემცველი მინერალები, მაგრამ რკინის მადანს მხოლოდ ზოგიერთი მათგანი წარმოადგენს. ეს არის მაგნეტიტი, ჰემატიტი, მურა რკინაქვა და ზოგიერთი სხვა, რომლებიც ქმნიან დიდ, ათობით და ასობით კვადრატული კილომეტრის ფართობის საბადოებს.

მაგნიტური რკინაქვა ანუ მაგნეტიტი ქიმიურად წარმოადგენს რკინის ჟანგისა და რკინის ქვეჟანგის ნაერთს. ბუნებაში იგი გვხვდება როგორც კარგად ჩამოყალიბებული კრისტალების, ისე (უფრო ხშირადაც) მთლიანი ან მარცვლოვანი სახით. მაგნეტიტი შავი ფერისაა. ამ მინერალის შესანიშნავი თვისებაა მაგნიტურობა.

მეტალური რკინის შემცველობის მიხედვით მაგნეტიტი ყველაზე მდიდარი რკინის მადანია (რკინა 72%-მდეა).

ჩვენს ქვეყანაში მაგნეტიტური მადნის დიდი საბადოებია ურალში (მთები მაგნიტნაია, ვისოკაია, ბლაგოდატი), კოლის ნახევარკუნძულზე და ციმბირის რიგ რაიონებში (მთიანი შორია, მდ. ანგარის აუზი და სხვ.).

უკანასკნელ წლებში ყაზახეთში, კუსტანაის ოლქში, აღმოაჩინეს მდიდარი მაგნეტიტური მადნის უზარმაზარი საბადოები. ესენია: სოკოლოვსკო-სარბაისკის, კაჩკანარისა და მრავალი სხვა საბადო.

ჰემატიტი ანუ წითელი რკინაქვა უფრო მნიშვნელოვანია შავი მეტალურგიისათვის, ვიდრე მაგნეტიტი. ქიმიურად ჰემატიტი რკინის ჟანგია. ბუნებაში იგი რამდენიმე სახესხვაობას ქმნის (კრისტალური, ქერცლოვანი და მკვრივი ფარულკრისტალური მასები). ჰემატიტის ფერი იცვლება ალუბლისფერი წითლიდან ძლიერი მეტალური ელვარების შავ ფერამდე.

ჰემატიტური მადნები უზარმაზარ საბადოებს ქმნიან განსაკუთრებით უძველეს გნეისებსა და მეტამორფულ ფიქლებში.

მთელ საბჭოთა კავშირში მოპოვებული რკინის მადნის დაახლოებით 70%-ს ჰემატიტური მადნები შეადგენს. ჩვენს ქვეყანაში ამ მადნის უდიდესი საბადოა კრივოი როგში, უზარმაზარი მარაგი ინახება აგრეთვე კურსკის მაგნიტური ანომალიის რაიონებში, სადაც უკვე დაიწყო რკინის მადნის დამუშავება. ყაზახეთში მიკვლეული და საექსპლოატაციოდ

გამზადებულია მდიდარი ჰემატიტური მადნის კარაჯალის საბადო, რომლის ბაზაზე აგებულია ყარაგანდის მეტალურგიული ქარხანა.

რკინის მიღების მნიშვნელოვანი წყაროა ე. წ. მ უ რ ა რ კ ი ნ ა ქ ვ ა, ანუ ლ ი მ ო ნ ი ტ ი, რომელმაც ეს სახელწოდება მურა შეფერილობის გამო მიიღო. ქიმიურად იგი რკინის ჟანგისა და წყლის ნაერთს წარმოადგენს.

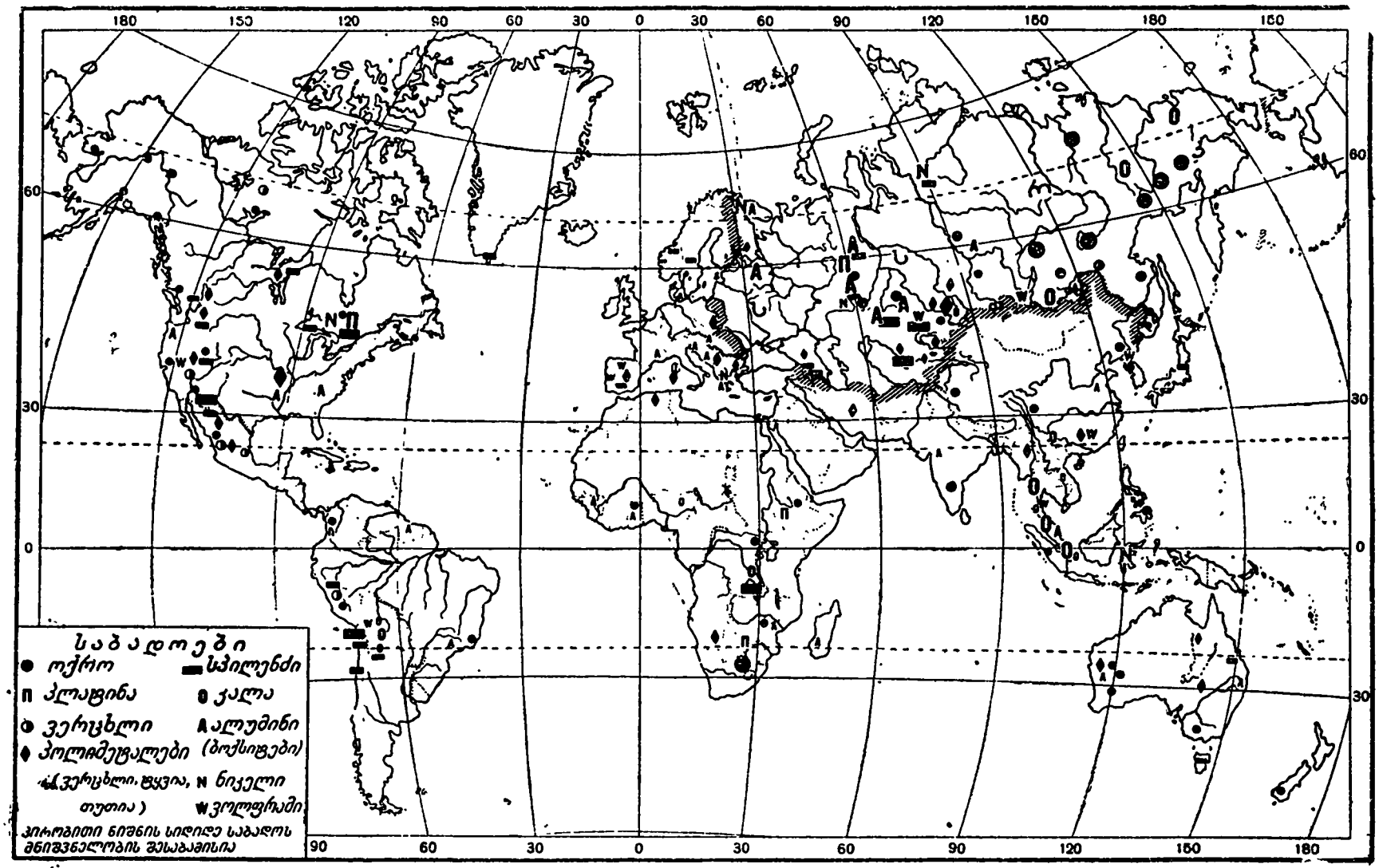
მურა რკინაქვა ქმნის მკვრივ, ფოროვან და მიწისმაგვარ მასებს, თირკმლისებრი და მტევნისებრი მოყვანილობის ნადენებს, აგრეთვე მუხუდოს მსგავსი აგებულების მასებს. ეს მადანი წარმოიშვება რკინის ნაერთებისაგან, რომლებიც ზედაპირულ წყლებს დაშლილი ქანებიდან გამოაქვთ. მურა რკინაქვა იმ შემთხვევაში ითვლება სამრეწველო ნედლეულად, თუ მასში რკინის რაოდენობა 30%-ზე ნაკლები არ არის. საბჭოთა კავშირში მურა რკინაქვის ყველაზე დიდ საბადოებს მიეკუთვნება: ქერჩისა — ყირიმში, ბაკალისა და ორსკო-ხალილოვსკოესი — ურალზე.

საბჭოთა კავშირის ზოგიერთი საბადოს მურა რკინაქვის ძვირფას თვისებად უნდა ჩაითვალოს ის, რომ იგი შეიცავს ვანადიუმს, მარგანეცს, ქრომს, ნიკელს, კობალტსა და სხვა მეტალებს.

თანამედროვე ტექნიკას სჭირდება არა მარტო ჩვეულებრივი თუჯი, რკინა და ფოლადი, არამედ ისეთი მეტალი, რომელსაც ექნება დიდი სიბლანტე, კარგი ჭედადობა, დრეკადობა და სხვა ძვირფასი თვისებები. თურმე ყველა ამ თვისებას ადვილად იძენს ფოლადი, თუ მის შემადგენლობაში მინარევის სახით დავუმატებთ მარგანეცს, ქრომს, ტიტანს, ვანადიუმს და ზოგიერთ სხვა მეტალს.

შავი მეტალების ჯგუფს რკინასთან ერთად მიეკუთვნება მ ა რ გ ა ნ ე ც ი და ქ რ ო მ ი, ვინაიდან მათ უმეტესად შავ მეტალურგიაში იყენებენ.

მარგანეცის მადანი წარმოადგენს მარგანეცისა და ჟანგბადის ნაერთს. ბუნებაში იგი შავი, მიწისმაგვარი მასის სახით გვხვდება. მარგანეცის უმთავრესი მინერალებია: პ ი რ ო ლ უ ზ ი ტ ი, ბ რ ა უ ნ ი ტ ი, ფ ს ი ლ ო მ ე ლ ა ნ ი და მ ა ნ გ ა ნ ი ტ ი.



დედამიწაზე ფერად მეტალთა მთავარი საბადოების განაწილების სქემა.

სამრეწველო მადნებში მარგანეცის რაოდენობა 15-დან 40%-მდე მერყეობს.

შავი მეტალურგიის გარდა მარგანეცს იყენებენ ქიმიურ მრეწველობაში მშრალი ბატარეების დასამზადებლად, აგრეთვე კერამიკულსა და მინის წარმოებაში.

ჩვენში მარგანეცის დიდი საბადოებია ჭიათურაში, ნიკოპოლში (უკრაინა), ურალსა და ყაზახეთში.

ქრომის ერთადერთი მადანი ქრომიანი რკინაქვა, ანუ ქრომიტი გარეგნულად მაგნეტიტს წააგავს, მაგრამ მისგან განსხვავებით მაგნიტური თვისებები არ გააჩნია. ქრომს იყენებენ მეტალურგიასა და ქიმიურ მრეწველობაში. ქრომიტისაგან კი ცეცხლგამძლე მასალას ამზადებენ. ჩრდილოეთ და სამხრეთ ურალში ბევრი მაღალხარისხოვანი ქრომის საბადოა.

შავ მეტალურგიაში იყენებენ აგრეთვე ტიტანმაგნეტიტურ მადანს, რომელიც ფოლადს განსაკუთრებულ სიმტკიცეს ანიჭებს.

ფერადი და კეთილშობილი მეტალები

ფერად მეტალებს მიეკუთვნება სპილენძი, ტყვია, თუთია, კალა, ალუმინი, მაგნიუმი და ზოგი სხვა მეტალი. რკინის შემდეგ თანამედროვე მრეწველობაში ეს ყველაზე მნიშვნელოვანი მეტალებია და დიდი რაოდენობითაც იხმარება.

რომელი თანამედროვე მანქანაც არ უნდა ავიღოთ, იქნება ეს ავტომანქანა, ტრაქტორი, კომბაინი, ტანკი თუ თვითმფრინავი, მისი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილები ფერადი მეტალებისა და მათი შენადნობებისაგანაა დამზადებული. ფერად მეტალებს წარმატებით იყენებენ აგრეთვე მშენებლობებზე, სამეცნიერო და ფაბრიკა-ქარხნების ლაბორატორიებში.

სპილენძი — მოწითალო-ყვითელი მეტალია. მისი ყველაზე ძვირფასი თვისებებია კარგი ჭედადობა და ელექტროგამტარობა. სწორედ ამ თვისებების გამო აქვს მას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ელექტროტექნიკურ მრეწველობაში (სადენები, არმატურა), მანქანათმშენებლობაში, გემთმშენებლობაში, ქიმიური აპარატურის დამზადებაში (გამოსახდელი ქვაბები, მაცივრები და სხვ.), ზუსტი ხელსაწყოების შექმნაში, ფულის მოჭრისთვის და სხვ. გარდა ამისა, სპილენძი ქმნის მთელ რიგ შენადნობებს კალასთან, თუთიასთან და ნიკელთან (ბრინჯაო, მელქიორი, თითბერი და სხვა).

ბუნებაში 150 ისეთი მინერალი გვხვდება, რომლებიც სპილენძს შეიცავს, მაგრამ მთავარი სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს სპილენძის კოლჩედანს, ანუ ქალკოპირიტს, ბორნიტს, ქალკოზინს, კოველინსა და ნაწილობრივ თვითნაბად სპილენძს.

საზოგადოდ, როგორც წესი, ყველა მადანს ამუშავებენ, თუ მასში 1 — 2% სპილენძი მაინც არის. როცა სპილენძის მადანი სხვა მეტალებსაც შეიცავს, მისი დამუშავება იმ შემთხვევაშიც ხელსაყრელია, თუ მადანში სპილენძი 0,5%-ზე ნაკლებია.

საბჭოთა კავშირში სპილენძის დიდი საბადოებია ურალზე, ყაზახეთში, კავკასიასა და უზბეკეთში.

ტყვია და თუთია ბუნებაში ერთად გვხვდება, უმთავრესად გოგირდოვან ნაერთებში (სულფიდებში), რომლებიც ტყვიისა და თუთიის მადნებს ქმნიან. ჩვეულებრივ, ეს მადნები სხვა მეტალებსაც შეიცავს: სპილენძს, ვერცხლს, ოქროს, ბისმუტს, კალას, სელენს, ტელურს, კადმიუმს და ინდიუმს. ამიტომ ტყვიისა და თუთიის საბადოებს პოლიმეტალურს უწოდებენ. ისინი გვხვდება როგორც დანალექ, ასევე ამორთხეულ ქანებში, რომლებიც ქმნიან შრეებრივ ბუდობებს, ლინზებს, ბუდეებსა და ძარღვებს.

პოლიმეტალური საბადოების მთავარი მადნის მინერალებია — ტყვიის კრიალა (გალენიტი), თუთიის კრიალა (სფალერიტი), ქალკოპირიტი (სპილენძის კოლჩედანი), პირიტი (გოგირდის კოლჩედანი) და სხვა. ჩვეულებრივ, ტყვიისა და თუთიის მინერალების რაოდენობა სხვა მადნის მინერალებს სჭარბობს და ტყვიისა და თუთიის მისაღებ მადანს წარმოადგენს.

ტყვია მუქი ნაცრისფერი, ელვარე, რბილი, ჭედადი და დნობის დაბალტემპერატურიანი (327°,4) მეტალია. მას ფართოდ იყენებენ მრეწველობის ყველა დარგში: ბაბიტების წარმოებაში (საკისრების ზედაპირის დასაფარავად), სასტამბო შენადნობების დამზადებაში, აკუმულატორების წარმოებაში, რენტგენოტექნიკაში. ტყვია აუცილებელი მასალაა ელექტროკაბელების სახვევებისათვის; იგი კაბელებს წყლის ზეგავლენისაგან იცავს.

თ უ თ ი ა მოლურჯო-თეთრი, ელვარე მეტალია, იხმარება თითბრისა და ბრინჯაოს შენადნობების დასამზადებლად; აუცილებელია ძრავებისა და მანქანათმშენებლობისათვის, თუნუქის და ტელეგრაფის მავთულების მოსათუთიავებლად.

საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ტყვიისა და თუთიის მრავალრიცხოვანი საბადო გვხვდება ყაზახეთში, შუა აზიაში, დასავლეთ და აღმოსავლეთ ციმბირსა და შორეულ აღმოსავლეთში.

კ ა ლ ა მოვერცხლისფრო-თეთრი, მკვეთრად ელვარე, რბილი მეტალია, არის ჭედადი და წელადი. კალის მთავარი სამრეწველო მინერალია კ ა ს ი ტ ე რ ი ტ ი, ანუ კ ა ლ ი ს ქ ვ ა (კალისა და ჟანგბადის ნაერთი). იგი გვხვდება კვარცისა და პეგმატიტის ძარღვებში. კალას ბევრგან იყენებენ, მაგალითად— რადიოტექნიკასა და ელექტროტექნიკაში (კონდენსატორების დასამზადებლად), ხმარობენ აგრეთვე კონსერვის ქილების სახურავების დასამზადებლად. კალის შემცველი შენადნობებიდან მზადდება სასტამბო შრიფტი და ბრინჯაოს მილისები. სამრეწველო მნიშვნელობის კალის საბადოები უხვადაა ციმბირში, შორეულ აღმოსავლეთში და სხვაგან.

ნ ი კ ე ლ ი ვერცხლისფერი მეტალია, კარგად პრიალდება და ლამაზ მეტალურ ელვარებას ჰაერზეც და წყალშიც ინარჩუნებს. როცა ფოლადში ნიკელს ურევენ, იგი განსაკუთრებულ დრეკადობას იძენს, რაც მეტად მნიშვნელოვანია, მაგალითად, ტანკების ჯავშნისათვის. ტექნიკის სხვადასხვა დარგში იყენებენ აგრეთვე ნიკელის შენადნობს სპილენძსა და თუთიასთან. ნიკელის მისაღები ყველაზე მნიშვნელოვანი მადნის მინერალია პ ე ნ ტ ლ ა ნ დ ი ტ ი და გ ა რ ნ ი ე რ ი ტ ი. საბჭოთა კავშირში ნიკელის მადნის მთავარი საბადოებია კოლის ნახევარკუნძულზე, ურალსა და ციმბირში.

ა ლ უ მ ი ნ ი მეტალის სახით ბუნებაში არასოდეს არ გვხვდება. იგი ჟანგის ე. ი. ალუმინისა და ჟანგბადის ნაერთის სახით არსებობს. ალუმინი ისუბუქი მეტალია, რომლის სიმკვრივე 2,7 უდრის. მისი შენადნობები თუთიასთან, ნიკელთან, მაგნიუმთან და მარგანეცთან ისუბუქი და მყარია. ვინაიდან ეს შენადნობები თავიანთი თვისებებით არამცთუ ჩამოუვარდება მაღალხარისხოვან ფოლადს, არამედ უკეთესიც არის, ამიტომ ფართოდ იყენებენ საავიაციო, საავტომობილო და ელექტროტექნიკურ წარმოებაში.

ალუმინი დიდი რაოდენობით ხმარდება ჭურჭლეულისა და სხვა საგნების დამზადებას.

ალუმინი მიიღება ბოქსიტის მადნიდან — მოყავისფრო-წითელი, ყვითელი ან მონაცრისფრო-თეთრი ქვისებრი ან მიწისებრი თიხის მსგავსი ქანიდან, რომელშიც შედის აყალო მიწა (40 — 70%), რკინის ჟანგი და ქვეჟანგი, აგრეთვე კაჟმიწა.

ბოქსიტების სამრეწველო საბადოები საბჭოთა კავშირში ცნობილია ქ. ბოქსიტოგორსკის რაიონში (ლენინგრადის ოლქი), შუა და ჩრდილოეთ ურალზე, ყაზახეთსა და ციმბირში (სალაირი და სხვა).

ბოქსიტების გარდა ალუმინის მისაღებ ნედლეულად შეიძლება ჩაითვალოს მინერალები: ა ლ უ ნ ი ტ ი, ნ ე ფ ე ლ ი ნ ი, კ ი ა ნ ი ტ ი და ს ი ლ ი მ ა ნ ი ტ ი.

ალუნიტური ქანები გვხვდება დასავლეთ უკრაინაში, ყაზახეთში, აზერბაიჯანში. ნეფელინი ყველაზე მეტი რაოდენობითაა კოლის ნახევარკუნძულზე, კრასნოიარსკის მხარეში.

მ ა გ ნ ი უ მ ი მოვერცხლისფრო-თეთრი, ჭედადი მეტალია. იგი ერთ-ნახევარჯერ მსუბუქია ალუმინზე. მაგნიუმის შენადნობებს ალუმინთან, თუთიასთან და სხვა მეტალებთან ფართოდ იყენებენ თვითმფრინავებისა და ავტომობილების წარმოებაში. მაგნიუმის შენადნობებისაგან დამზადებული ხელსაწყოები და მანქანების ცალკეული ნაწილები განსაკუთრებული გამძლეობითა და სიმსუბუქით გამოირჩევა. მაგნიუმის მთავარი ნედლეულია: მ ა გ ნ ე ზ ი ტ ი (მაგნიუმის ნაერთი ნახშიროორჟანგთან), დ ო ლ ო მ ი ტ ი (მაგნიუმისა და კალციუმის ნაერთი ნახშიროორჟანგთან) და კ ა რ ნ ა ლ ი ტ ი (ქლორიანი კალიუმის ორმაგი მარილი კრისტალიზაციური წყლით). მაგნიუმის შემცველი მინერალები ფართოდაა გავრცელებული დედამიწის ქერქში და მათი საბადოებიც უხვად გვხვდება. მაგნიუმს იღებენ აგრეთვე ზღვის წყლის მარილიდან. მიღებული „ზღვის“ მაგნიუმის ყოველწლიური რაოდენობა მსოფლიოში (სსრ კავშირის გამოკლებით) 250 000 ტ უდრის.

ოქროს, პლატინასა და ვერცხლს კეთილშობილ მეტალებს უწოდებენ. ეს მეტად მდგრადი მეტალებია, არ იხსნება მჟავებისა და ტუტეების უმრავლესობაში და არც ჰაერის ჟანგბადს უერთდება. ამიტომ მათი ნაკეთობანი ათასობით წლების მანძილზე უცვლელად ინახება. თავისი მნიშვნელობით

პირველი ადგილი ოქროს უჭირავს, მას მოსდევს პლატინა და შემდეგ ვერცხლი.

ბევრი მეცნიერის აზრით, ოქროს პირველყოფილი ადამიანი სპილენძზე ადრე იყენებდა.

ო ქ რ ო ბრჭყვიალა, ძალზე მძიმე, ხასხასა ყვითელი ფერის მეტალია. იგი წელადი და ჭედადია. 0,1 გ. ოქრო შეიძლება გავჭიმოთ 261 მ სიგრძის უწვრილეს მავთულად, ანდა გავაბრტყელოთ ძალიან თხელ ფურცლად (ფოლგად), რომლის სისქე 0,0002 მმ იქნება. ოქრო ბუნებაში უმეტესად თვითნაბადი სახით გვხვდება და თითქმის ყოველთვის შეიცავს ვერცხლს, სპილენძსა და ზოგიერთ სხვა მეტალს. ოქროს მარცვლების ზომა მერყეობს მტვრის ნაწილაკის სიდიდიდან ათობით კილოგრამი წონის თვითნაბადებამდე. ყველაზე დიდი თვითნაბადი ოქრო — „სასურველი სტუმარი“, რომელიც ავსტრალიაში იპოვეს, 70,91 კგ იწონიდა.

ოქროს საბადოები იყოფა ძირითად და ქვიშრობ საბადოებად. ძირითად საბადოებში ოქრო გვხვდება თვით ქანში (მაგალითად, ოქრო-კვარცის ძარღვები, დარიშხან-კოლჩედანის მადანი და სხვა) და ქვიშრობებში — ძირითადი ქანის დაშლის შედეგად წარმოშობილ ქვიშასა და კენჭებში. ოქრო უმთავრესად ფულის ჭრასა და საიუველირო ნაკეთობათა დამზადებას ხმარდება, უფრო მცირე რაოდენობით კი კბილის საექიმო საქმესა და ფაიფურის წარმოებას (საღებავის სახით).

კაცობრიობის არსებობის მთელ მანძილზე მოპოვებულია დაახლოებით 50 000 ტ ოქრო. მისი მნიშვნელოვანი ნაწილი ინახება ბანკებში ფულისა და ზოდების სახით.

ოქროს მსოფლიო მარაგი ძალზე დიდია, მაგრამ ჯერჯერობით ზუსტად არ არის გამოთვლილი. საბჭოთა კავშირში ბევრი ოქროს საბადოა, უმთავრესად ციმბირში, ყაზახეთში, შორეულ აღმოსავლეთსა და ურალზე.

პ ლ ა ტ ი ნ ა შოვერცხლისფრო-თეთრი კეთილშობილი მეტალია, რომელიც ბუნებაში თვითნაბადი სახით გვხვდება. პლატინა ჭედადი და წელადია, დნება 1770°-ზე. პლატინა შეიცავს იშვიათ მეტალებს: პალადიუმს, ოსმიუმს, ირიდიუმს, როდიუმსა და რუტენიუმს.

პლატინის თანამგზავრებს (პლატინოიდებს) დიდი მნიშვნელობა აქვს ტექნიკისათვის. მაგალითად, პალადიუმს იყენებენ წვრილი რადიოდეტალებისა და სატელეფონო და სატელეგრაფო მოწყობილობების დასამზადებლად; ირიდიუმს — ზუსტი ხელსაწყოების ბუნიკებისა და „მუდმივი“ კალმებისათვის; ოსმიუმს — მედიცინაში, როდიუმს — გალვანოპლასტიკაში, ხოლო რუტენიუმისა და ირიდიუმის შენადნობს — თერმოელემენტების დასამზადებლად. პლატინა დიდი ხნის წინათ იყო ცნობილი სამხრეთ ამერიკელი ინდიელებისათვის, რომლებიც ამ ძვირფას მეტალს დღევანდელი კოლუმბიის ტერიტორიაზე არსებული ქვიშრობებიდან იღებდნენ. რუსეთში პლატინა პირველად 1819 წ. აღმოაჩინეს ურალზე.

პლატინაც ოქროს მსგავსად გვხვდება წვრილი მარცვლების, ქერცლების, ფირფიტებისა და იშვიათად 9 კგ წონის თვითნაბადი სახით. პლატინას ხმარობენ ლაბორატორიებისა და საქარხნო აპარატურის დასამზადებლად, ზოგიერთ ქიმიურ წარმოებაში, კბილის საექიმო საქმეში, რენტგენოლოგიაში, ფოტოგრაფიაში, აგრეთვე საიუველირო ნაკეთობების დასამზადებლად.

საბჭოთა კავშირში პლატინის საბადოებია ურალზე, კოლის ნახევარკუნძულზე, ციმბირსა და სხვ.

ვ ე რ ც ხ ლ ი ვერცხლისფერ-თეთრი მეტალია. იგი ნაკლებად ძვირფასია, ვიდრე ოქრო და პლატინა. ვერცხლი მძიმე მეტალების უმეტესობასთან ქმნის შენადნობებს. ასე, მაგალითად, სპილენძთან შენადნობი ფულის მოჭრასა და ვერცხლის ნაკეთობათა დამზადებას ხმარდება. სუფთა სახით ვერცხლი იხმარება მოსავერცხლად და კინოფოტომრეწველობაში.

ვერცხლის ბევრ ნაერთს იყენებენ აგრეთვე ქიმიურ და ფიზიკურ ლაბორატორიებში.

თვითნაბადი სახით ვერცხლი იშვიათად გვხვდება. უმთავრესად მას გოგირდთან, სტიბიუმსა და დარიშხანთან ერთად პოულობენ. მთელ მსოფლიოში მოპოვებული ვერცხლის ნახევარს იღებენ არა საკუთრივ ვერცხლის მადნიდან, არამედ ტყვია-თუთიის და ნაწილობრივ სპილენძისა და ოქროს მადნიდან.

საბჭოთა კავშირში ვერცხლის შემცველი მადნების ძირითადი საბადოებია ყაზახეთში, შუა აზიაში, ციმბირში, ურალზე, შორეულ აღმოსავლეთსა და კავკასიაში.

იშვიათი და გაფანტული მეტალები

ამჟამად დ. მენდელეევის პერიოდული სისტემის 103 ქიმიური ელემენტიდან მრეწველობაში დაახლოებით 80 ელემენტი იხმარება, რომელთა შორისაც არის იშვიათი და გაფანტული მეტალების დიდი ჯგუფი. ამ მეტალებს ეკუთვნის: ლითიუმი, ბერილიუმი, ტიტანი, ვოლფრამი, მოლიბდენი, ბისმუტი, ტანტალი, სკანდიუმი, ვანადიუმი, გალიუმი, გერმანიუმი, რუბიდიუმი, იტრიუმი, ცირკონიუმი, ნიობიუმი, ინდიუმი, ტელური, აგრეთვე რადიოაქტიური მეტალები — ურანი, რადიუმი, თორიუმი და სხვა.

იშვიათი და გაფანტული მეტალების ჯგუფს ეკუთვნის აგრეთვე ე. წ. „იშვიათი მიწები“, რომლებსაც დ. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში უჭირავთ ნომრები 57-დან 71-მდე (ცერიუმი, ლანტანი და სხვ.).

იშვიათი და გაფანტული მეტალების დიდი უმეტესობა დედამიწის ქერქშია მოქცეული, მაგრამ ძალზე მცირე, მეათასედ, მეათიათასედ და მეასიათასედ პროცენტს შეადგენს. გამონაკლისს წარმოადგენს ტიტანი, ვანადიუმი, ლითიუმი, ბერილიუმი და ზოგიერთი სხვა ლითონი. თვითნაბადი სახით იშვიათ მეტალებს შორის გვხვდება მხოლოდ ბისმუტი და ძალზე იშვიათად — ტანტალი. მოლიბდენის, ვოლფრამისა და ტიტანის გარდა, იშვიათი და გაფანტული მეტალები არ ქმნიან დამოუკიდებელ საბადოებს. მაგალითად, ზოგიერთი საბადოს — ტყვია-თუთიისა და სპილენძის კოლჩედანის — მადანი შეიცავს ინდიუმს, გალიუმს, ტალიუმს, გერმანიუმს, სელენს და ტელურს, რომლებსაც იღებენ მთავარი მეტალების — სპილენძის, ტყვიისა და თუთიის მოპოვებისას.

ზოგიერთი ქვანახშირისა და ფიქლის ნაცარი ხშირად შეიცავს გერმანიუმის დიდ რაოდენობას. კალიუმის მარილებში გვხვდება ცეზიუმი, რუბიდიუმი და ლითიუმი, მოლიბდენის მადნებში — რენიუმი, ცირკონიუმის მადნებში — ჰაფნიუმი, ბოქსიტებში კი — გალიუმი.

იშვიათი და იშვიათმიწა მეტალების დიდი ჯგუფი გვხვდება პეგმატიტური ძარღვების მინერალებში (იხ. გვ. 29).

იშვიათი და გაფანტული მეტალების მადნიდან ამოსაღებად დამუშავების ძალზე რთულ ხერხებს მიმართავენ, რომლებიც საშუალებას იძლევა ამ მეტალების შემცველობა სამრეწველო მნიშვნელობისა გახდეს.

იშვიათ მეტალებს სხვადასხვანაირი და მეტად ძვირფასი თვისებები გააჩნია.

განვიხილოთ მრეწველობისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანი მეტალები.

ბ ე რ ი ლ ი უ მ ს იყენებენ სპილენძთან, ალუმინთან და მაგნიუმთან შენადნობის სახით. ეს შენადნობები დიდი სიმკვრივის, ქიმიურად გამძლე და მსუბუქია. ბერილიუმთან შეერთებული რკინის სიმაგრე ექვსჯერ იზრდება. ბერილიუმის შენადნობებს იყენებენ ტექნიკაში. ბერილიუმის მთავარი მინერალი ბ ე რ ი ლ ი (ალუმინისა და ბერილიუმის სილიკატი) უმთავრესად კვარცის პეგმატიტურ ძარღვებში გვხვდება.

ვ ა ნ ა დ ი უ მ ი ხმარდება განსაკუთრებით წელადი და მაგარი ფოლადის დამზადებას და ალუმინის შენადნობის მთავარ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს: ასეთი ფოლადი და ალუმინი იხმარება საავტომობილო და საავიაციო მრეწველობაში. ვანადიუმის ნაერთებს იყენებენ სხვადასხვა საღებავების დასამზადებლად, ფოტოგრაფიაში და მედიცინაში. ვანადიუმი მიიღება მინერალებიდან — ვ ა ნ ა დ ი ნ ი ტ ი დ ა ნ, ტ ი უ ი ა მ უ ნ ი ტ ი დ ა ნ და სხვ. მას იღებენ აგრეთვე სხვა მეტალების (ტიტანმაგნეტიტის, მურა რკინაქვის, ბოქსიტების) მადნების დამუშავების დროსაც.

ბ ი ს მ უ ტ ს იყენებენ ადვილად დნობადი შენადნობების მისაღებად, რომლებიც აუცილებელია საასტამბო მეურნეობისათვის, ორთქლის ქვაბების მცველი კორპებისათვის, ავტომატური ცეცხლმქრობებისათვის და სხვ. ამას გარდა, ბისმუტის მარილს ხმარობენ მედიცინაში, ფოტოგრაფიული ქაღალდის, საღებავებისა და ისეთი მინების წარმოებაში, რომლებსაც მაღალი გარდატეხის მაჩვენებელი აქვს.

გ ა ლ ი უ მ ს იყენებენ მაღალი ტემპერატურის კვარცულ თერმომეტრებში ვერცხლისწყლის მაგიერ, საგანგებო ოპტიკური მინებისათვის, აგრეთვე მედიცინაში და სხვ.

გ ე რ მ ა ნ ი უ მ ს, ი ნ დ ი უ მ ს, ს ე ლ ე ნ ს, ტ ე ლ უ რ ს და ზოგ სხვა მეტალს იყენებენ ნახევარგამტარებში, ძალიან მაღალი გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე მინების დასამზადებლად, რადიოტექნიკაში, როგორც ძალიან დიდი წინააღმდეგობისუნარიან ელემენტებს, და მედიცინაში.

ლითიუმი ალუმინთან, მაგნიუმთან და სხვა მეტალებთან დამუშავებით იძლევა მსუბუქ და მაგარ შენადნობებს. მისი ყველაზე მნიშვნელოვანი მინერალია სპოდუმენი (ლითიუმის ალუმოსილიკატი). ლითიუმი პეგმატიტურ ძარღვებშიც გვხვდება.

მოლიბდენი და ვოლფრამი დიდი სიმყარით, ჭედადობით, ქიმიური გამძლეობითა და ძნელდნობადობით გამოირჩევა. მოლიბდენის დნობის ტემპერატურა 2600° უდრის, ვოლფრამისა კი— 3400°, ე. ი. ისინი ყველაზე ძნელდნობადი მეტალებია. მოლიბდენის და ვოლფრამის მნიშვნელოვან ნაწილს იყენებენ როგორც დამატებას საგანგებო ფოლადის გამოდნობისას, რომელიც განკუთვნილია სხვადასხვა სახის ჯავშნის, სწრაფადმჭრელი ხელსაწყოების, დიდი წნევის ქვაბების და ავტომანქანების ყველაზე პასუხსაგები ნაწილებისათვის.

მოლიბდენსა და ვოლფრამს ხმარობენ აგრეთვე ელექტროტექნიკაში. პრაქტიკულად მოლიბდენს მთლიანად მოლიბდენიტიდან (მოლიბდენისა და გოგირდის ნაერთი) ღებულობენ.

მთავარი მინერალები, რომლებიც ვოლფრამს გვაძლევენ, არის ვოლფრამიტი (ვოლფრამის ნაერთი რკინასთან, მარგანეცთან და ჟანგბადთან) და შეელიტი (ვოლფრამის ნაერთი კალციუმსა და ჟანგბადთან). ეს მინერალები ჩვეულებრივ გვხვდება კვარცის ძარღვებში და იმ მადნის ზონებში, რომლებიც დანალექი ქანებისა და გრანიტის საზღვარზე მდებარეობს.

ნიობიუმსა და ტანტალს დიდი სიმტკიცის ფოლადის მისაღებად იყენებენ (ეს ფოლადი ტექნიკის სხვადასხვა დარგს ხმარდება). განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ტანტალს ელექტროვაკუუმურ ტექნიკაში.

რენიუმს ფართოდ იყენებენ ელექტროტექნიკასა და ქიმიურ მრეწველობაში, როგორც კატალიზატორს (პროცესების დამჩქარებელს).

რუბიდიუმი, ცეზიუმი და სელენი თავიანთი განსაკუთრებული ფოტოელექტრული თვისებების გამო აუცილებელია ფოტოელემენტების წარმოებაში.

ტიტანს მეტად დიდი დნობის ტემპერატურა (1725°) და ღუღილის ტემპერატურა (3000°-ზე მაღალი) აქვს. მასში ერთადაა შერწყმული სიმსუბუქე და სიმტკიცე, რომელიც ფოლადის სიმტკიცეს უდრის. ტიტანი მჟავებისა და ტუტეების გავლენას არ განიცდის და არც იჟანგება. ამიტომ მეტალურ ტიტანს ამჟამად ფართოდ იყენებენ რეაქტიულ თვითმფრინავებში და უახლესი ტექნიკის სხვა დარგებში. ტიტანის ორჟანგი გამოყენებულია ხარისხოვანი თეთრას, ლაქების, მინანქრისა და წყალგაუმტარი მასალის დასამზადებლად. იგი, როგორც დამატებითი მასალა, იხმარება აგრეთვე ზემტკიცე ფოლადის გამოსადნობად.

ტიტანის წარმოების მთავარი ნედლეულია მინერალები: რუტილი, ილმენიტი და ტიტან-მაგნეტიტი. ტიტანის მნიშვნელოვან საბადოთა უმეტესობა სიღრმის მაგმურ ქანებთან (გაბრო და სხვ.) და მათი დაშლის შედეგად წარმოქმნილ ქვიშრობებთანაა დაკავშირებული.

საბჭოთა კავშირში ტიტანის საბადოებია ურალზე, კოლის ნახევარკუნძულზე, უკრაინაში, ყაზახეთში, ციმბირსა და კარელიაში.

დიდი ხანი არ არის, რაც მრეწველობაში ცირკონიუმს იყენებენ. ცირკონიუმის ჟანგი ყველაზე ცეცხლგამძლე ჟანგებს ეკუთვნის. მას ხმარობენ ცეცხლგამძლე ტიგელების, ქიმიურად გამძლე აგურისა და დიდი ტემპერატურის ცემენტის დასამზადებლად.

მეტალის სახით ცირკონიუმს იყენებენ ასაფეთქებელ ფხვნილად, რადიონათურებისათვის, ელექტროდებისა და შენადნობებისათვის. ცირკონიუმიანი ფოლადისაგან ამზადებენ მტკიცე ჯავშნებს, ხოლო ნიკელთან შეერთებული ასეთი ფოლადიდან სწრაფადმჭრელ ხელსაწყოებს. ბოლო ხანებში ცირკონიუმს იყენებენ ატომგულური რეაქტორების დასამზადებლად. ცირკონიუმს ღებულობენ მინერალ ცირკონიდან (ცირკონიუმის ნაერთი სილიციუმსა და ჟანგბადთან) და ბადელეიტიდან (ცირკონიუმის ნაერთი ჟანგბადთან). ორივე ეს მინერალი გვხვდება გრანიტში, ნეფელინიან სიენიტებში, აგრეთვე ამ ქანების პეგმატიტურ ძარღვებში. ცირკონიუმის ძირითად მასას ახლა ქვიშრობული საბადოებიდან იღებენ.

თორიუმი, ურანი და რადიუმი რადიოაქტიური ელემენტებია. მათი რაოდენობა დედამიწის ქერქში ძალზე მცირეა.

რადიოაქტიური მეტალებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანია ურანი. იგი განსაკუთრებით აქტიური ელემენტია, არასოდეს არ გვხვდება თვითნაბა-

დი სახით და ყოველთვის სხვა ელემენტებთან ერთადაა.

1898 წ. ცოლ-ქმარმა კიურიმ ურანული ნაერთიდან გამოყვეს ახალი ელემენტი — რ ა დ ი უ მ ი. ურანის მადანში რადიუმი ისეთი უმნიშვნელო რაოდენობითაა, რომ 1 გ რადიუმის მისაღებად საჭიროა 2 ტ-ზე მეტი ურანის მადნის გადამუშავება. ამიტომაც მას რაღაც ზღაპრული ფასი ჰქონდა: 1 გ რადიუმის ბრომის მარილი 200 000 მანეთამდე ღირდა ოქროთი. რადიუმს ჯერჯერობით მხოლოდ სამეცნიერო მიზნებისათვის და მედიცინაში იყენებენ.

უ რ ა ნ უ ლ ი მ ა დ ა ნ ი შიდაბირთვული ენერგიის უზარმაზარი მარაგის უმნიშვნელოვანესი წყაროა. 1 ტ ურანის გახლეჩისას იმდენი ენერგია გამოიყოფა, რამდენსაც 100 000 ტ ქვანახშირის დაწვისას მივიღებდით. ამჟამად მეცნიერები დიდის მონდომებით მუშაობენ, რომ რაც შეიძლება მალე დაეუფლონ ამ ახალ, უძლიერეს ძალას და მშვიდობიანი მიზნებისათვის გამოიყენონ.

საბჭოთა კავშირში ატომური ენერგია მშვიდობიანი მიზნებისათვისაა გამოყენებული. აგებულია ატომური ელექტროსადგურები, ატომური ყინულმჭრელი „ლენინი“ და სხვ.

შორს არ არის ის დრო, როცა მეცნიერები ატომური ენერგიის განუსაზღვრელი რაოდენობით მიღების იაფსა და ადვილად მისაწვდომ გზებს მონახავენ. მაშინ გვექნება ელექტროსადგურები, რომლებიც ჩემოდანში მოთავსდება, რამდენიმე ცხენისძალის ძრავები, რომლებიც ჯიბის საათზე დიდი ზომისა არ იქნება, რაკეტული ძრავები, თვითმფრინავები და ავტომანქანები, რომლებსაც რამდენიმე წლით „დავმუხტავთ“ ატომური საწვავით.

არამეტალური ნამარხები

ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ ე. წ. არამეტალურ ნამარხებს ადამიანის ცხოვრებაში მაინცდამაინც დიდი მნიშვნელობა არა აქვს. მაგრამ ეს მცდარი აზრია. განა შეიძლება წარმოვიდგინოთ თანამედროვე ადამიანი იმ შენობების გარეშე, რომლებშიც იგი მუშაობს? ეს სახლები კი ბ უ ნ ე ბ რ ი ვ ი ქ ვ ი ს (გრანიტი, კირქვა და სხვა ქანები) ან ა გ უ რ ი ს ა და ბ ე ტ ო ნ ი ს აგანაა ნაგები. ფანჯრის მინა, ბოთლები, ჩაისა და ლაბორატორიული ჭურჭელი, სილიკატური აგური, ოპტიკური ხელსაწყოები, პიეზოფირფიტები რადიოგადამცემებში და ბევრი სხვა დამზადებულია ერთერთი გავრცელებული არამადნური მასალის — კვარცისაგან.

განა შეიძლება ზუსტად მოვარგოთ დგუში მოტორების ცილინდრს ან უზრუნველვყოთ საათის მექანიზმის ცალკეული ნაწილების უნაკლო ურთიერთქმედება გაწმენდის გარეშე? რა თქმა უნდა, არა! ამისათვის კი სხვადასხვა გასაწმენდი მასალები — ა ლ მ ა ს ი, კ ო რ უ ნ დ ი, გ რ ა ნ ი ტ ი და ზ უ მ ფ ა რ აა საჭირო.

თანამედროვე მანქანებისა და ძრავებისათვის აუცილებელია საიზოლაციო მასალა — ქ ა რ ს ი და ა ს ბ ე ს ტ ი.

ადამიანს არ შეუძლია სიცოცხლე ს უ ფ რ ი ს მ ა რ ი ლ ი ს გარეშე, რომელიც აგრეთვე ერთერთი ძალზე გავრცელებული არამეტალური სასარგებლო ნამარხია.

ერთი სიტყვით, ჩვენს ირგვლივ ყველგან არამეტალური სასარგებლო ნამარხისაგან დამზადებული აუარებელი ნაკეთობა და მასალაა. წლის განმავლობაში მოპოვებული არამეტალური სასარგებლო ნამარხების წონა მრავალ ასეულ მილიონ ტონას აღწევს.

გავეცნოთ ყველაზე მეტად გავრცელებულ არამეტალურ სასარგებლო ნამარხებს, რომლებსაც ფართოდ იყენებენ მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში.

ქიმიური მრეწველობის საფუძველს მჟავები და ტუტეები წარმოადგენს. პირველთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია გოგირდის მჟავა, ხოლო ტუტეებიდან — სოდა და მწვავე ნატრიუმი. გოგირდოვანი მჟავისა და გოგირდის მჟავის მიღების წყაროა თვითნაბადი გ ო გ ი რ დ ი და გ ო გ ი რ დ ი ს კ ო ლ ჩ ე დ ა ნ ი.

ძნელია მრეწველობის ყველა იმ დარგის ჩამოთვლა, რომლებსაც გოგირდი და მისი მჟავა ესაჭიროება. გოგირდის მჟავას ქიმიური მრეწველობის

„პურს“ უწოდებენ. ასობით ათასი ტონა მჟავა ხმარდება სასუქების, ქაღალდის, საღებავების, ასანთის, წამლების მიღებას, ბენზინისა და ზეთების გაწმენდას, შაბიამნის, შაბის, სოდის, მინის, ბრომისა და იოდის დამზადებას.

ბუნებრივი გოგირდი დედამიწის ქერქში გვხვდება კრისტალური გროვებისა და მთლიანი მასების სახით. თვითნაბადი გოგირდის საბადოების წარმოშობა დაკავშირებულია ვულკანების ამოფრქვევასა და გოგირდის იმ ბაქტერიების მოქმედებასთან, რომლებიც გეოლოგიურ წარსულში ზოგი ზღვის აუზში ბინადრობდა.

ბუნებრივი გოგირდის საბადოები ცნობილია ყარაყუმის უდაბნოში, კავკასიაში, კამჩატკაზე. ომის შემდგომ დასავლეთ უკრაინაში აღმოაჩინეს თვითნაბადი გოგირდის უზარმაზარი საბადო.

არანაკლები მნიშვნელობა აქვს გოგირდის მჟავისა და გოგირდოვანი მჟავის მისაღებად გოგირდის კოლჩედანს, ანუ პირიტს. ქიმიურად ეს რკინისა და გოგირდის ნაერთია, რომელშიც ხშირად სპილენძი, ოქრო და ნიკელი შედის.

საბჭოთა კავშირში გოგირდის კოლჩედანის და სხვა გოგირდოვანი (სულფიდური) მადნების საბადოებია კოლის ნახევარკუნძულზე, ურალზე, კავკასიაში, კარელიასა და დასავლეთ ციმბირში.

ქვამარილი წარმოადგენს ქლორისა და ნატრიუმის ნაერთს. მარილი ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული. იგი გვხვდება დედამიწის წიაღში ქვამარილის დიდი შრეების სახით, აგრეთვე დახშული ყურეების ან მლაშე ტბების აორთქლების შედეგად წარმოშობილი დანალექისა და, ბოლოს, მარილიანი წყაროების სახით.

მარილი ადამიანს მარტო საკვებისათვის როდი სჭირდება. იგი მნიშვნელოვანი ნედლეულია ქიმიური მრეწველობისათვის, რადგან მარილიდან ღებულობენ მარილმჟავას, სოდას, ქლორიან კირს, მწკავე ნატრიუმს და სხვა ქიმიურ პროდუქტებს.

საბჭოთა კავშირში ქვამარილის ყველაზე დიდი საბადოებია უკრაინაში, ქალაქების — სლავიანსკისა და არტემოვსკის მახლობლად. ქვამარილის უდიდესი მარაგია ვოლგოგრადის ოლქში ილეცკოეს საბადოში. ფართოდაა ცნობილი მლაშე ტბები ბასკუნჩაკი და ელტონი, სადაც მაღალხარისხოვანი სუფრის მარილის დიდი მარაგია.

ყველაზე მნიშვნელოვანი მლაშე წყაროები, რომლებიც გამოხარშულ მარილს იძლევა, ურალზეა (უსოლსკის და სოლიკამსკის წყაროები).

ძვირფასი ნედლეულია ქიმიური მრეწველობისათვის მირაბილიტი. ქიმიურად იგი წყლიანი გოგირდმჟავა ნატრიუმია. ხშირად მირაბილიტს გლაუბერის ან ინგლისურ მარილს უწოდებენ. იგი ძირითადი ნედლეულია სოდის მისაღებად. ამას გარდა, იხმარება მინის წარმოებაში, სამაცივრო, სამღებრო საქმესა და მედიცინაში. მირაბილიტის ყველაზე დიდი საბადოა ყარა-ბოღაზ-გოლის უბე კასპიის ზღვაში.

არამეტალურ ნამარხებს შორის ზოგს ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს სოფლის მეურნეობისათვის. მათ ხშირად ნაყოფიერების მინერალებს ეძახიან, რადგან სოფლის მეურნეობის კულტურების მოსავლიანობას ზრდიან. ასეთებია: კალიუმის მარილები, აპატიტი, ფოსფორიტი და სხვ.

კალიუმის მარილების წყაროა სილვინი (ქლორიანი კალიუმის მარილი) და კარნალიტი (ქლორიანი კალიუმის და მაგნიუმის ორმაგი მარილი კრისტალიზაციური წყლით).

ჩვენში მოპოვებული კალიუმის მარილების დიდი ნაწილი კალიუმის სასუქების მომზადებას ხმარდება. კალიუმის მარილებს იყენებენ პარფიუმერულ, ფარმაცევტულ, ლაქ-საღებავების, მინისა და ტყავის წარმოებაში. კარნალიტიდან კი ღებულობენ მეტალურ მაგნიუმს ავიამშენებლობისათვის.

მინერალური სასუქებისათვის მეტად მნიშვნელოვანი ნედლეულია აპატიტი და ფოსფორიტი. აპატიტი ქიმიურად წარმოადგენს კალციუმის ფოსფორიან მარილს. აპატიტის მადნიდან სხვადასხვა ხერხით ღებულობენ პირველხარისხოვან სუპერფოსფატს. აპატიტის საბადოები გვხვდება ამონთხეულ ქანებთან — ნეფელინიან სიენიტებთან. საბჭოთა კავშირში კოლის ნახევარკუნძულზე (ხიბინის მთები) მდებარეობს აპატიტის მადნის მსოფლიოში ყველაზე დიდი საბადო.

თიხას, ქვიშებსა და უფრო იშვიათად კირქვებს შორის გვხვდება ფოსფორიტი, რომელიც ფოსფორს შეიცავს. გარეგნულად ეს მონაცრისფრო, მურა-შავი, სხვადასხვანაირი მოყვანილობის და სიდიდის მარცვლებია. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ფოსფორიტი აპატიტს წააგავს. ფოსფორიტული მადნის დიდი საბადოებია ყაზახეთში. რუსეთის ევროპული ნაწილის შუა ზოლში და ლენინგრადის ოლქში.

აპატიტური და ფოსფორიტული მადნებიდან მიღებულ ფოსფორის ნაერთებს იყენებენ სასუქად, ასანთისა და წვრილი მღრღნელების საწინააღმდეგო შხამების დასამზადებლად, ლაქ-სამღებრო საქმეში და განსაკუთრებით მტკიცე ფოსფორული ბრინჯაოს მისაღებად.

მ დ ნ ო ბ შ პ ა ტ ს, ა ნ უ ფ ლ უ ო რ ი ტ ს დიდი ხანია, რაც მრეწველობაში იყენებენ. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ეს კალციუმისა და ფტორის ნაერთია (სხვანაირად, ფტორიანი კალციუმი). ბუნებაში ფლუორიტი საკმაოდ ხშირად გვხვდება. იგი ქმნის მარცვლოვანი მასების ან კრისტალების დიდ გროვებს. ჩვეულებრივ, ფლუორიტი იისფერი ან მწვანე ფერისაა.

ფლუორიტს იყენებენ როგორც ფლუსს (მდნობს) ფოლადის, ნიკელისა და თითბრის წარმოებაში, ოქროს, ვერცხლის, ტყვიის, სპილენძისა და სურმის დნობის დროს. მას ფართოდ იყენებენ აგრეთვე ქიმიურ მრეწველობაში მდნობი მჟავას მისაღებად და ალუმინის წარმოებაში კრიოლიტის დასამზადებლად; კრიოლიტი აუცილებელია ალუმინის ელექტროლიზის დროს ოპტიკურ და მინის მრეწველობაში.

საბჭოთა კავშირში ფლუორიტის დიდი საბადოები გვხვდება ზღვისპირეთში, აღმოსავლეთ იმიერბაიკალეთსა და შუა აზიაში.

ქარსები — მ უ ს კ ო ვ ი ტ ი, ფ ლ ო გ ო პ ი ტ ი, ვ ე რ მ ი კ უ ლ ი ტ ი, ლ ე პ ი დ ო ლ ი ტ ი და სხვ. ადვილად იყოფა თხელ დრეკად ფურცლებად, მაგრამ მათი ქიმიური შემადგენლობა და ფიზიკური თვისებები სხვადასხვანაირია. ქარსები ფართოდაა გავრცელებული და ბევრი ქანის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს; განსაკუთრებით ხშირად და დიდი რაოდენობით გვხვდება პეგმატიტურ ძარღვებში.

მუსკოვიტსა და ფლოგოპიტს ელექტროტექნიკისათვის მეტად მნიშვნელოვანი თვისება გააჩნიათ: ისინი ელექტროდენს არ ატარებენ. ამიტომ მათ საიზოლაციო მასალად იყენებენ. ქარსები დიდ ტემპერატურას უძლებენ (1260°-მდე) და მათ ხშირად ხმარობენ მინის მაგიერ სადნობი ღუმელების სარკმლებში, აგრეთვე ცხელ საამქროებში მომუშავე მუშების სათვალეებისათვის. წვრილი ქარსი და მისი ნარჩენები შპალერების, ცეცხლგამძლე საბურავი მასალისა და ავტომანქანების საბურავების (გამძლეობის გასადიდებლად) დამზადებას ხმარდება. გამომწვარი ვერმიკულიტი გამოყენებულია ქვაბებისა და მილების შემოსაფენად, ხოლო ლეპიდოლიტი ძვირფასი ნედლეულია ყველაზე მსუბუქი ბეტალის — ლითიუმის მისაღებად.

ქარსის საბადოები უხვადაა კარელიაში, ურალსა და აღმოსავლეთ ციმბირში.

თავისებურ არამეტალურ სასარგებლო ნამარხებს ეკუთვნის ა ს ბ ე ს ტ ი[1]. ჩვენს ერამდე რამდენიმე საუკუნით ადრე ადამიანები ასბესტის ბოჭკოსაგან ცეცხლგამძლე „ქვის ქსოვილებს“ ამზადებდნენ.

განსაკუთრებული სიმტკიცის, ცეცხლგამძლეობის, სითბოს ცუდი გამტარობისა და სხვა თვისებების გამო ასბესტს იყენებენ როგორც ბამბასა და ნართს, ქაღალდსა და მუყაოს. ასბესტისაგან ამზადებენ დიდ ფარდებს თეატრებისათვის, ცეცხლგამძლე ტიხარებს, მეხანძრეების ტანსაცმელს და ავტომანქანების სამუხრუჭო ლენტებს. ერთი სიტყვით, ასბესტს ბევრგან იყენებენ. მისი საბადოებია ურალზე (ბაჟენოვის, ალაპაევისა), ყაზახეთში და აღმოსავლეთ ციმბირში.

უძველეს დროში რუსეთში ძვირფას ქვას ფ ე რ ა დ ქ ვ ა ს უწოდებდნენ. ასე დღესაც ეძახიან სხვადასხვა გამჭვირვალე და არაგამჭვირვალე ძვირფას ქვებს. ფერადი ქვების ერთ-ერთი დამახასიათებელი თვისებაა საკმაოდ დიდი სიმაგრე, გამძლეობა ქიმიური ზემოქმედებისადმი და უნარი — დიდი ხნის განმავლობაში შეინარჩუნონ ფერი და ელვარება.

ფერადი ქვებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს სიმაგრეს, ელვარებასა და ფერთა თამაშს. ეს თვისებები უფრო მკვეთრად შეიმჩნევა მათი მოწახნაგების შემდეგ. ძვირფას და ნახევრად ძვირფასა ქვებს მინერალთა საკმაოდ დიდი ჯგუფი მიეკუთვნება. ესენია: ა ლ მ ა ს ი, ს ა ფ ი რ ო ნ ი, ლ ა ლ ი, ზ უ რ მ უ ხ ტ ი, ბ ე რ ი ლ ი უ მ ი, ტ ო პ ა ზ ი, ტ უ რ მ ა ლ ი ნ ი, ა მ ე თ ვ ი ს ტ ო, გ რ ა ნ ა ტ ი, ც ი რ კ ო ნ ი, ფ ი რ უ ზ ი, მ თ ი ს ა და მ ო ნ ა ც რ ი ს ფ რ ო ბ რ ო ლ ი და ჭ ა რ ვ ა.

რამდენიმე წლის წინ იაკუტიაში აღმოაჩინეს ალმასების უდიდესი საბადო, რომელსაც ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩვენი სახალხო მეურნეობისათვის (იხ. გვ. 22).

ძვირფასი ქვების წონის საზომი ერთეულია კარატი, რომელიც 0,2 გ უდრის.

[1] ძველბერძნულ ენაზე ნიშნავს ცეცხლგამძლეს.

ძვირფასი ქვებისაგან განსხვავებით სანაკეთო (ფერადი) ქვები უმთავრესად ქანებს წარმოადგენს. მათ ხშირად ძალიან ლამაზი ფერი აქვთ, საინტერესო დეკორატიული ნახატები ემჩნევათ, ადვილად იწმინდებიან და პრიალდებიან.

სანაკეთო ქვებს ეკუთვნის: ნეფრიტი, ლაზურიტი. ფერადი მინდვრის შპატები (ამაზონიტი, ლაბრადორი). წითელი კვარცი (როდონიტი), იასპი, მალაქიტი. ავანტურინი, ვარდისფერი კვარცი. სერპენტინიტი, თაბაშირი, სელენიტი, ობსიდიანი, მარმარილო და კვარციტი.

სანაკეთო ქვებს იყენებენ საიუველირო და სამხატვრო საქმეში (მათგან მზადდება ლარნაკები, გულსაბნევები, საფერფლეები, სამელნე მოწყობილობები).

საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ძვირფასი და სანაკეთო ქვები გვხვდება კარელიაში, საიანებში, ალტაიზე, კოლის ნახევარკუნძულზე, მაგრამ პირველი ადგილი ძვირფასი და სანაკეთო ქვების მრავალფეროვნების მიხედვით ურალს უჭირავს.

ბალტიის ზღვის სანაპიროზე (კალინინგრადის ოლქი, სოფ. იანტარნოე) მდებარეობს მსოფლიოში ყველაზე დიდი ქარვის საბადო, რომელიც მესამეული პერიოდის განსაკუთრებული სახეობის ფიჭვის ნამარხ ფისს წარმოადგენს.

ქარვისაგან ამზადებენ სამკაულებს, საგანგებო იზოლატორებს, ლაქებს და სხვ.

რუსეთის ჩრდილოეთით (კოლის ნახევარკუნძული, კარელია, არხანგელსკის ოლქი) ცნობილია ბევრი ისეთი მდინარე, რომლებშიც გვხვდება მარგალიტის შემცველი მტკნარი წყლის ნიჟარები. მარგალიტი არის მომრგვალებული მყარი ნახშირმჟავა კალციუმი, რომელსაც მოლუსკი ნიჟარაში გამოყოფს. მისგან ძალზე ლამაზ სამკაულებს ამზადებენ.

საქართველოს მინერალური რესურსები

საქართველო მინერალური ნედლეულით მდიდარი ქვეყანაა. აქ არის როგორც მადნეული, ისე არამადნეული სასარგებლო ნამარხების მნიშვნელოვანი საბადოები, რომლებიც ნედლეულით ამარაგებს ჩვენი სახალხო მეურნეობის მრავალ დარგს.

მადნეულებს შორის ჩვენს რესპუბლიკაში პირველი ადგილი უკავია მარგანეცს. იგი ბევრგან გვხვდება, მაგრამ სამრეწველო მნიშვნელობა ჯერჯერობით მხოლოდ ჭიათურის საბადოს გააჩნია.

ჭიათურის მარგანეცის საბადო მსოფლიოში ერთ-ერთ უდიდეს საბადოს წარმოადგენს. ის მდებარეობს დასავლეთ საქართველოში, ჭიათურისა და საჩხერის მიდამოებში.

ჭიათურის საბადო წარმოიქმნა მესამეულ დროში ზღვის სანაპიროზე, სადაც მარგანეცი გახსნილი სახით შემოუტანია იმ დროის მდინარეებს. გეოლოგები ფიქრობენ, რომ ზღვის წყლიდან მარგანეცის გამოლექვას ხელი შეუწყვეს მიკროორგანიზმებმა, რომლებიც წყლიდან შთანთქავდნენ მანგანუმს, ხოლო დახოცვის შემდეგ მას ზღვის ფსკერზე ლექავდნენ. ასე გაჩნდა მადნიანი ჰორიზონტი, რომლის სისქე ერთიდან შვიდ მეტრამდე მერყეობს და ოცდახუთამდე სხვადასხვა სისქის მარგანეცის შრეს შეიცავს.

მარგანეცი ჭიათურის საბადოში ძირითადად ქანგეული მინერალების — პიროლუზიტის, ფსილომელანის, მანგანიტისა და სხვათა შენაერთებში გვხვდება, არის აგრეთვე მისი კარბონატული ნაერთებიც.

მარგანეცის მთავარი მომხმარებელია შავი მეტალურგია, რომელიც ამოღებული მადნის 90% ითვისებს. მარგანეცის დანარჩენ ნაწილს იყენებენ ფერად მეტალურგიასა და ქიმიურ მრეწველობაში.

რკინას ჩვენში უხსოვარი დროიდან ამუშავებენ. საქართველოში მისი საბადოები ცნობილია ბევრგან, თუმცა დიდი საბადო ჯერჯერობით აღმოჩენილი არ არის. ყველაზე მეტ ყურადღებას იმსახურებს ფოლადაურის და ძამის რკინის საბადოები.

ფოლადაურის საბადო მდებარეობს ბოლნისის რაიონში, მდინარე ფოლადაურის აუზში. როგორც ძველი სამთო გამონამუშევრები მოწმობს, რკინას აქ დიდი ხნის წინათ იღებდნენ. 1860 წელს ფოლადაურის საბადოსთან აშენდა თუჯის სადნობი ქარ-

ხანა, რომელმაც 1875 წლამდე იმუშავა. 1923 წელს ამ ქარხანამ ისევ განაახლა თუჯის ჯ მოდნობა, მაგრამ 3 წლის შემდეგ მუშაობა კვლავ შეწყვიტა. ფოლადაურის საბადოს რკინა ძირითადად მინერალ ჰემატიტის შენაერთში გვხვდება. რკინის სხვა მინერალები აქ მეტად უმნიშვნელო რაოდენობითაა.

მდინარე ძამის სათავეში მდებარეობს ძამის რკინის საბადო. რკინა ამ საბადოში უმთავრესად მინერალ მაგნეტიტთან ერთად გვხვდება. ამჟამად გეოლოგები საბადოს სწავლობენ.

ყურადღებას იქცევს მ ა გ ნ ე ტ ი ტ ი ა ნ ი ქ ვ ი შ ე ბ ი, რომლებიც ვიწრო ზოლის სახით მიყვება შავი ზღვის სანაპიროს. რკინა ამ ქვიშებში ისეთი რაოდენობით არ არის, რომ მათ სამრეწველო მნიშვნელობა ჰქონდეთ. მაგრამ უკანასკნელ წლებში ამ ქვიშებს სამთო საქმეში, ბურღვისათვის საჭირო თიხის ხსნარების დამამძიმებლად იყენებენ.

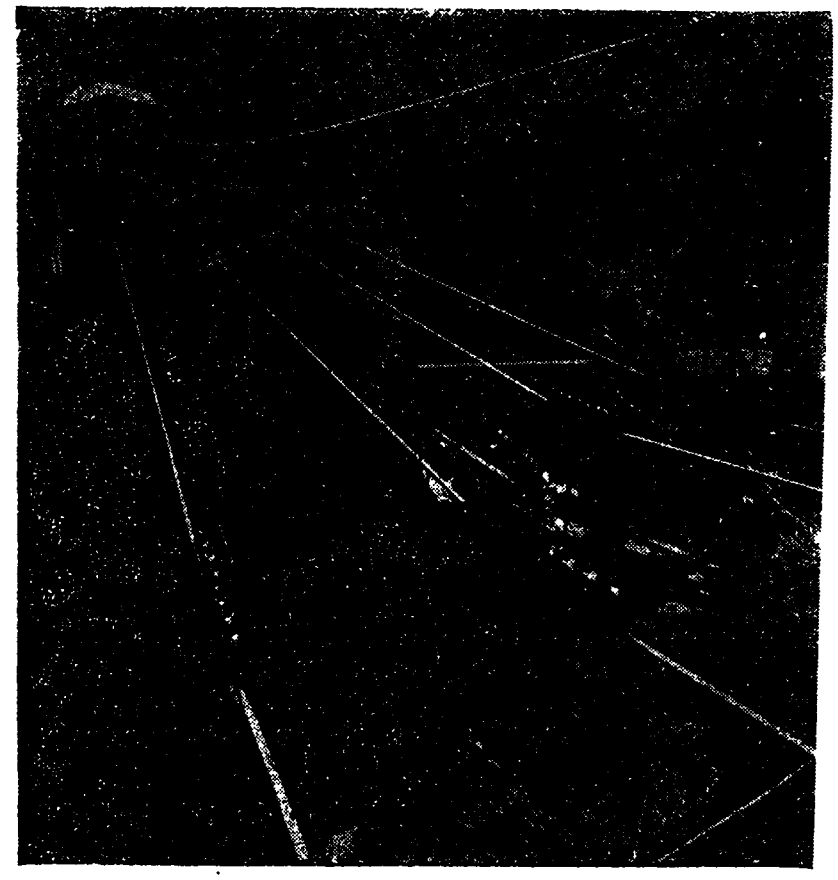
საქართველოს ტერიტორიაზე ს პ ი ლ ე ნ ძ ი ს რამდენიმე საბადოა, მაგრამ სამრეწველო მნიშვნელობა ჯერჯერობით მხოლოდ ბოლნისის რაიონში უკანასკნელ წლებში აღმოჩენილ საბადოს აქვს.

ჩვენს რესპუბლიკაში ცნობილია ტ ყ ვ ი ა-თ უ თ ი ს ბევრი საბადო, რომელთაგან უმეტესობა ამჟამად გეოლოგიური შესწავლის ობიექტებს წარმოადგენს. ეს ორი მეტალი — ტყვია და თუთია — ბუნებაში ყოველთვის ერთად გვხვდება. ამჟამად ჩვენში ტყვიისა და თუთიის მადანს იღებენ ქვაისის და სკატიკომის საბადოებიდან.

მ ო ლ ი ბ დ ე ნ ი ს საბადო საქართველოში ცნობილია მხოლოდ ერთგან, ზემო რაჭაში, მდინარე ჭვეშურას (რიონის შენაკადი) მარცხენა ნაპირზე, კარობის ქედის ძნელად მისადგომ ფერდობზე. კარობის საბადოს დამუშავება დაიწყო 1938 წელს და დამთავრდა 1953 წელს, როცა საბადოს მარაგი ამოიწურა.

აღნიშნული მეტალების გარდა საქართველოში მოიპოვება ს უ რ მ ა (ზემო რაჭა, სვანეთი), ვ ე რ ც ხ ლ ი ს წ ყ ა ლ ი (ზემო რაჭა, სვანეთი, აფხაზეთი) და დ ა რ ი შ ხ ა ნ ი (აფხაზეთი, რაჭა, სვანეთი, სამხრეთ ოსეთი, ყაზბეგის რაიონი).

ჩვენს რესპუბლიკაში პოულობენ ოქროსაც. ოქროს ქართველები უხსოვარი დროიდან იცნობენ. ძველ დროში ჩვენი წინაპრები ოქროს იღებდნენ ხრამის, ფინაზაურის, ენგურის, ცხენისწყლის, ძირულის და სხვა მდინარეების ქვიშრობებიდან. ცნობილია, რომ XVIII საუკუნეში ოქროს და



ჰიათურა. მარგანეცის გადაზიდვა საბაგირო გზით.

ვერცხლს ალავერდის და ახტალის საბადოებიდან იღებდნენ. საბჭოთა ხელისუფლების დროს ენგურის, ცხენისწყლის, ხრამისა და ზოგი სხვა პატარა მდინარის ქვიშრობებიდან ოქრო თოთხმეტი წლის მანძილზე ამოჰქონდათ. გარდა ქვიშრობებისა, ცნობილია აგრეთვე ოქროს ძარღვული გამადნებები. მაგრამ პრაქტიკული მნიშვნელობის საბადო ჯერ აღმოჩენილი არაა.

არამეტალურ მინერალურ ნედლეულს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე მრეწველობის განვითარების საქმეში. საქართველო ასეთი ნედლეულით საკმაოდ მდიდარია. აქ პირველ რიგში აღსანიშნავია ბ ა რ ი ტ ი. ბარიტი წარმოადგენს ბარიუმის მადანს. ამ მადანს ძირითადად ქიმიურ და ნავთობის მრეწველობას აწვდიან.

ბარიტის საბადოები გვაქვს ქუთაისის მიდამოებში, რაჭაში, სამხრეთ ოსეთში, სვანეთში, სამეგრელოში, აფხაზეთსა და სამხრეთ საქართველოში, მდინარე მაშავერას აუზში. ამჟამად საქართველოში ცნობილია ბარიტის 35 საბადო, რომლებშიაც ბარიტის 450-მდე ძარღვს ითვლიან.

ბარიტს საქართველოში 1901 წლიდან ამუშავებენ. ამჟამად საქართველოს ხარისხოვანი ბარიტის

მარაგით ერთ-ერთი პირველი ადგილი უკავია საბჭოთა კავშირში.

საქართველოში აღმოჩენილია ბ ე ნ ტ ო ნ ი ტ უ რ ი თ ი ხ ე ბ ი ს ბევრი საბადო. მაგრამ მათ შორის დიდი სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს ორს — გუმბრინის და ასკანის საბადოებს. პირველი მათგანი მდებარეობს ქ. ქუთაისის, ხოლო მეორე ქ. მახარაძის მახლობლად.

ოქტომბრის რევოლუციამდე ბენტონიტური (მათეთრებელი) თიხები ჩვენში საზღვარგარეთიდან შემოჰქონდათ. ამჟამად კი საბჭოთა კავშირს ამ თიხების საკუთარი წარმოება აქვს; ჩვენს რესპუბლიკას ამ საქმეში თვალსაჩინო ადგილი უკავია.

ბენტონიტურ თიხებს ძირითადად მოიხმარს ნავთობის მრეწველობა და ცხიმების წარმოება. მათ იყენებენ ბენზინის, ნავთის, ვაზელინის, პარაფინის, საცხი ზეთებისა და განსაკუთრებული მინერალური ზეთების დასაწმენდად. ცხიმების წარმოებაში მათეთრებელ თიხებს ხმარობენ ცხიმების გასასუფთავებლად ცილების, ლორწოსა და შემფერავი მცენარეული ნაშთებისაგან.

შორს გაითქვა სახელი საქართველოს ლამაზმა მ ა რ მ ა რ ი ლ ო მ, რომელსაც მსოფლიოში იტალიისა და საბერძნეთის სახელგანთქმული მარმარილოს გვერდით აყენებენ. ჩვენში არის სხვადასხვა ფერის ლამაზი, დეკორატიული მარმარილოს ბევრი საბადო, რომელთაგან ზოგიერთს ამჟამად ამუშავებენ. ესენია — ლოპოტის, შროშის, ლოპანის წყლის, ზემო სვანეთის, სალიეთის, მოლითის, სადახლოსა და ქუთაისის საბადოების ჯგუფები. თეთრი, წითელი, ნაცრისფერი და ვარდისფერი სხვადასხვა მოხატულობის ლამაზი მარმარილოთია მოპირკეთებული თბილისის, ქუთაისის და ჩვენი რესპუბლიკის სხვა ქალაქების ნაგებობანი. ქართულ მარმარილოს თქვენ ნახავთ მოსკოვის მეტროს მიწისქვეშა სადგურებში და ჩვენი ქვეყნის სხვა დიდ ქალაქებში. მარმარილოს მარაგის მიხედვით საქართველოს ურალის შემდეგ მეორე ადგილი უკავია საბჭოთა კავშირში.

ჩვენი რესპუბლიკა მდიდარია სამშენებლო ქვებით, რომლებიც ყველგან გვხვდება. მათ შორის განსაკუთრებით აღსანიშნავია ძველთაგან ცნობილი „ბ ო ლ ნ ი ს ი ს ტ უ ფ ი“, რომლითაცაა აშენებული თბილისის ულამაზესი შენობები (მთავრობის სახლი, მარქსიზმ-ლენინიზმის ინსტიტუტის თბილისის ფილიალის შენობა, საქნახშირის შენობა და სხვა), და ტ ე მ ე ნ ი ტ ი, რომელსაც იყენებენ ცოკოლების მოსაპირკეთებლად, აგრეთვე დიდ ნაგებობათა მთავარი ნაწილების ასაგებად. ძვირფას სამშენებლო მასალას წარმოადგენს აგრეთვე ბ ა ზ ა ლ ტ ი. იგი დიდი რაოდენობით გვხვდება როგორც აღმოსავლეთ, ისე დასავლეთ საქართველოში. ბაზალტი უძლებს დიდ წნევას და ძნელად იხეხება, რის გამო ტროტუარის, ხიდებისა და შარაგზების მშენებლობაში იყენებენ. თბილისის ტროტუარები, თითქმის ყველა დიდი შენობის ცოკოლი და ბევრი რკინიგზის ხიდი ამიერკავკასიის რკინიგზაზე ბაზალტისაგანაა აგებული.

ქიმიურ მრეწველობაში ფართოდ იყენებენ ა ნ დ ე ზ ი ტ ს, კერძოდ, ისეთი აპარატებისა და დანადგარებისათვის, რომლებიც მჟავებისა და ტუტეების ზემოქმედებას განიცდიან. ანდეზიტი საქართველოში ბევრგან არის. განსაკუთრებით ცნობილია ყაზბეგის და ბორჯომ-ბაკურიანის ანდეზიტი.

ჩვენი რესპუბლიკა მდიდარია აგრეთვე თ ი ხ ე ბ ი თ, რომელთა ბაზაზე აშენებულია ბევრი დიდი და პატარა აგურისა და კრამიტის ქარხანა. გარდა ამ თიხებისა, საქართველოში არის ც ე ც ხ ლ გ ა მ ძ ლ ე თ ი ხ ე ბ ი ს საბადოები. მათ შორის დიდი სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს შროშის (ზესტაფონის რაიონი) ცეცხლგამძლე თიხების საბადოს. საბადოს ბაზაზე მუშაობს ქარხანა, რომელიც მეტალურგიულ ქარხანას ცეცხლგამძლე აგურს და თიხას აწვდის.

საქართველო მდიდარია კ ი რ ქ ვ ე ბ ი თ ა ც. მათ იყენებენ ცემენტის წარმოებაში, კირის დასამზადებლად, მეტალურგიაში (ფლუსი), მინის, საღებავების, წებოს წარმოებაში და სხვ. კირქვებს იყენებენ აგრეთვე, როგორც სამშენებლო ქვებს.

ხორციელდება თაბაშირის, გაჯის, დიატომიტის, სახურავი ფიქლების, ტალკის, აგატისა და სხვა სასარგებლო ნედლეულის მოპოვება და დამუშავება. ახალციხის ა გ ა ტ ი ს საბადო ერთ-ერთი უდიდესი საბადოა საბჭოთა კავშირში. მნიშვნელოვანი რაოდენობით ამზადებს ჩვენი რესპუბლიკა ტ ა ლ კ ს (ტალკის საბადოები მდებარეობს ხაშურის რაიონში და სამხრეთ ოსეთში).

ჩვენში რამდენიმე ადგილას მოიპოვება ქ ვ ა ნ ა ხ შ ი რ ი, მათ შორის აღსანიშნავია ტყიბულის ქვანახშირის საბადო, რომლის ექსპლუატაცია 1847 წლიდან დაიწყო. საბჭოთა ხელისუფლების წლებში აქ ქვანახშირის ამოღება დიდად გაიზარდა. ამას-

თან, ქვანახშირის ძიებისა და ახალი უბნების აღმოსაჩენად გეოლოგებმა დიდი სამუშაოები ჩაატარეს. უკანასკნელ წლებში ტყიბულისა და გელათის ცნობილ საბადოებს არ მხარეში მიემატა შაორის საბადო, რომელმაც მნიშვნელოვნად გაზარდა ჩვენი რესპუბლიკის ქვანახშირის მარაგი.

ქვანახშირი აღნიშნულ საბადოებში დაკავშირებულია შუაიურულ ნალექებთან. ტყიბულში ნახშირიანი წყება უშუალოდ ზედაპირზე გამოდის, რის გამოც ნახშირს აქ პირველ ხანებში ღია კარიერებით ამუშავებდნენ, ახლა კი ქვანახშირი მიწის სიღრმიდან ამოაქვთ.

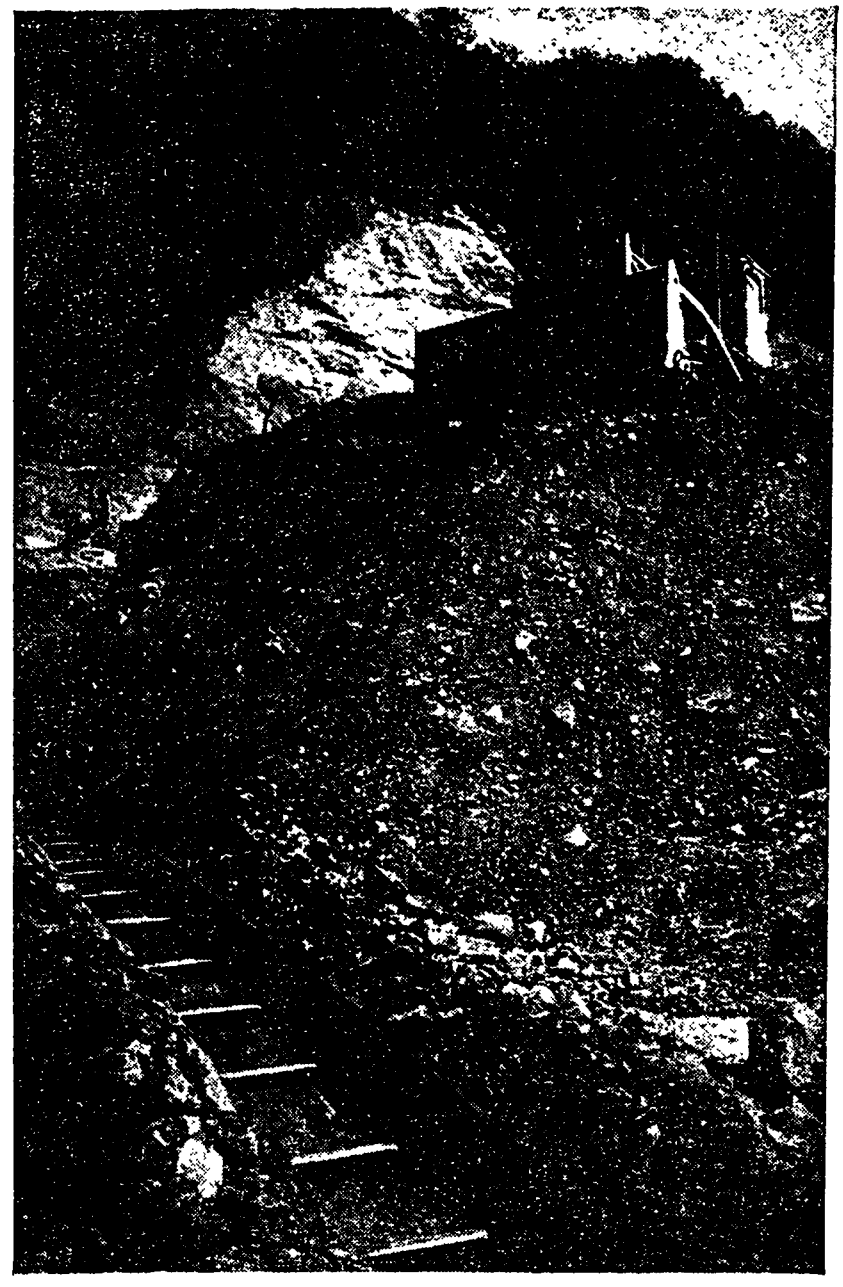
მდინარეების — ღალიძგისა და მოქვის აუზების ზემო წელში მდებარეობს ტყვარჩელის ნახშირის საბადო. აქ შუაიურულ თიხა-ფიქლებსა და ქვიშაქვებში ქვანახშირის რამდენიმე ფენაა. ტყვარჩელის ქვანახშირის სისტემატური დამუშავება საქართველოში მხოლოდ საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების შემდეგ დაიწყო. ტყვარჩელის საბადო იძლევა კარგ საკოქსე ნახშირს, რომელიც თავისი ხარისხით მთლიანად აკმაყოფილებს მეტალურგიის მოთხოვნილებებს.

გარდა იურული ნახშირებისა, საქართველოში არის უფრო ახალგაზრდა — მესამეული ასაკის ნახშირებიც. მათ შორის სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს ახალციხის მურა ნახშირის საბადოს. ამ საბადოს ნახშირის ფენები მოქცეულია თიხებსა და თიხიანი ქვიშაქვების შრეებში.

აღნიშნული საბადოების გარდა, ნახშირის შრეების გამოსავლები გვხვდება საქართველოს სხვა ადგილებში, მაგრამ მათ მცირე მარაგის გამო სამრეწველო მნიშვნელობა არ გააჩნიათ.

საქართველოში ცნობილია ნავთობის ბევრი საბადო, ზოგიერთს ამუშავებენ კიდეც, მაგრამ დიდი მასშტაბის საბადო ჩვენში ჯერჯერობით აღმოჩენილი არ არის.

ნავთობის საბადოები დადგენილია კახეთში, ქართლში, გურიაში, იმერეთში და სხვაგან. მათგან ზოგიერთმა მოგვცა ან იძლევა სამრეწველო პროდუქციას (მირზაანი, შირაქი, ნორიო და სხვ.). გეოლოგები ნავთობს ეძებენ კოლხეთის დაბლობზეც, სადაც დიდ სიღრმეზე მოსალოდნელია იყოს ნავთობი. საქართველოს გეოლოგიური აგებულება გვაფიქრებინებს, რომ აქ უნდა იყოს ნავთობის დიდი საბადო, რომლის აღმოჩენა მომავლის საქმეა.



ტყვარჩელი. ქვანახშირის დამუშავება ღია მეთოდით.

ჩვენი სახალხო მეურნეობის შემდგომი განვითარება სულ მეტსა და ახალ მინერალურ ნედლეულს მოითხოვს. მიწის სიღრმის საიდუმლოების ამოცნობა, ახალი საბადოების აღმოჩენა და ძიება საქართველოს გეოლოგების საპატიო საქმეა. ამ საქმეში გეოლოგებს უნდა დაეხმაროს ჩვენი მოსწავლე ახალგაზრდობა. ბევრი მომავალში, ალბათ, მოისურვებს გეოლოგიური მეცნიერების დაუფლებას.

როცა ვლაპარაკობთ საქართველოს მინერალურ ნედლეულზე, არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ მინერალური წყლები, რომელთა რაოდენობა დაახლოებით 1500-მდე აღწევს.

რა არის მინერალური წყალი და რით განსხვავ-

დება მინერალური წყარო ჩვეულებრივი წყაროსაგან?

მინერალური წყაროები, ისევე როგორც მტკნარი წყაროები, ზღვის ფსკერზე, მდინარეთა ხეობებში და ტრიალ მინდვრებზე, ასევე მთათა ქედებზე (მაგალითად, კავკასიონზე 2500—3000 მეტრის ნიშნეულებზე) გამოდიან. მათი გამოჩენა ამა თუ იმ ადგილზე გაპირობებულია გარემოს გეოლოგიური აგებულებით.

დედამიწის სხვადასხვა კუთხეში გვხვდება მინერალური წყაროებით მდიდარი უბნები, უმეტესად მდინარეთა ღრმა ხეობებში, იქ, სადაც წყალშემცველი ფენა ან ნაპრალების სისტემა ზედაპირზე ჩნდება. გვხვდება ისეთი ადგილებიც, სადაც ისინი ზედაპირზე არ გამოდიან, მიწის სიღრმეში არიან ჩამალულნი და არა აქვთ ზედაპირზე ამოსასვლელად საჭირო გეოლოგიური პირობები. მაგალითად, შირაქის ველზე და კოლხეთში, სადაც წყაროს კვალიც კი არ იყო შემჩნეული, კვლევით დადასტურდა წიაღში მინერალიზებული და მარილიანი წყლის აურაცხელი საუკუნოვანი მარაგის არსებობა. ჩვეულებრივ, ნაპრალებში მომდინარე წყალი მიწის სიღრმიდან ზედაპირზე მინერალური წყაროს სახით გამოდის, ხოლო იშვიათად ფხვიერი ქანების პორებიდან გამოიჟონება (მაგალითად, წყალტუბოს წყლები).

ხშირად მინერალური წყაროები განლაგებულია ღრმა და დიდ მანძილზე გაჭიმული ნაპრალების (ე. წ. ტექტონიკური რღვევის) გასწვრივ. ამ ნაპრალებით მინერალური წყლები სიღრმიდან ზედაპირზე ამოდიან. ასეთ პირობებში გამოდის კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე მრავალი მინერალური წყარო მდინარეების — კოდორის, ენგურის, ცხენისწყლის, რიონის, ლიახვის, არაგვისა და სხვათა სათავეებში.

ზოგჯერ მინერალური წყაროები მტკნარი წყლისაგან ტემპერატურით განსხვავდება. ტემპერატურა დამოკიდებულია დედამიწის სითბოზე, რომელიც სიღრმისაკენ თანაბრად მატულობს. მაგრამ მინერალური წყაროები სხვა წყაროებისაგან უმთავრესად მაინც ქიმიური შედგენილობით ან მინერალიზაციის ხარისხით განირჩევა.

არ არსებობს ისეთი წყალი, რომელიც რაიმე მინარევს ან გახსნილ ნივთიერებას არ შეიცავდეს, თვით წვიმის წყალიც კი. წყალი მიწაში ჩაჟონვის შემდეგ გაივლის ნაირგვარ ქანს: ქვიშაქვებს, თიხებს, კირქვებს, გრანიტებს, რის შედეგადაც სხვადასხვა მინარევებითა და ქიმიური შენაერთებით მდიდრდება.

რაც უფრო მეტ ხანს იმყოფება მიწისქვეშა წყალი ქანებს შორის, მით უფრო მეტია მისი მინერალიზაცია.

ბუნებრივი წყლების ქიმიური შედგენილობა მრავალფეროვანია. ეს უმთავრესად დამოკიდებულია მიწის ქერქში მოქცეული მარილების ხსნადობის უნარიანობაზე. ბუნებრივ წყლებში უმეტესად გვხვდება ადვილხსნადი მარილები: კალიუმისა და ნატრიუმის ქლორიდები, ნიტრატები და კარბონატები, კალციუმისა და მაგნიუმის სულფატები, ჰიდროკარბონატები. ტემპერატურის გაზრდით მარილების ხსნადობა იზრდება, ხოლო გაზებისა — მცირდება.

ცნება მინერალური წყარო „სამკურნალო წყაროს“ ცნებასთან არის გაიგივებული. ადამიანმა უხსოვარი დროიდან შეიცნო მინერალური წყაროების სამკურნალო თვისებები. ეს წყლები ყურადღებას იქცევდნენ თავისებური გემოთი, სუნით, გაზის გამოყოფით, გამოლექილი ნივთიერების შეფერილობით, მაღალი ტემპერატურით. ამ წყლების გამაჯანსაღებელი მოქმედება მრავალმა თაობამ შეამოწმა და მისი სამკურნალოდ გამოყენება ტრადიციად იქცა. დღესაც ჩვენი ქვეყნის მრავალ ადგილას ზოგ მინერალურ წყაროს მოსახლეობა უწოდებს „კუჭის წყალს“, „ქარების წყალს“, „თვალის წყალს“, „კანის წყალს“ და სხვა.

მოგვიანებით წყლების სამკურნალო თვისებები მეცნიერებამ ქიმიური შედგენილობით ახსნა, თუმცა ეს საკითხი ჯერჯერობით საბოლოოდ არ არის გადაწყვეტილი.

ჩვენი სამშობლო მრავალფეროვანი მინერალური წყლების კლასიკური მხარეა. მათი გამოვლინების გეოლოგიური პირობების, მკვიდრ ქანებში მოძრაობის ხასიათით და ქიმიური ბუნების ფორმირების მიხედვით, მინერალურ წყლებში გამოიყოფა სამი მთავარი ჯგუფი: ნახშიროროჟანგიანი წყლები, გოგირდწყალბადიანი წყლები და რადიოაქტიური წყლები.

პირველი ჯგუფის წყაროების უმეტესი ნაწილი დაბალტემპერატურიანია. ისინი უმთავრესად კავკასიონის სამხრეთ ფერდზეა გავრცელებული (დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ): მდინარეებოს ბზიფის, ლაშიფსეს, ავადხარას და კოდორის ზემო

ნაწილის აუზებში, ზემო და ქვემო სვანეთში, ზემო რაჭაში, ჯავის რაიონში, საქართველოს სამხედრო გზასა და ხევსურეთში.

აღნიშნული წყაროები გამოდიან იურის აშმუშნილი ასპიდური ფიქლების გავრცელების ზონაში. ამ წყაროების დიდ ნაწილს სოფლის მოსახლეობა სამკურნალოდ იყენებს. ბევრ მათგანს სამკურნალო თვისებების გამო ადგილობრივი, რესპუბლიკური და საკავშირო მნიშვნელობა ენიჭება. ასეთებია ჯავის, შოვის. უწერის, ავადხარას და მოაშის (ქვემო სვანეთი) წყაროები. ეს წყლები გამოიყენება კუჭ-ნაწლავის, ღვიძლის, გულისა და ზედა სასუნთქი ორგანოების სამკურნალოდ.

აქ ბევრია აუთვისებელი წყაროც. მათი ადგილმდებარეობისა და იშვიათი თვისებების გამო ისინი აუცილებლად უნდა გამოვიკვლიოთ.

მინერალური წყაროები გამოდიან აგრეთვე ზემო სვანეთში მისი სახელმოხვეჭილი მწვერვალების — უშბის, თეთნულდის, აილამას, შხარასა და სხვა მწვერვალთა მისადგომებთან.

მთელ რიგ შემთხვევებში ჭარბი ნახშირორჟანგა გაზის წყალთან შეერთებით იქმნება მჩქეფარე მინერალური წყლის ისეთი მძლავრი ნაკადები, რომ ისინი წისქვილებსაც კი ამუშავებენ. ეს ნაკადები მიედინებიან მდინარის ტერასების ან მორენების გასწვრივ და გზადაგზა რკინის ჟანგის გამოლექვით მიდამოს წითლად ფერავენ, რითაც ბუნებას თავისებურ იერს აძლევენ.

ასეთი სურათი კავკასიონის ფერდობებზე მრავალია. ამის კარგი მაგალითია ნაკადი „წირნიაში“ (სვანურად „წითელი ადგილი“), რომელიც სათავეს იღებს ყინვარ ზერეშოდან.

ყინვარის გადნობის შეწყვეტისას აქ, ენგურის სათავეში, ერთ-ერთი შენაკადის წყალი, რომელიც სიღრმიდან (ნაპრალების საშუალებით) ამოსული მინერალური წყლით იკვებება, მინერალურ წყლად იქცევა.

ნახშირმჟავა მინერალური წყლების გავრცელების მეორე ზონაა აჭარა-თრიალეთის მთიანი მხარე. მის ჩრდილოეთ ფერდობებზე მდებარეობს სახელმოხვეჭილი ჰიდროკარბონატულ-ნატრიუმიანი და ნატრიუმ-კალციუმიანი წყაროები. მათ შორის უმთავრესია ბორჯომის სოდიანი წყლების ჯგუფი.

ბორჯომის მინერალური წყლები ძველთაგან არის ცნობილი.

ბორჯომის წყალი, როგორც ერთ-ერთი სასიამოვნო სასმელი სუფრის წყალი, მთელ მსოფლიოშია აღიარებული. შესანიშნავია მისი სამკურნალო თვისებებიც, რის გამოც მას წარმატებით იყენებენ კუჭ-ნაწლავის, ღვიძლის, თირკმლების, გულისა და ნივთიერებათა ცვლის დარღვევის სამკურნალოდ.

კარგი კლიმატური პირობების, მაღალი სამკურნალო თვისებების მინერალური წყლებისა და ლამაზი ბუნების წყალობით ბორჯომის ხეობა დამსახურებულად ითვლება საბჭოთა ქვეყნის საუნჯედ. მისი ტერასებიანი ფერდობები, დაფარული ფოთლოვანი და მარადმწვანე ტყეებით, ხეობის სხვადასხვა სიმაღლეზე განლაგებული მრავალი შესანიშნავი კურორტი ნაირფეროვან მინერალურ წყლებთან ერთად მთლიან სამკურნალო კომპლექსს ქმნიან.

აქ მუშაობს ჩამომსხმელი ქარხანა, რომელიც წელიწადში 40 მილიონ ლიტრზე მეტ წყალს ასხამს. უახლოეს მომავალში ბორჯომის წყლის ჩამოსხმა წელიწადში 50 მილიონ ლიტრამდე უნდა გაიზარდოს.

რესპუბლიკა დიდ ყურადღებას აქცევს ამ კურორტის გაფართოებასა და განვითარებას.

ამავე ჯგუფს მიეკუთვნება საირმის, ზვარეს, ნაბეღლავის წყაროები.

მეტად იშვიათი სამკურნალო თვისებები აქვს საირმის მინერალურ წყალს, რომლის ბაზაზე აშენდა შესანიშნავი კურორტი საირმე. კურორტი საირმე მდებარეობს მაიაკოვსკის რაიონში, მდინარე წაბლარისწყლის ხეობაში. აქვეა აშენებული წყლის ჩამომსხმელი ქარხანა, რომელიც წელიწადში 3,5 მილიონ ლიტრ წყალს გვაძლევს.

ჩოხატაურის რაიონში მდ. გუბაზოულის ხეობაში ახლახან გაშენდა კურორტი ნაბეღლავი, რომელმაც სულ მოკლე ხანში გაითქვა სახელი მინერალური წყლებით. ამჟამად აქ მინერალურ წყალს წელიწადში 400 000 ლიტრის რაოდენობით ასხამენ.

მეორე ჯგუფის გოგირდწყალბადიანი წყლები მდებარეობს როგორც საქართველოს ბელტის ფარგლებში (ნაქალაქევი, მენჯი, ცაიში, ტყვარჩელი, სოხუმი და სხვა), ასევე აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემაში. ამ ჯგუფში განსაკუთრებით გამოირჩევა თბილისის თერმები, რომლებიც დაკავშირებულია შუა ეოცენის ვულკანურ წყებასთან.

ლეგენდის მიხედვით ქალაქ თბილისის დაარსე-

ბა დაკავშირებულია თბილისის ცხელ წყლებთან. ქალაქის სახელწოდებაც აქედან მოდის.

ცხელი წყლების ბუნებრივი გამოსავლები თბილისის ძველ ნაწილში მტკვრის მარჯვენა ნაპირზე გვაქვს. ამ წყლებით ქალაქის მოსახლეობა უძველესი დროიდან სარგებლობს. 1932 — 1934 წლებში გეოლოგებმა ცხელი წყლების უბანში ორი ჭაბურღილი ამოიყვანეს. აქაური ცხელი წყლის ბაზაზე აშენდა დიდი სამკურნალო შენობა კარგად მოწყობილი სააბაზანოებით. შემდეგში (1952 — 1955 წწ.) ამ უბანში კიდევ ამოიყვანეს ჭაბურღილები, რის შედეგადაც ცხელი წყლების დებიტმა 2250 ათას ლიტრს მიაღწია. წყლის ტემპერატურა 30 — 37° აღწევს. დღეისათვის თბილისის მინერალური წყლების უბანში მოქმედებს 8 ჭაბურღილი და ათამდე წყარო. ახალი მინერალური წყლების გამოვლინების მიზნით დღესაც გრძელდება ღრმა ჭაბურღილების გაჭრა.

ამ წყალს წარმატებით იყენებენ სამკურნალოდ სახსრების ქრონიკული დაავადების, გულის სისხლძარღვთა სისტემის და ნივთიერებათა ცვლის დარღვევის დროს.

ამგვარი თერმები საქართველოს სხვა მხარეებშიც გვხვდება. ზოგიერთი მათგანის წყლის ტემპერატურა 80°-ზე მეტია (ცაიში). ეს თერმები შესანიშნავია არა მარტო ძვირფასი სამკურნალო თვისებების გამო, არამედ იმითაც, რომ მნიშვნელოვან სითბოს გამოყოფენ, რაც შეიძლება გამოყენებულ იქნას საცხოვრებელი ბინების, ფერმების და სათბურების გასათბობად.

შესანიშნავი სამკურნალო თვისებების ცხელმა მინერალურმა წყალმა სახელი გაუთქვა კურორტ მენჯს, რომელიც ქ. ცხაკაიას მახლობლად მდ. ცივის ხეობაში მდებარეობს.

მესამე ჯგუფის, ანუ რადიოაქტიური წყლების ბრწყინვალე წარმომადგენელია წყალტუბოს მინერალური წყლები, რომელთა სამკურნალო თვისებები კარგად არის ცნობილი არა მარტო საბჭოთა კავშირში, არამედ მის საზღვრებს გარეთაც. წყალტუბოს მინერალურ წყალს ქმნის მდ. წყალტუბოს ტაფობში 600 მ მანძილზე გამომდინარე მრავალრიცხოვანი წყაროების ერთობლიობა. მინერალური წყალი ამოდის ცარცული კირქვების ნაპრალებში და ხვდება თიხებით დაფარულ მდინარეულ ქვიშებში, სადაც მასზე დიდი წნევა მოქმედებს. ამ წნაღმდეგობის გადალახვისას წყალი გრიფონების სახით გამოდის ზედაპირზე. მისი საერთო დებიტი დაახლოებით 21500 ათას ლიტრს შეადგენს დღე-ღამეში. წყალტუბოს წყალი მიეკუთვნება სუსტ მინერალურ რადონიან თერმებს. მისი შედგენილობა ხასიათდება ქლორის, სულფატისა და ჰიდროკარბონატ იონების თანაბარი შემცველობით. კატიონებიდან ყველას ჭარბობს კალციუმი. მინერალური წყლების ტერიტორიაზე აშენებულია საკავშირო მნიშვნელობის კურორტი „წყალტუბო“, რომლის სააბაზანო განყოფილება წამში 160 ლიტრ ცხელ წყალს ღებულობს. ეს წყალტუბოს წყლების მარაგის 65% შეადგენს. ამჟამად სახავენ გზებს, რომ სააბაზანოში უკვე გამოყენებული ცხელი წყალი სოფლის მეურნეობაში, კერძოდ სათბურებში გამოიყენონ. წყალტუბოს მინერალურ წყალს უმთავრესად ნერვული სისტემის დაავადების დროს და რევმატიზმების მკურნალობისათვის იყენებენ. კურორტის ტერიტორიაზე უკვე განხორციელდა და ახლაც მიმდინარეობს გრანდიოზულ საკურორტო და სამკურნალო ნაგებობათა მშენებლობა.

სამკურნალო მინერალური წყლების გარდა ჩვენს მხარეში გვხვდება სამკურნალო ტალახიც. ტალახი წარმოიშვება იქ, სადაც გაზებით გაჟღენთილი წნევიანი წყალი მოქმედებს ზედაპირთან განლაგებულ თიხებზე. არჩევენ: ტალახიან წყაროებს (ტალახიან ბორცვებს — სოპკებს) და ტბიურ ტალახებს.

პირველი ტიპის ტალახებს მიეკუთვნება კახეთის ბორცვები, „ახტალის“ სახელწოდებით. მცირე კონუსისებური ამაღლებების ცენტრში მოთავსებულია ტალახიანი კრატერები, სადაც 18 — 20° ტემპერატურაა. წყალი ნავთობის საბადოებისათვის დამახასიათებელი ქლორ-ნატრიუმიანი შედგენილობისაა. ეს ტალახიანი საბადო ხასიათდება საწვავი გაზების პერიოდული, მაგრამ ზოგჯერ ინტენსიური გამოყოფით.

ტბიურ ტალახებს შორის მეტად პოპულარულია კუმისის ტალახი. მისი ფსკერის ზედა ნაწილი 0,5 მ სიმაღლეზე შედგენილია ტალახისაგან, რომელიც უხვად შეიცავს ორგანულ ნარჩენებს. მის ქვემოთაა შლამი, შემდეგ კი ნაცრისფერი და ყვითელი თიხები.

წიაღისეულისა და მინერალური წყლების ესოდენ მდიდარი რესურსები საქართველოს დიდ პერსპექტივებს უშლის.

როგორ ეძებენ სასარგებლო ნამარხებს

დედამიწის განძი

სასარგებლო ნამარხები დედამიწის სულ სხვადასხვა რაიონებშია ძოქცეული. სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, ვერცხლისწყლის, სურმის, ნიკელის, ოქროს, პლატინისა და ძვირფასი ქვების საბადოების უმეტესობა მთიან მხარეებში ხანდახან 2 000 მ სიმაღლეზე მდებარეობს.

ვაკე ადგილებში გვხვდება ქვანახშირის, ნავთობის, სხვადასხვა მარილების, აგრეთვე რკინის, მარგანეცისა და ალუმინის საბადოები.

მადნების საბადოებს ჯერ კიდევ შორეულ წარსულში ამუშავებდნენ. მაშინ მადანს რკინის სოლებით, ნიჩბებითა და წერაქვებით ეძებდნენ და ზურგით ამოჰქონდათ, ანდა პრიმიტიულად, ბადიებით, ისე როგორც წყალი ამოაქვთ ხოლმე ჭიდან. ეს ძალიან მძიმე შრომა იყო. მიუხედავად ამისა, ზოგიერთ ადგილას უძველესმა მადნის მაძიებლებმა ძალზე დიდი სამუშაო შეასრულეს. მათ მაგარ კლდეებში გამოქვაბულები გამოჭრეს, ანდა ჭისმაგვარი ღრმა გამონამუშევრები გამოკვეთეს. შუა აზიაში დღემდეა შემონახული კირქვაში გამოჭრილი გამოქვაბული, რომლის სიმაღლე 15 მ-ია, სიგანე 30 მ, ხოლო სიგრძე 40 — 45 მ. ცოტა ხნის წინ კი აღმოაჩინეს ხვრელივით ვიწრო გამონამუშევარი, რომელიც 60 მ იყო გაჭიმული სიღრმეში.

თანამედროვე მაღარო წარმოადგენს ვეებერთელა, ჩვეულებრივ, მიწისქვეშა წარმოებას, რომელსაც აქვს ღრმა ჭისმაგვარი შახტები და დერეფნების მსგავსი მიწისქვეშა გასასვლელები. ამ დერეფნებში მოძრაობენ ელექტრომატარებლები. ისინი მადანს ეზიდებიან საგანგებო ლიფტებთან, საიდანაც მადანი ზევით ააქვთ.

თუ მადანი მაინცდამაინც დიდ სიღრმეზე არ არის, მაშინ თხრიან უზარმაზარ ქვაბულებს — კარიერებს. აქ მუშაობენ ექსკავატორები, თვითმცლელი ავტომანქანები, ელექტრომატარებლები და სხვა მანქანები. ასეთ მანქანებზე მომუშავე 10 — 15 კაცი ერთი დღის განმავლობაში იმდენ მადანს იღებს, რამდენსაც უწინ ნიჩბითა და წერაქვით შეიარაღებული 100 კაცი ამოიღებდა ერთი წლის მანძილზე.

მოპოვებული მადნის რაოდენობა ყოველწლიურად იზრდება, რადგან სულ უფრო მეტი და მეტი მეტალია საჭირო. ამიტომ შემთხვევით როდი წამოიჭრა საკითხი — ხომ არ გამოილევა სასარგებლო ნამარხები და დასამუშავებელიც აღარაფერი დარჩება? ეკონომისტებმა დაიანგარიშეს, მაგრამ მაინცდამაინც სანუგეშო პასუხი არ მიუღიათ. მაგალითად, გამომუშავების თანამედროვე ტემპებით მთელ მსოფლიოში ცნობილი ნიკელის მარაგი 20 — 25 წლის შემდეგ გამოილევა, კალისა — 10 — 15 წლის შემდეგ, ტყვიისა — 15 — 20 წლის შემდეგ და დაიწყება „მეტალური შიმშილი“.

ბევრი საბადო მართლაც მალე ილევა, მაგრამ ეს ისეთ საბადოებში ხდება, სადაც მადანი დედამიწის ზედაპირზე იყო ამოსული და დიდი ხანია, რაც მუშავდება. სინამდვილეში დედამიწა სასარგებლო ნამარხთა უმდიდრესი საცავია და ადრეა იმაზე ლაპარაკი, რომ მისი წიაღისეული სიმდიდრე იწურება. ჯერ კიდევ ბევრია ისეთი საბადო, რომლებიც ახლოსაა დედამიწის ზედაპირთან, და ისეთებიც, რომლებიც ღრმადაა (200 მეტრზე და უფრო ღრმად) განლაგებული. გეოლოგები ასეთ საბადოებს ფარულ საბადოებს უწოდებენ. მათი მოძებნა იმდენად რთული საქმეა, რომ გამოცდილ გეოლოგსაც კი შეუძლია ზედ გაიაროს და ვერაფერი შენიშნოს. მაგრამ თუკი უწინ გეოლოგი საძიებო სამუშაოებზე მხოლოდ კომპასითა და ჩაქუჩით შეიარაღებული მიდიოდა, თანამედროვე გეოლოგების განკარგულებაშია ურთულესი მანქანები და ხელსაწყოები. მეცნიერებმა სასარგებლო ნამარხების ძიების ბევრი ახალი მეთოდი შეიმუშავეს. რაც უფრო ღრმად აქვს ჩამალული ბუნებას ძვირფასი მადნის მარაგი, მით უფრო ძნელი მოსანახია იგი და, აქედან გამომდინარე, ამ მარაგის საძიებო საშუალებებიც უფრო სრულყოფილი უნდა იყოს.

როგორ ეძებენ საბადოებს

მას შემდეგ, რაც ადამიანებმა მადნიდან მეტალის გამოდნობა დაიწყეს, ბევრი ძამაცი მაძიებელი იყო უდაბურ ტაიგაში, სტეპებსა და მიუვალ მთებზე, სადაც ისინი ეძებდნენ და პოულობდნენ სასარგებლო ნამარხების საბადოებს. მართალია, მათ მადნის ძიების დიდი გამოცდილება ჰქონდათ, მაგ-

რამ არ გააჩნდათ საკმაო ცოდნა, და ამიტომ ხშირად მადანს ბრმად, „ალღოთი“ ეძებდნენ.

ხშირად ყოფილა შემთხვევები, როცა დიდი საბადოები ისეთ ადამიანებს აღმოუჩენიათ, რომლებსაც არაფერი ჰქონდათ საერთო არც გეოლოგიასთან და არც სამთო საქმესთან. ესენი იყვნენ მონადირეები, მეთევზეები, უბრალო გლეხები და ბავშვებიც კი. XVIII ს. შუა წლებში გლეხმა ეროფეი მარკოვმა ურალზე მთის ბროლის ძებნისას იპოვა თეთრი კვარცი, რომელშიც ოქროს მარცვლები ბრჭყვიალებდა. მოგვიანებით აქ გაჩნდა ოქროს საბადო, რომელსაც ბერეზოვის საბადო უწოდეს. XVII ს. 40-იან წლებში მდ. ანგარის აუზში ვაჭარმა ალექსეი ჟილინმა ქარსის მდიდარ საბადოს მიაგნო. სამხრეთ აფრიკაში პატარა გოგონამ აღმოაჩინა კაპიტალისტურ სამყაროში უდიდესი ალმასის საბადო, ხოლო პირველი რუსული ალმასი 1829 წ. იპოვა 14 წლის ყმა ბიჭმა პავლიკ პოპოვმა.

სხვადასხვა სამკაულის დასამზადებელი ქვის — მალაქიტის დიდი მარაგი პირველად ურალზე იპოვეს გლეხებმა, რომლებიც ჭას თხრიდნენ.

ლამაზი, ხასხასა მწვანე ფერის ძვირფასი ქვის — ზურმუხტის საბადო 1830 წ. აღმოაჩინა ურალზე ფისისმხდელმა მაქსიმ კოჟევნიკოვმა, როცა ტყეში კუნძებს თხრიდა. ამ საბადოდან 20 წლის განმავლობაში 142 ფუთი ზურმუხტი ამოიღეს.

ვერცხლისწყლის ერთ-ერთი საბადო (ნიკიტოვის საბადო უკრაინაში) შემთხვევით აღმოაჩინა სტუდენტმა, რომელმაც სახლის თიხატკეპნილ კედელში თვალი მოჰკრა ვერცხლისწყლის ღია წითელი ფერის მინერალს — სინგურს. იმ ადგილზე, საიდანაც მშენებლობისათვის საჭირო მასალა მოჰქონდათ, ვერცხლისწყლის დიდ საბადოს მიაკვლიეს.

საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის ჩრდილოეთი რაიონების განვითარებას ხელს უშლიდა მძლავრი ენერგეტიკული ბაზის უქონლობა. ქვანახშირი, რომელიც ასე აუცილებელი იყო ჩრდილოეთის სამრეწველო საწარმოებისა და ქალაქებისათვის, ან შორეული სამხრეთიდან უნდა ეზიდათ ათასობით კილომეტრის მანძილზე, ანდა სხვა ქვეყნებში უნდა შეეძინათ.

ამავე დროს XIX საუკუნის ზოგიერთი მოგზაურის ჩანაწერებში აღნიშნული იყო, რომ სადღაც, რუსეთის ჩრდილოეთ მხარეში, აღმოაჩინეს ქვანახშირი. ამ ცნობების ჭეშმარიტება, ცოტა არ იყოს, ეჭვს იწვევდა. მაგრამ აი, 1921 წ. ძველმა მონადირემ ვ. პოპოვმა მოსკოვში გამოგზავნა „შავი ქვის ნიმუშები“. ეს საწვავი ქვები მას თავის შვილიშვილთან ერთად სოფ. უსტ-ვორკუტის მახლობლად მოეგროვებინა. ქვანახშირი კარგი ხარისხისა გამოდგა. ვორკუტაში მაშინვე გაგზავნეს გეოლოგიური ექსპედიცია, რომელმაც პოპოვის დახმარებით აღმოაჩინა ვორკუტის ქვანახშირის დიდი საბადო. შემდეგში გამოირკვა, რომ ეს საბადო საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის პეჩორის ქვანახშირის უდიდესი საბადოს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი უბანი ყოფილა.

მდ. ვორკუტის აუზში მალე გაშენდა მაღაროელთა ქალაქი, გაიყვანეს რკინიგზა. ამჟამად ქალაქი ვორკუტა ევროპული ჩრდილოეთის ქვანახშირის მრეწველობის ცენტრია. ვორკუტის ქვანახშირის ბაზაზე ვითარდება საბჭოთა კავშირის ჩრდილოეთისა და ჩრდილო-დასავლეთის მეტალურგია და ქიმიური მრეწველობა. ქვანახშირით უზრუნველყოფილია აგრეთვე საზღვაო და სამდინარო ფლოტი. ასე იქცა მონადირის აღმოჩენა ახალი სამთო-სამრეწველო ცენტრის შექმნის მიზეზად, რომელმაც გადაჭრა ენერგეტიკული პრობლემა საბჭოთა კავშირის უზარმაზარი ოლქისათვის.

არა ნაკლებ საინტერესოა, როგორ აღმოაჩინა მაგნიტური რკინის მადანი მ. სურგუტანოვმა. სურგუტანოვი ემსახურებოდა საბჭოთა მეურნეობებსა და სხვადასხვა ექსპედიციებს ურალის აღმოსავლეთით, კუსტანაის სტეპში. მას მსუბუქი თვითმფრინავით გადაჰყავდა ხალხი და გადაჰქონდა სხვადასხვა სახის ტვირთი. ერთ-ერთი რეისის დროს მფრინავმა შენიშნა, რომ კომპასი არასწორად აჩვენებდა მიმართულებას, მაგნიტურმა ისარმა „ცეკვა“ დაიწყო. სურგუტანოვმა იფიქრა, რომ ეს მაგნიტურ ანომალიასთან იყო დაკავშირებული. როცა თავის საქმეს მორჩა, მფრინავი ბიბლიოთეკაში მივიდა და გამოარკვია, რომ მსგავსი ანომალიები ისეთ რაიონებში წარმოიქმნება, სადაც მაგნიტური რკინის დიდი საბადოები არსებობს. შემდგომი რეისების დროს, ანომალიის რაიონზე ფრენისას, სურგუტანოვი რუკაზე ნიშნავდა ადგილებს, სადაც კომპასის ისარი მაქსიმალურად იხრებოდა და ამის შემდეგ თავისი დაკვირვებების შესახებ ადგილობრივ გეოლოგიურ სამმართველოს აცნობა. საბურღი მოწყობილობებით აღჭურვილმა გეოლოგიურმა ექსპედიციამ გაჭრა ჭაბურღილი და რამდენიმე ათეული

მეტრის სიღრმეზე აღმოაჩინა სოკოლოვსკის საბადოს რკინის მადნის უმდიდრესი მარაგი. ამის შემდეგ აღმოაჩინეს მეორე — სარბაისკის საბადო. ამ საბადოების მარაგი გამოანგარიშების მიხედვით ასობით მილიონ ტონა ხარისხოვანი მაგნიტური რკინის მადანს უდრის. ამჟამად ამ რაიონში შექმნილია ჩვენს ქვეყანაში ერთ-ერთი უდიდესი სამთოგამამდიდრებელი კომბინატი, რომელიც წლის განმავლობაში რამდენიმე მილიონ ტონა რკინის მადანს იძლევა. კომბინატის მახლობლად გაშენდა მემაღაროეთა ქალაქი რუდნი. მფრინავ სურგუტანოვის დამსახურება დააფასეს და მას ლენინური პრემიის ლაურეატის წოდება მიენიჭა.

საბადოების ძიება და აღმოჩენა უმეტეს შემთხვევებში მოითხოვს სერიოზულ გეოლოგიურ განათლებას და საგანგებო დამხმარე სამუშაოებს, რომლებიც ხანდახან ძალზე რთულია და ძვირი ჯდება. მაგრამ რიგ შემთხვევებში მადანი ჩანს მთების ზედაპირზე, მდინარეთა ხეობების ფერდობებზე, მდინარის კალაპოტში და სხვ. ასეთი საბადოები აღმოაჩინეს და შემდეგაც შეიძლება აღმოაჩინონ არასპეციალისტებმა.

უკანასკნელ წლებში ჩვენი მოსწავლეები სულ უფრო მეტად მონაწილეობენ მშობლიური მხარის სასარგებლო ნამარხთა შესწავლაში. არდადეგების დროს უფროსი კლასების მოსწავლეები ტურისტულ მოგზაურობებს აწყობენ, აგროვებენ მინერალებისა და ქანების ნიმუშებს, აღწერენ პირობებს, რომლებშიც ეს ნიმუშები იპოვეს, და რუკაზე დააქვთ ადგილები, საიდანაც ნიმუშებს იღებენ. მოგზაურობის დამთავრების შემდეგ მოსწავლეები გამოცდილი ხელმძღვანელის დახმარებით აზუსტებენ შეგროვილი ქანებისა და მინერალების პრაქტიკულ ღირებულებას. თუკი რომელიმე მათგანი სახალხო მეურნეობისათვის საჭირო აღმოჩნდება, მაშინ ამ ნიმუშის პოვნის ადგილზე მიდიან სპეციალისტი-გეოლოგები, რათა შეამოწმონ და შეაფასონ აღმოჩენილი საბადო. ასე აღმოაჩინეს სამშენებლო მასალების, ფოსფორიტების, ქვანახშირის, ტორფისა და სხვა სასარგებლო ნამარხების მრავალრიცხოვანი საბადო.

ნორჩი გეოლოგებისა და სხვა მოყვარულ-მაძიებელთა დასახმარებლად საბჭოთა კავშირში გამოცემულია პოპულარული გეოლოგიური წიგნების სერია.

ამგვარად, საბადოების ძიება ხელმისაწვდომია ყოველი დაკვირვებული ადამიანისათვის, რომელსაც სპეციალური განათლება არა აქვს. რაც უფრო მეტი ადამიანი ჰკიდებს ამ საქმეს ხელს, უფრო მეტი იმედია იმისა, რომ აღმოჩენილი იქნება სასარგებლო ნამარხების ახალ-ახალი საბადოები, რაც ასე სჭირდება საბჭოთა კავშირის სახალხო მეურნეობას.

მაგრამ მარტო მოყვარულ-მაძიებელთა იმედზე ყოფნა, რა თქმა უნდა, არ შეიძლება. ჩვენს ქვეყანაში, რომელსაც გეგმიანი მეურნეობა აქვს, საჭიროა შეუცდომელი ძიება. სწორედ ასე მუშაობენ გეოლოგები, რომლებმაც იციან სად, როდის და რა ეძებონ.

მეცნიერულად დასაბუთებული ძიება

ვიდრე სასარგებლო ნამარხების ძებნას შევუდგებოდეთ, საჭიროა ვიცოდეთ ის პირობები, რომლებშიც ესა თუ ის საბადო წარმოიშვება.

საბადოების დიდი ჯგუფი წარმოშობილია დედამიწის შინაგანი ენერგიის ხარჯზე, დედამიწის ქერქში ცეცხლოვან-თხევადი მასის — მაგმის შეჭრის პროცესში. გეოლოგიურმა მეცნიერებამ დაადგინა ზუსტი დამოკიდებულება, რომელიც არსებობს შეჭრილი მაგმისა და მადნის სხეულების ქიმიურ თვისებებს შორის. მაგალითად, მოშავო-მწვანე ამონთხეულ ქანებთან (დუნიტებთან, პერიდოტიტებთან და სხვ.) დაკავშირებულია პლატინის, ქრომის, ალმასის, ასბესტის, ნიკელისა და სხვ. საბადოები, ღია ფერის, კვარცით მდიდარ ქანებთან (გრანიტებთან, გრანოდიორიტებთან) კი — ქარსის, მთის ბროლის, ტოპაზის და სხვათა საბადოები.

ბევრი საბადო, განსაკუთრებით კი ფერადი და იშვიათი მეტალებისა, წარმოიშვა გაზებისა და წყალხსნარებისაგან, რომლებიც გაცივების დროს მაგმური ნადნობის დონეზე გამოიყოფოდა. ეს გაზები და ხსნარები შედიოდნენ დედამიწის ქერქის ბზარებში და იქ ლინზისმაგვარი სხეულების ან ფილის მაგვარი ძარღვების სახით ლექავდნენ თავიანთ ძვირფას ტვირთს. სწორედ ამ გზითაა წარმოშობილი ოქროს, ვოლფრამის, კალის, ვერცხლისწყლის, სურმის, ბისმუტის, მოლიბდენისა და სხვა მეტალების საბადოთა უმეტესობა. ამას გარდა, დადგენი-



მაგარი ქანები უსწორმასწოროდაა აზიდული უფრო რბილ, დაშლილ ქანებს შორის.

ლია, რომელ ქანებში ილექებოდა ხსნარებიდან ესა თუ ის მადანი. მაგალითად, ტყვია-თუთიის მადანი უფრო ხშირად კირქვებში გვხვდება, კალავოლფრამისა კი — გრანიტოიდებში.

დედამიწაზე გავრცელებულია დანალექი საბადოები, რომლებიც გასულ საუკუნეებშია წარმოშობილი წყალსატევების — ოკეანეების, ზღვების, ტბებისა და მდინარეების ფსკერზე სხვადასხვა მინერალური ნივთიერების დალექვის შედეგად. ამ გზითაა შექმნილი რკინის, მარგანეცის, ბოქსიტების (ალუმინის მადნის), ქვამარილისა და კალიუმის მარილის, ფოსფორიტების, ცარცისა და თვითნაბადი გოგირდის ბევრი საბადო (იხ. გვ. 30).

იმ ადგილებში, სადაც უძველესი ზღვების, ყურეების, ტბებისა და ჭაობების სანაპიროები იყო და სადაც უხვად ილექებოდა მცენარეული ნარჩენი, წარმოიშვა ტორფის, მურა ნახშირისა და ქვანახშირის საბადოები.

დანალექი მადნური საბადოები მათი შემცველი დანალექი ქანების შრეთა პარალელურადაა განლაგებული.

სასარგებლო ნამარხები განუწყვეტლივ არ გროვდებოდა. მათი თავმოყრა პერიოდულად მიმდინარეობდა. მაგალითად, გოგირდის ცნობილ საბადოთა დიდი ნაწილი დედამიწის ისტორიის პერმულსა და ნეოგენურ პერიოდებშია წარმოქმნილი. ჩვენი ქვეყნის ფოსფორიტები კამბრიულ და ცარცულ პერიოდებშია დალექილი, ხოლო საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის უდიდესი ქვანახშირის საბადოები — ქვანახშირის პერიოდში.

ბოლოს, გამოფიტვის შედეგად, დედამიწის ზედაპირზეც შეიძლება (იხ. გვ. 77) წარმოიშვას თიხის, კაოლინის, სილიკატური ნიკელის მადნის, ბოქსიტების და სხვათა საბადოები.

გეოლოგმა, რომელიც საძიებო ექსპედიციაში მიდის, უნდა იცოდეს, რომელი ქანებისაგან შედგება ძიებისათვის გათვალისწინებული რაიონი და რომელი საბადოების აღმოჩენაა იქ ყველაზე მეტად მოსალოდნელი. მან უნდა იცოდეს აგრეთვე, როგორაა განლაგებული დანალექი ქანები, რომელ მხარეს მიიმართება შრეები, როგორია მათი დახრილობა, ე. ი. რომელ მხარეს ჩადიან ისინი დედამიწის სიღრმეში. ეს განსაკუთრებითაა მხედველობაში მისაღები ისეთი სასარგებლო ნამარხების ძებნისას, რომლებიც ზღვებისა და ყურეების ფსკერზე ქანების პარალელურად ილექებოდა. ასეა განლაგებული, მაგალითად, ქვანახშირის, რკინის, მარგანეცის, ბოქსიტების (ალუმინის მადნის), ქვამარილის და ზოგი სხვა სასარგებლო ნამარხის შრეები.

ქანების შრეები გვხვდება როგორც ჰორიზონტალური, აგრეთვე დანაოჭებულიც. დანაოჭების ადგილებში ხშირად დიდი რაოდენობის მადანი გროვდება. ხოლო თუ ნაოჭები დიდრონი თაღების მოყვანილობისაა, იქ შეიძლება ნავთობის საბადოებიც აღმოჩნდეს.

გეოლოგები ცდილობენ ქანებში მცენარეთა და ცხოველთა განამარხებული ნაშთები იპოვონ, რათა დაადგინონ ამ ქანების წარმოშობის გეოლოგიური პერიოდი, რაც უფრო აადვილებს სასარგებლო ნამარხების ძებნას. ქანების შემადგენლობისა და მათი განლაგების გარდა, საჭიროა საძიებო ნიშნე-

ბის ცოდნაც. მაგალითად, დიდი მნიშვნელობა აქვს სულ მცირე რაოდენობის მადნის მინერალების პოვნას. ისინი ხშირად საბადოს მახლობლად გვხვდებიან და შეუძლიათ გვიკარნახონ, სად უნდა ვეძიოთ უფრო მეტი გულმოდგინებით ესა თუ ის მადანი. ხშირად მადნის საბადოს მახლობლად გვხვდება წვრილი სხეულები (ძარღვები), რომლებსაც წარმოქმნის არამადნური მინერალები: კვარცი და კალციტი. ხანდახან ერთი სახის ვინერალი გვეხმარება მეორე, უფრო ძვირფასი მინერალის მოძებნაში. მაგალითად, იაკუტიაში ალმასების საბადოს მისი თანამგზავრის, ღია წითელი ფერის მინერალის—პიროპის მეშვეობით ეძებდნენ.

მადნის საბადოების მახლობლად ქანებს ხშირად ფერი ეცვლება. ეს ხდება ქანებზე მიწის წიაღიდან ამომავალი ცხელი მინერალური ხსნარების გავლენით. ხსნარები შედიან ნაპრალებში და ცვლიან ქანებს: ზოგ მინერალს ხსნიან, ზოგს კი ლექავენ. მადნის ირგვლივ წარმოშობილი შეცვლილი ქანების ზონები დიდ მანძილზეა გაჭიმული და შორიდანაც კარგად მოჩანს. მაგალითად, ჩვეულებრივ ვარდისფერ ან ნაცრისფერ გრანიტში მკვეთრად გამოირჩევა სახეშეცვლილი მუსკოვიტიანი გრანიტი. ბევრი მადნური სხეული გამოფიტვის შედეგად ისეთ ფერს ღებულობს, რომელიც ადამიანს უცებ ეცემა თვალში. ამის კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს რკინის, სპილენძის, ტყვიის, თუთიისა და დარიშხანის სულფიდური მადანი, რომელიც გამოფიტვისას ღია ყვითელი, წითელი, მწვანე და ლურჯი ფერისა ხდება.

ბევრის თქმა შეუძლია მაძიებელი გეოლოგისათვის რელიეფის მოყვანილობასაც. სხვადასხვა ქანსა და სასარგებლო ნამარხს სხვადასხვანაირი სიმაგრე აქვს. ქვანახშირი ადვილად იმტვრევა, გრანიტი კი — ძალზე ძნელად. ზოგი ქანი ადვილად იშლება მზის, ქარისა და სინოტივის გავლენით და ნაშალი მთებიდან ძირს ჩამოდის. სხვები, უფრო მაგარი ქანები, შედარებით ნელა იშლება და უსწორმასწოროდაა აზიდული რბილი ქანების ნაშალს შორის, რაც შორიდანაც კარგად მოჩანს.

ბუნებაში არსებობს ისეთი მადნები, რომლებიც ქანებზე უფრო მალე იშლება და რომელთა ადგილზე რჩება თხრილების ან ორმოების მსგავსი ღრმულები. გეოლოგი ყოველთვის ამოწმებს ასეთ ადგილებს და მადანსაც იქ ეძებს.



ასეთი თხრილები გაყავთ იმის გასაგებად, თუ რა ქანებია ჩამალული ნიადაგის ქვეშ.

მეტისმეტი ყურადღებით ეკიდებიან მადნის მაძიებლები უძველეს გამონამუშევრებს, რომლებიდანაც ჩვენი წინაპრები იღებდნენ მადანს რამდენიმე საუკუნის წინ. ამ ადგილებში ისეთ სიღრმეზე, სადაც უძველეს მაღაროელებს არ შეეძლოთ ჩაღწევა, ან ახლომახლო მიდამოებში შესაძლებელია მადნის საბადო იყოს.

ხანდახან მადნის არსებობაზე სოფლების, ხევების, მდინარეებისა და მთების ძველი სახელები მიგვითითებენ. მაგალითად, შუა აზიაში ბევრი მთის, ხევისა და უღელტეხილის სახელში შედის სიტყვა „კან“, რაც მადანს ნიშნავს. თურმე უძველეს დროში აქ მადანს ამუშავებდნენ და ეს სიტყვაც ადგილის სახელწოდებაში შევიდა. გაიგებდნენ თუ არა გეოლოგები, რომ ამა თუ იმ რაიონში არის ხევი ან

მთა, რომლის სახელწოდებაშიც შედის სიტყვა „კან“, მაშინვე მადნის ძებნას იწყებდნენ და ხანდახან პოულობდნენ კიდეც საბადოს. საკასიაში არის მთა თემირთაუ, რაც „რკინის მთას“ ნიშნავს. ეს სახელი მას დაჟანგული რკინის მადნის მურა ნადენების გამო შეერქვა.

რკინა ამ მთაში მაინცადამაინც დიდი რაოდენობით არ აღმოჩნდა, მაგრამ სამაგიეროდ უფრო ძვირფას მადანს — სპილენძს მიაგნეს.

როცა გეოლოგი რომელიმე რაიონში საბადოს ეძებს, იგი ყურადღებით აკვირდება წყლის ნაკადულებსაც. არკვევს, ხომ არ შეიცავს ნაკადულები გახსნილ მინერალურ ნივთიერებებს. ხანდახან სულ პატარა ნაკადულსაც კი მეტად მნიშვნელოვანი ცნობების მოცემა შეუძლია. მაგალითად, ტუვის ასსრ-ში არის წყარო, სადაც შორიდან ჩამოდიან ავადმყოფები. მისი წყალი მინერალური შემადგენლობისა გამოდგა. მის ირგვლივ მიდამო რკინის მურა ჟანგითაა დაფარული. ზამთარში წყაროს წყალს მურა ყინული გადაეკვრება ხოლმე. გეოლოგებმა დაამტკიცეს, რომ იმ ადგილას მიწისქვეშა წყალი მადნის ნაპრალებში ამოდის და თან ამოაქვს რკინის, სპილენძისა და სხვა ელემენტების ქიმიური ნაერთების ხსნარი. წყარო ძნელად მისადგომ, მთიან რაიონში მდებარეობს და გეოლოგებმა დიდი ხნის მანძილზე არაფერი იცოდნენ მის შესახებ.

ჩვენ მოკლედ განვიხილეთ, რა უნდა იცოდეს და რას უნდა მიაქციოს ყურადღება მაძიებელმა-გეოლოგმა თავის გზაზე. გეოლოგებს მოაქვთ ქანებისა და მადნის ნიმუშები, რომ შემდგომში მიკროსკოპისა და ქიმიური ანალიზის საშუალებით კიდევ უფრო დააზუსტონ მათი სახე.

რისთვისაა საჭირო გეოლოგიური რუკა და როგორ ადგენენ მას

გეოლოგიურ რუკებზე აღნიშნულია, რომელი და რა ასაკის ქანებია ამა თუ იმ ადგილზე, რა მიმართულებითაა ისინი გაჭიმული და რა მიმართულებით ჩადიან დედამიწის სიღრმეში. რუკაზე ჩანს, რომ ზოგი ქანი მაინცდამაინც არ არის გავრცელებული, ზოგი კი ათობით და ასობით კილომეტრზე მიემართება. მაგალითად, როცა კავკასიონის რუკას ადგენდნენ, გამოირკვა, რომ ქედის მთელ გაყოლებაზე გრანიტები იყო გაჭიმული. გრანიტი ბევრია აგრეთვე ურალზე, ტიან-შანში და სხვა მთიან რაიონებში. რაზე მიუთითებს გეოლოგს ეს ქანები?

ჩვენ უკვე ვიცით, რომ გრანიტსა და მის მსგავს მაგმურ ქანებში არის ქარსის, მთის ბროლის, ტყვიის, სპილენძის, თუთიის, კალის, ვოლფრამის, ოქროს, ვერცხლის, დარიშხანის, სურმისა და ვერცხლისწყლის საბადოები, ხოლო მუქი ფერის ნაგმურ ქანებში — დუნიტებში, გაბროში და პერიდოტიტებში — თავმოყრილია ქრომი, ნიკელი, პლატინა და ასბესტი.

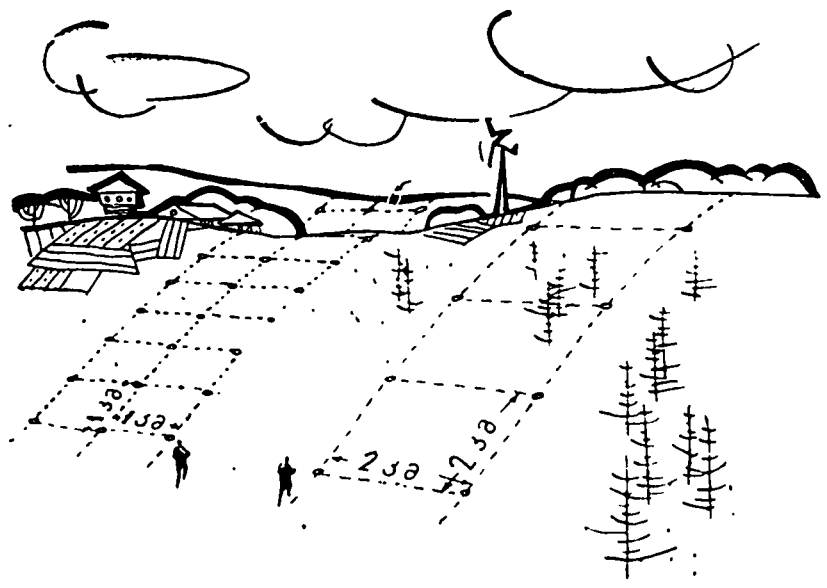
როცა ვიცით, რომელ ქანებთანაა დაკავშირებული გარკვეული სასარგებლო ნამარხები, შეგვიძლია დასაბუთებულად დავგეგმოთ მათი ძიებაც. გეოლოგებმა, რომლებიც გეოლოგიურ რუკას ადგენდნენ, დააზუსტეს, რომ იაკუტიაში ისეთივე ქანები გვხვდება, როგორიც სამხრეთ აფრიკაში. ამიტომ წიაღის მზვერავებმა დაასკვნეს, რომ იაკუტიაში მოსალოდნელია ალმასის საბადოების არსებობა.

გეოლოგიური რუკის შედგენა დიდი და რთული სამუშაოა, რაც ჩვენში ძირითადად საბჭოთა ხელისუფლების წლებში განხორციელდა.

იმისათვის, რომ საბჭოთა კავშირის გეოლოგიური რუკა შეედგინათ, გეოლოგებმა ერთიმეორის მიყოლებით დაწვრილებით შეისწავლეს ყველა რაიონი. გეოლოგიური პარტიები მიდიოდნენ მდინარეების, მათი შენაკადებისა და მთების ხეობებში, ადიოდნენ კლდეების ციცაბო ფერდობებზე.

შესადგენი რუკის მასშტაბის მიხედვით დგება მარშრუტებიც. როცა 1 : 200000 მასშტაბის რუკას ადგენენ, გეოლოგების მარშრუტები 2 კმ-ითაა ერთმანეთისაგან დაშორებული. გეოლოგიური გადაღების პროცესში გეოლოგი აგროვებს ქანების ნიმუშებს და საგანგებო სამარშრუტო რვეულში ინიშნავს. რა და რა ქანები შეხვდა, საით მიემართებიან ისინი და რომელ მხარეს ვრცელდებიან მიწაში, აღწერს ნაოჭებს. ამგვარად, როგორც სურათზეა ნაჩვენები, გეოლოგი საკვლევ რაიონს თითქოს კვადრატებად ყოფს, რომლებიც სამარშრუტო ბადეს ქმნიან.

ხშირად ქანები მოქცეულია ხშირი ბალახის, გაუვალი ტაიგის, ჭაობის ან ნიადაგის ფენის ქვეშ. ასეთ ადგილებში საჭიროა ნიადაგის ამოთხრა. თუ ნიადაგის, თიხის ან ქვიშის ფენა სქელია, მაშინ აკე-



გეოლოგიური აგეგმვის დროს საკვლევ რაიონს პირობითი ბადით ყოფენ, რომელზეც გეოლოგი თავის მარშრუტებს ავლებს.

თებენ ხვრელებს, ჭების მაგვარ შურფებს ანდა უფრო ღრმა გამონამუშევრებს — შახტებს. ასეთი სამუშაოს თავიდან ასაცილებლად გეოლოგს შეუძლია სწორხაზოვანი მარშრუტის ნაცვლად მდინარეებისა და ღელეების კალაპოტების გაყოლებით იაროს, სადაც ხშირია ქანების ბუნებრივი გაშიშვლებები, ანდა ქანები დედამიწის ზედაპირზეა გამოსული. ყველა ეს გამოსავალი გადააქვთ რუკაზე. და მაინც გეოლოგიურ რუკაზე, რომელიც 2 კმ დაცილებული მარშრუტებისგან შედგება, ყველაფერი არ იქნება აღნიშნული. მარშრუტები ხომ დიდი მანძილითაა ერთმანეთისაგან დაშორებული!

თუ უფრო დაწვრილებითაა საჭირო იმის გაგება, რომელი მადნებია მოცემულ რაიონში, მარშრუტებს ერთმანეთს უახლოებენ 1 კმ-მდე. თვითეული ასეთი მარშრუტის გავლისას გეოლოგი ჩერდება და იღებს ქანების ნიმუშს ყოველი 1 კმ შემდეგ. ამის შედეგად დგება უფრო დეტალური გეოლოგიური რუკა, რომლის მასშტაბია 1 : 100 000. როცა ყველა რაიონის გეოლოგიურ რუკებს მოუყარეს თავი და გააერთიანეს, შეიქმნა მთელი ჩვენი ქვეყნის დიდი გეოლოგიური რუკა. ამ რუკაზე ჩანს, მაგალითად, რომ გრანიტები და სხვა ამონთხეული ქანები გვხვდება კავკასიონის ქედებზე, ურალზე, ტიან-შანში, ალტაიში, აღმოსავლეთ ციმბირსა და სხვა რაიონებში. ამიტომ სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, მოლიბდენის, ვერცხლისწყლისა და სხვა ძვირფასი მეტალების საბადოებიც სწორედ ამ ადგილებში უნდა ვეძიოთ.

ურალის ქედიდან დასავლეთითა და აღმოსავლეთით, რუსეთის ველსა და დასავლეთ-ციმბირის დაბლობზე გავრცელებულია ისეთი დანალექი ქანები, რომლებიც შეიცავს ქვანახშირს, ნავთობს, რკინას, ბოქსიტებსა და სხვ.

იმ ადგილებში, სადაც უკვე აღმოჩენილია სასარგებლო ნამარხები, უფრო ფრთხილი ძიება მიმდინარეობს. გეოლოგები ისეთი მარშრუტებით დადიან, რომლებიც ერთმანეთისაგან 100, 50, 20 და 10 მ-ითაა დაშორებული. ამას დეტალური ძიება ეწოდება.

1 : 100 000, 1 : 50 000 და უფრო დიდი მასშტაბის თამამედროვე გეოლოგიურ რუკებზე დატანილია ყველა ქანი მათი გეოლოგიური ასაკის, დიდი ნაპრალებისა და დედამიწის ზედაპირზე მადნის გამოსავლების აღნიშვნით.

გეოლოგიური რუკა მაძიებლის ერთგული და საიმედო თანაშემწეა, რომლის გარეშეც ძალზე ძნელია საბადოს მოძებნა. გეოლოგიური რუკით აღჭურვილი გეოლოგი თამამად მიდის საძიებლად, რადგან იცის, სად და რა უნდა ეძებოს.

მეცნიერებმა ბევრი იფიქრეს, როგორ გაეადვილებინათ და დაეჩქარებინათ მადნის ძებნა და ამიტომ სხვადასხვა ხერხი და მეთოდი შეიმუშავეს დედამიწის წიაღის გამოსაკვლევად.

გუნება გვეხმარება საბადოების ძებნაში

წარმოვიდგინოთ, რომ გეოლოგები საძიებო სამუშაოებს აღმოსავლეთ ციმბირის უღრან ტაიგაში ასრულებენ, სადაც ქანები ნიადაგის ფენითა და ხშირი მცენარეულობითაა დაფარული. მხოლოდ აქა-იქ ბალახებს შორის თუ ჩანს ქანების პატარ-პატარა შვერილები. ბუნებამ თითქოს ყველაფერი გააკეთა იმისათვის, რომ ადამიანისაგან თავისი სიმდიდრე დაემალა. მაგრამ ცოტა შეცდა. სწორედ ბუნების ამ შეცდომით სარგებლობენ გეოლოგებიც.

ჩვენ ვიცით, რომ წვიმა, თოვლი, ქარი და მზე განუწყვეტლივ შლის ისეთ მაგარ ქანებსაც კი, როგორიცაა გრანიტი. საუკუნეების განმავლობაში მდინარეები გრანიტებში ღრმა ხეობებს ჭრიან.

ამ დამანგრეველი პროცესების შედეგად ქანებში წარმოიშვება ბზარები, ქანების ნამტვრევები ძირს მოგორავს, ზოგი მათგანი წყაროებსა და ღე-

ლეებში ვარდება და წყალს მდინარეებში გამოაქვს. მდინარეებში ეს ნამტვრევები თანდათან მრგვალდება, კენჭებად იქცევა და უფრო დიდ მდინარეებში გადადის. ქანებთან ერთად ირღვევა ქანში მოქცეული მადანიც. მადნის ნატეხებიც ცვივა მდინარეში და მის ფსკერზე კარგა დიდ მანძილზე გადაინაცვლებს. ამიტომაც გეოლოგი მადნის ძიებისას დიდი ყურადღებით ათვალიერებს მდინარის ფსკერიდან ამოღებულ კენჭებს. გარდა ამისა, მდინარის კალაპოტიდან იღებს ფხვიერი ქანის სინჯს და პატარა აბაზანის მსგავს ჭურჭელში მანამდე რეცხავს, სანამ ყველა მსუბუქი მინერალი წყალს არ გაჰყვება და ჭურჭლის ფსკერზე ყველაზე მძიმე მინერალების მარცვლები არ დარჩება. მათ შორის შეიძლება იყოს ოქრო, პლატინა, კალის, ვოლფრამისა და სხვა ელემენტების მინერალები. ამ სამუშაოს ეწოდება შლიხის რეცხვა. როცა გეოლოგი თანდათან მდინარის სათავისაკენ მიიწევს და გზადაგზა შლიხს რეცხავს, ბოლოს და ბოლოს შესაძლებლობა ეძლევა დაადგინოს, საიდანაა გამოტანილი ძვირფასი მინერალები და სადაა მადნის ადგილსამყოფელი.

ძიების შლიხური მეთოდი იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როცა სასარგებლო ნამარხი ქიმიურად გამძლე და მტკიცეა და მდინარეების ფსკერზე ხანგრძლივი გორების შედეგადაც არ იფშვნება. მაგრამ რა უნდა მოვუხერხოთ ისეთ მინერალს, რომელიც მოხვდება თუ არა მთის მდინარეში, მაშინვე ფხვნილად იქცევა? ხანგრძლივ მოგზაურობას, ისე როგორც ოქრო, სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, ვერცხლისწყლისა და სურმის მინერალები ვერ უძლებენ. ისინი არათუ ფხვნილად იქცევიან, ნაწილობრივ იჟანგებიან კიდეც და წყალში იხსნებიან. გასაგებია, რომ ამ შემთხვევაში გეოლოგს უნდა დაეხმაროს არა შლიხური, არამედ ძიების სხვა ხერხი.

ქიმია და გეოლოგია

წვიმისა და თოვლის დნობის შემდეგ წყლის ნაწილი ბზარების საშუალებით დედამიწის სიღრმეში აღწევს. ნიადაგის ქვეშ მოქცეულ ძალიან მაგარ ქანებსაც კი აქვს ერთმანეთთან შეერთებული სხვადასხვა მიმართულების წვრილ-წვრილი ნაპრალები. ამ ნაპრალებში წყალი ჟონავს და მოძრაობს დედამიწის ქვეშ დადაბლებულ ადგილებში, სადაც ხშირად წყაროების სახით გადმოდის. ეს წყალი ყოველთვის ისეთი სუფთა არ არის, როგორც ერთი შეხედვით ჩანს. მადნის ნაპრალებში გავლისას წყალი ნაწილობრივ ხსნის სპილენძის, თუთიის, ნიკელის, მოლიბდენისა და სხვა მეტალების ქიმიურ ნაერთებს და ზედაპირზე გამოაქვს ისინი. ასეთი წყაროს წყალი რომ მოვაგროვოთ და მასში გახსნილი ნივთიერებების ქიმიური ანალიზი გავაკეთოთ, შეიძლება დავადგინოთ მეტალების არსებობა და მათი კონცენტრაცია. სხვადასხვა წყაროებიდან აღებული წყლის გამოკვლევის საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომელი მათგანი შეიცავს უფრო მეტი რაოდენობის მეტალს. მაშასადამე, ასეთი წყარო სასარგებლო ნამარხის საბადოსთან ყველაზე ახლოს იქნება.

ქიმია ეხმარება გეოლოგს მინერალების გამოკვლევაში. ვთქვათ, გეოლოგმა იპოვა ფხვიერი ქანის ნამტვრევი, რომელშიც წითელი ფხვნილი მოჩანს. რა უნდა იყოს ეს? ვერცხლისწყლის მინერალი — სინგური თუ რკინის ჟანგი? მათ ხომ ერთნაირი ფერი შეიძლება ჰქონდეთ. თვალდათვალ განსაზღვრისას შესაძლოა შევცდეთ, ამიტომ უნდა მივმართოთ ქიმიურ ანალიზს, რომელიც სწორად გვიპასუხებს. მაგალითად, ამერიკაში ქარსის ერთ-ერთი საბადოს დამუშავებისას თეთრი ფერის ქანს, რომელიც თეთრ კვარცს წააგავდა, დიდი ხნის განმავლობაში ყრიდნენ. როცა ამ „უსარგებლო“ ნივთიერების ანალიზი გააკეთეს, აღმოჩნდა, რომ იგი ერთ-ერთი ძვირფასი მინერალი ბერილი იყო.

ქიმიური ანალიზის შემწეობით ადგენენ აგრეთვე საბადოში სასარგებლო ელემენტის კონცენტრაციასაც. როცა ცნობილია მადნის ბუდობის მოცულობა და ისიც, თუ რა რაოდენობით შეიცავს იგი მეტალს, ქიმიური ანალიზის საშუალებით ადგენენ საბადოს მთელი მარაგის რაოდენობას.

ქიმია მაშინაც შველის ადამიანს, როცა ჰგონიათ, რომ საბადოს ძებნა, საერთოდ, შეუძლებელია. წარმოიდგინეთ ყაზახეთის ველები, სადაც წყალი არ არის, ზედაპირზე მადანი არსად ჩანს და ირგვლივ მხოლოდ მზეზე გავარვარებული გრანიტი და სხვა ქანებია. აქ გეოლოგები პარალელური მარშრუტებით დადიან და ყოველი 50, 100 და 200 მ შემდეგ ქანების ნამტვრევებს აგროვებენ. როცა საკმაოდ მოაგროვებენ ნიმუშებს, აკეთებენ მათ ქიმიურ, უფრო ხშირად კი შედარებით სწრაფ, მაგრამ ნაკლებად ზუსტ სპექტრულ ანალიზს. სპექტ-

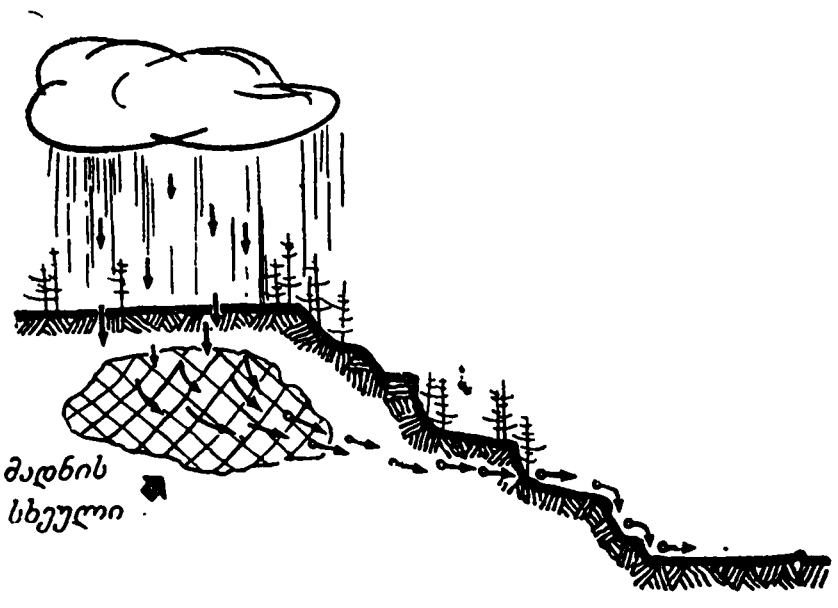
რული ანალიზის ჩასატარებლად საკვლევ მინერალს ფხვნილად აქცევენ და წვავენ განსაკუთრებული ხელსაწყოს — სპექტროგრაფის ვოლტის რკალში. ვოლტის რკალში წარმოშობილი ალის სინათლე მინის პრიზმაში გადის და იშლება — წარმოქმნის სპექტრს. ამის შემდეგ სინათლის სხივები მინის ფირფიტაზე ეცემა, სადაც მათ ფოტოსურათს იღებენ. იმის მიხედვით, თუ რომელ ადგილზე წარმოიშვება ფირფიტაზე სპექტრის ხაზები და როგორი იქნება მათი სიგანე, ადგენენ, რომელ ელემენტს შეიცავს სასინჯი ნიმუში და რა რაოდენობით.

ასე არკვევენ, ქანის რომელი ნაწილი შეიცავს ყველაზე მეტ მეტალს.

უბრალო თვალით და ხანდახან ისეთი მიკროსკოპითაც, რომელიც რამდენიმე ათეულჯერ ადიდებს საგნებს, მადნის ნაწილები არ ჩანს, რადგან მათი რაოდენობა ძალზე მცირეა, ჩვეულებრივ, პროცენტის მეათასედ ნაწილებს შეადგენს. მადნის ასეთი მცირე რაოდენობის დადგენა კი მხოლოდ ანალიზის საშუალებით შეიძლება.

მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ მადნის ირგვლივ მდებარე ქანებში გაფანტულია მადნის ნივთიერება, რომლის რაოდენობაც საბადოსგან დაშორების შესაბამისად მცირდება. მადნის ნივთიერების გაფანტულობა ნაჩვენებია 73 გვერდზე მოთავსებულ სურათზე, სადაც მადნის ნაწილაკები წერტილებითაა აღნიშნული. ეს წერტილები ისეა მიჯრილი მადანთან, როგორც ფუტკრები სკასთან; რაც უფრო ვუახლოვდებით სკას, მით მეტია ფუტკრის რაოდენობაც.

ვთქვათ, ანალიზის დახმარებით დადგინდა, რომ ქანში მეტალი ყველგან 0,001%, ხოლო ერთ რომელიღაც უბანზე 0,002%. ამის საფუძველზე მადანი სწორედ იქ უნდა ვეძიოთ, სადაც მისი მაჩვენებელი მეტია.



წყალი ნაპრალების საშუალებით ჩადის მადნის სხეულში და იქიდან ზედაპირზე გამოაქვს მეტალის გახსნილი ქიმიური ნაერთები.

გეოლოგებს მცენარეები და ცხოველებიც ეხმარებიან

ბევრი ბალახეულისა და განსაკუთრებით ხის ფესვები ღრმად ჩადიან ნიადაგში და იქიდან იწოვენ წყალს, რომელშიც მადნის მინერალებია გახსნილი. ამიტომაც გეოლოგები აგროვებენ ბალახს, ფოთლებს, ხის ქერქს, აშრობენ მათ და შემდეგ წვავენ. დაწვის შედეგად რჩება მცირე რაოდენობის ნაცარი, რომელიც მინერალურ ნივთიერებებს შეიცავს. ქიმიური და სხვა ანალიზების მეშვეობით არკვევენ, რა ნივთიერებებს შეიცავს ნაცარი და რა რაოდენობით. როცა ყველა ანალიზი ჩატარდება (ანალიზები კი ძალზე ბევრია საჭირო), ირკვევა, რომელი ადგილებიდან ღებულობენ მცენარეები წყალთან ერთად ბევრ მინერალურ ნივთიერებას და სად უნდა ვეძებოთ ნიადაგის შრის ქვეშ მადანი.

გარდა ამისა, ზოგიერთი მცენარე მხოლოდ გარკვეული ელემენტების შემცველ ნიადაგს ირჩევს. მაგალითად, ალტაისა და ყაზახეთში იზრდება განსაკუთრებული სახის მცენარე — პატრეცის წინწკალა, რომელიც თურმე მხოლოდ სპილენძით მდიდარ ნიადაგზე ხარობს. ამიტომ წინწკალას რაყაც ნიადაგის ქვეშ სპილენძის გამადნებაზე მიგვითითებს. თუთიით მდიდარ ნიადაგს „თუთიის“ იები ახასიათებს. ასეთი მეტალის მოყვარული მცენარეები საკმაოდ ბევრია.

ორი სახის გლერძი (ბალახები და ბუჩქნარი პარკოსანთა ოჯახიდან) და ერთი სახის თათაბო ურანის შემცველ ნიადაგზე ხარობს.

არის საწინააღმდეგო მოვლენებიც, როცა საბადოზე მცენარეთა გარკვეული სახეები არ ხარობენ, თუმცა იმ რაიონში კი არიან გავრცელებული. მაგალითად, იმიერვოლგის მიდამოებში გოგირდის საბადოებზე მუხა არ იზრდება. ტრანსვაალში (სამხრეთ აფრიკა) პლატინის შემცველ პერიდოტიტებზე (მოშავო-მწვანე მაგმურ ქანებზე) მცენარეები

ან სულ არ არის, ანდა მხოლოდ მათი ჩია, როგორც ბოტანიკოსები ამბობენ, დაჩაგრული ინდივიდები გვხვდება.

მცენარეების მსგავსად ხანდახან ცხოველებიც ეხმარებიან ადამიანს მადნის ძიებაში. მაგალითად, იაკუტიის ალმასების პირველი საბადოები მელიის „დახმარებით“ იპოვეს. თავისი სოროს თხრის დროს მას მიწასთან ერთად წვრილ-წვრილი ქვები და მათ შორის ღია წითელი ფერის მინერალი პიროპი ამოჰქონდა, რომელიც ალმასთან ერთად წარმოიშვება. როცა ეს მინერალი იპოვეს, გეოლოგებმა ძებნა გააგრძელეს და მიაგნეს კიდეც იქვე მახლობლად ალმასის საბადოს.

ნიადაგის ფენით დაფარულ ადგილებში გეოლოგები ათვალიერებენ ქვებს, რომლებსაც თრიები, მელიები და სხვა ცხოველები თავიანთი სოროებიდან ამოისვრიან ხოლმე.

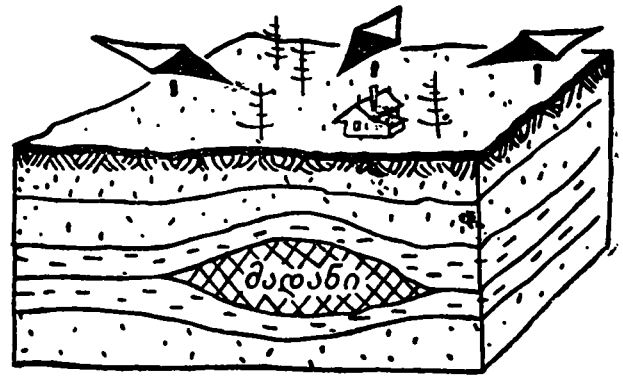
ფიზიკა და გეოლოგია

ერთი შეხედვით ფიზიკა და გეოლოგია ერთმანეთისაგან ძალზე შორს მდგომი მეცნიერებებია. მაგრამ გეოლოგებს რომ ფიზიკა არ ეხმარებოდეს, მაშინ არ იქნებოდა აღმოჩენილი რკინის, ნავთობის, სპილენძისა და ბევრი სხვა სასარგებლო ნამარხის საბადო. წარმოიქმნა ახალი მეცნიერება გ ე ო ფ ი ზ ი კ ა, რომელიც შეისწავლის დედამიწის ფიზიკურ თვისებებსა და მასში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს.

გეოფიზიკა ისეთ ხელსაწყოებს ხმარობს, რომელთა მეშვეობითაც უჩინარი ხილული ხდება. მაგალითად, ადამიანის გულის დანახვა შეუძლებელია. რენტგენის აპარატით კი ეს ძალზე ადვილია. ასევეა გეოლოგიაშიც: იმას, რასაც მიწის ქვეშ თვალი ვერ ხედავს, რთული გეოფიზიკური ხელსაწყოები „ხედავენ“. ეს ხელსაწყოები გვიჩვენებენ სხვადასხვაობას ქანების ელექტრულ, მაგნიტურ და სხვა თვისებებს შორის.

საბადო-მაგნიტი

თქვენ კარგად იცით, რომ მაგნიტის ირგვლივ ყოველთვის არსებობს უხილავი მაგნიტური ველი. თუ კომპასის ისარი ჩვეულებრივი მიმართულებიდან გადაიხარა, როგორც სურათზეა ნაჩვენები, ეს იმას ნიშნავს, რომ მიწის წიაღში რკინის მადნის საბადოა, რომელიც ისარს იზიდავს. ასეთ შემთხვევაში, სადაც არ უნდა წავიღოთ კომპასი, მისი ისარი მუდამ მადნის საბადოსაკენ იქნება მიმართული. ასევე ემართება იმ თვითმფრინავის კომპასის მაგნიტურ ისარსაც, რომელიც რკინის მადნის თავზე დაფრინავს.



რკინის მადნის საბადო მაგნიტურ ისარს იზიდავს.

მაგნიტური ისრის ჩვეულებრივი მიმართულებიდან გადახრის მიხედვით აღმოაჩინეს რკინის მადნის უდიდესი მარაგი კურსკის რაიონში და რამდენიმე სხვა ადგილას. თუ მადანი ცოტაა, ანდა ღრმადაა დედამიწაში ჩამარხული, მაშინ ჩვეულებრივი მაგნიტური ისარი მას ვერ „გრძნობს“. ასეთ შემთხვევებში ხმარობენ უფრო რთულსა და მგრძნობიარე ფიზიკურ ხელსაწყოებს.

მაგრამ ძლიერი მაგნიტური თვისებები მხოლოდ რკინის მადანს ახასიათებს. სასარგებლო ნამარხთა დიდი ჯგუფი არამაგნიტურია და მათი ძიებისათვის მაგნიტური ისარი გამოუსადეგარია.

გრავიმეტრიული დაზვერვა

ყოველმა ჩვენგანმა იცის, რა დიდია დედამიწის მიზიდულობის ძალა და არა ერთხელ გამოგვიცდია კიდეც იგი საკუთარ თავზე. ჩვენ ყოველთვის ძირს ვეცემით ხოლმე იმიტომ, რომ დედამიწა გვიზიდავს.

მიზიდულობის ძალა დედამიწაზე ყველგან და ყოველთვის მოქმედებს, მხოლოდ სხვადასხვა ძალით. რაც უფრო მძიმეა საგანი, მით უფრო მეტი ძალით იზიდავს მას დედამიწა. დედამიწის წიაღია და მთებში გვხვდება ისეთი ქანები და მადნები, რო-

მელთაც ძალზე განსხვავებული სიმკვრივე აქვთ. მაგალითად, ტყვიის, სპილენძის, ვოლფრამისა და თუთიის მადნის ნაჭერი ერთნახევარ-ორჯერ მძიმეა ასეთივე მოცულობის გრანიტის ან მარმარილოს ნატეხზე. მაშასადამე, მადანი უფრო ძლიერ იზიდავს, ვთქვათ რაიმე საგანს, ვიდრე მის გვერდით მდებარე ქანი. ქვამარილსა და თაბაშირს გაცილებით ნაკლები სიმკვრივე აქვთ და, მაშასადამე, ქვამარილის საბადოს თავზე მიზიდულობის ძალაც ნაკლები იქნება. მადნის საბადოების ძიება მიზიდულობის ცვლილების მიხედვითაც შეიძლება. ამისათვის შექმნილია საგანგებო ხელსაწყოები, რომლებიც განსაზღვრავენ, რომელ ადგილზე როგორი მიზიდულობის ძალაა. ამ ხელსაწყოს გრავიტაციული[1] ვარიომეტრი ეწოდება. იგი შედგება სამხრესაგან, რომელიც წვრილი კვარცის ძაფზეა დაკიდებული. სამხრეს ბოლოებზე ორი ბურთულაა. ერთი უშუალოდ სამხრეს ერთ ბოლოზეა დამაგრებული, მეორე კი — მეორე ბოლოზე გამობმულ გრძელ ძაფზე. როცა ხელსაწყო მძიმე მასის, მაგალითად, რკინის საბადოს მახლობლად აღმოჩნდება, ძაფზე დაკიდებული ბურთულა მადნისკენ მიიზიდება, აბრუნებს სამხრეს და მასთან ერთად კვარცის ძაფსაც, რომელზეც ეს სამხრე ჰკიდია. როცა ვიცით, რომელი მხრისკენ და რამდენად მობრუნდება სამხრე, დრეკადი კვარცის ძაფის წინააღმდეგობის მიუხედავად, ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ, რა ადგილასაა მადანი და დიდია თუ არა იგი.

ხელსაწყოს გადაადგილებითა და სხვადასხვა ადგილების გაზომვით შესაძლებლობა გვეძლევა საკმარისი სიზუსტით დავადგინოთ მადნის მდგომარეობა და მისი ფორმაც კი.

დიდი სიმკვრივის მძიმე მადნებისა და ქანების მიწისქვეშა ნამარხები შეიძლება აღმოვაჩინოთ საგანგებო, მეტად მგრძნობიარე ქანქარის დახმარებით, რომელიც მძიმე მასების მახლობლად უფრო ხშირად ქანაობს.

ამჟამად მადნის ძიებისას ფართოდ იყენებენ გრავიტაციულ ვარიომეტრებს. მეთოდი, რომლის მიხედვითაც ამ ხელსაწყოს დამზადება მოხერხდა, ჯერ კიდევ 200 წლის წინ წამოაყენა მ. ლომონოსოვმა. გრავიმეტრიული წესით უკვე მრავალი მადნის საბადოა აღმოჩენილი.

მაგრამ, როგორ მოვიქცეთ ისეთ შემთხვევებში, როცა სასარგებლო ნამარხი ქანებზე მსუბუქია, ანდა მადანი იმდენად მცირეა, რომ მისი აღმოჩენა გრავიტაციულ ვარიომეტრსაც არ ძალუძს და ამავე დროს არამაგნიტურიც არის?

ასეთ შემთხვევაში გეოლოგები საბადოებს ელექტროდენის საშუალებით ეძებენ.

ელექტრობა ეძებს

ელექტრობა დიდად ეხმარება ადამიანს. იგი ამოძრავებს მანქანებს, დაზგებს, გვაძლევს სინათლესა და სითბოს.

ბევრი მადანი კარგი გამტარია და სწორედ ეს თვისებაა გამოყენებული საბადოების ძიებისას. როცა არსებობს რაიმე საფუძველი, რომ დედამიწის სიღრმეში მადანია, მაშინ დაზვერვას იწყებენ ელექტროდენით. ამისათვის მიწაში რკინის ორ სოლს არჭობენ ერთმანეთისაგან 30 — 50 მ დაშორებით. ეს სოლები მავთულებითაა შეერთებული საგანგებო ხელსაწყოსთან. დენი ხელსაწყოდან ერთ-ერთი სოლისაკენ მიდის, იქიდან — მიწაში, გაივლის მიწას და მეორე სოლამდე აღწევს, ხოლო იქიდან ისევ ხელსაწყოს უბრუნდება. ფიზიკიდან ვიცით, რომ, რაც უფრო დიდია ნივთიერების წინააღმდეგობა, მით უფრო ნაკლებია დენის ძალა. ამგვარად, სხვადასხვა ადგილის დაზვერვისა და ხელსაწყოს ჩვენების ჩანიშვნის შემდეგ შეიძლება დავინახოთ, რომ ერთ რომელიმე უბანზე დენის ძალა შემცირებულია. მაშასადამე, იქ არის გრანიტის, მარმარილოს, თიხის, ქვიშისა და სხვათა საბადო. სხვაგან, სადაც დენის ძალა მეტია, შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ დენმა მადანში გაიარა, რომელსაც ნაკლები წინააღმდეგობა აქვს, და იქ მადნის საბადოები უნდა ვივარაუდოთ.

თუ გრუნტის წყალი შიგ გახსნილი სუსტი მჟავებით მადანს ეხება, წარმოიშვება ბუნებრივი ელექტროდენი. მადნის ირგვლივ განლაგებულ ქანებში ასეთი დენის ძალის გაზომვით აზუსტებენ მადნის მდგომარეობას.

---

[1] სიტყვიდან „გრავიტას“ — სიმძიმე. გრავიმეტრია ისეთი მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის სიმძიმის ძალის აჩქარების ცვალებადობას დედამიწის სხვადასხვა წერტილში.

მაგრამ არსებობს ისეთი მადნებიც, რომლებიც არც მაგნიტურია და არც ელექტროგამტარი. როგორ უნდა მოიძებნოს ისინი? თურმე გეოფიზიკოსები ასეთ შემთხვევებშიც შველიან გეოლოგებს.

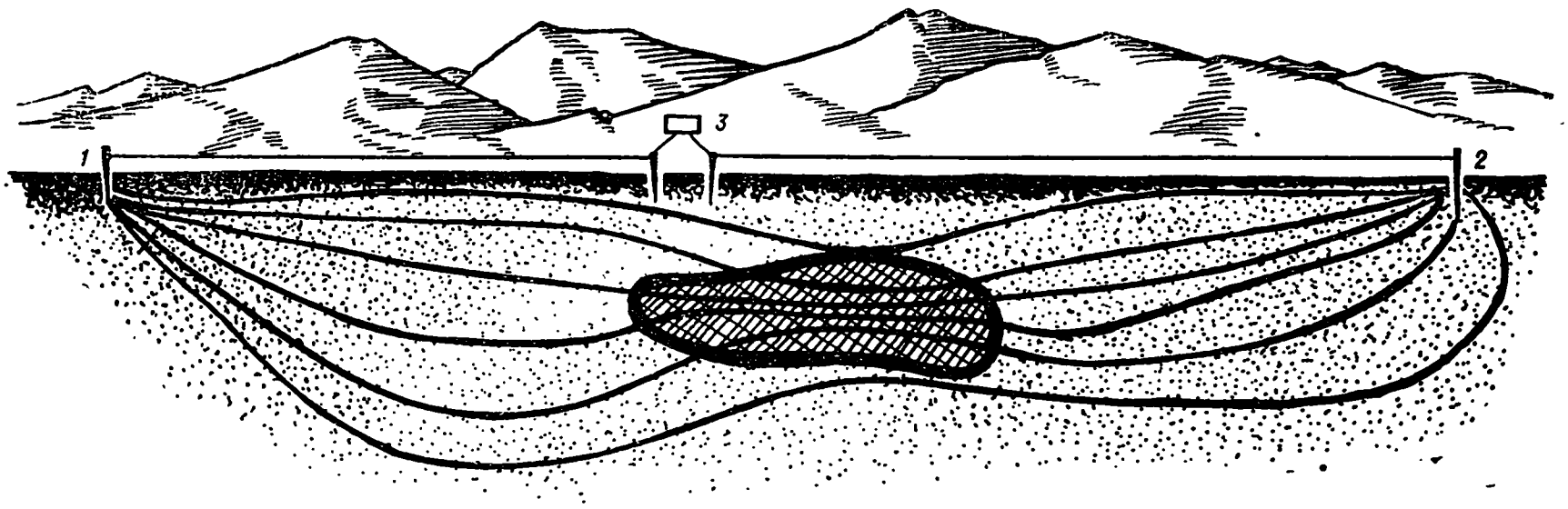
დაზვერვა აფეთქებებით

ჩაით სავსე ჭიქაში რომ კოვზი ჩაუშვათ, ისეთი შთაბეჭდილება დაგრჩებათ, თითქოს კოვზი გადატყდაო. ეს მოვლენა აიხსნება ატმოსფეროდან უფრო მკვრივ გარემოში — წყალში — მოხვედრილი სინათლის სხივის გარდატეხით.

თქვენ ხედავთ არა მარტო კოვზის ზედა ნაწილს და სითხის ზედაპირს, არამედ კოვზის ქვედა ნაწილსა და ჭიქის ფსკერსაც. სხივების ნაწილი სითხის ზედაპირიდან ირეკლება, ნაწილი კი გარდატეხის შემდეგ უფრო ღრმად ჩადის მასში და კოვზიდან და ჭიქის ძირიდან ირეკლება.

ღრმად მიდიან ქანებში, ვიდრე სხვა შემადგენლობის ქანს არ წააწყდებიან. ამასთან, ტალღების ნაწილი გადატყდება და გზას განაგრძობს სიღრმისაკენ, ნაწილი კი ამ ახალი ქანების საზღვრიდან აირეკლება და დედამიწის ზედაპირზე ამოვა ისევე, როგორც ჭიქაში ჩაშვებული ჩაის კოვზიდან არეკლილი სინათლის სხივი. დაბრუნებულ ტალღებს იჭერს ხელსაწყო, რომელსაც სეისმოგრაფი ეწოდება.

გეოფიზიკოსები ანგარიშობენ, რამდენ ხანს მოდიან ეს ტალღები, შემდეგ კი გამოთვლიან, რა სიღრმიდან და როგორი სიმკვრივის ქანებიდანაა ისინი არეკლილი. ცოტა მოგვიანებით დედამიწის ზედაპირზე ბრუნდება უფრო მკვრივი ქანებიდან არეკლილი ტალღები. გეოფიზიკოსები მათი ჩაღწევის სიღრმესაც ანგარიშობენ. ასე მიიღება სეისმოგრამა — სეისმოგრაფის ჩვენებების ჩანაწერი. სეისმოგრაფის დახმარებით არკვევენ, რომელი ქანი რა სიღრმეზე ძევს და ჰორიზონტალური მდგომარეობა უჭირავს თუ დანაოჭებულია.

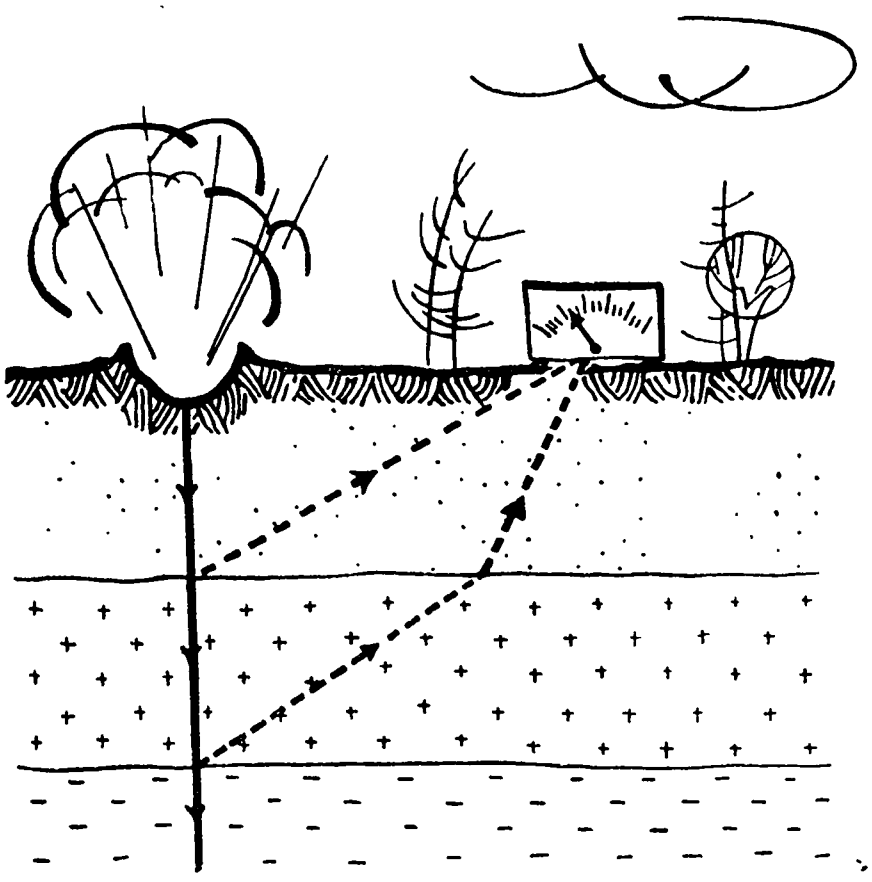


ელექტროდაზვერვის სქემა: 1, 2, 3 — ელექტროდები. ნაპირა ელექტროდებიდან დენი მიწაში ჩადის. შუაში მოთავსებული ელექტროდი საზომი ხელსაწყოსაკენ მიდის. დენის ხაზები მიმართულებას იცვლიან და მადნის ახლოს იყრიან თავს.

მზის სხივები წყალში გამჭოლად ატანენ. მაგრამ, შეიძლება თუ არა დედამიწის „გაშუქება“ და სხვადასხვა სიღრმეზე მოქცეული ქანებიდან ანარეკლის მიღება? თურმე შეიძლება ხელოვნური მიწისძვრების დახმარებით. ეს ხერხი იმაზეა დაფუძნებული, რომ სეისმური ტალღები (იხ. გვ. 83) სხვადასხვა სიჩქარით გადიან სხვადასხვანაირი სიმკვრივის ქანებში.

აფეთქების ადგილიდან სეისმური ტალღები

ჩვენ მოკლედ განვიხილეთ მადნის ძიების სხვადასხვა გეოფიზიკური მეთოდი. ამ მეთოდებს სულ სხვადასხვა სახის სასარგებლო ნამარხების ძიებისას იყენებენ. რადიოაქტიური მადნის ძებნისას მხოლოდ ამ მადნისთვის განკუთვნილ, განსაკუთრებულ ხერხს მიმართავენ, ვინაიდან ასეთ მადანს მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი თვისებები აქვს, ე. ი. განუწყვეტლივ გამოყოფს უწვრილეს, მაგრამ მეტად აქტიურ ნაწილაკებს. მეცნიერებმა შექმნეს



სეისმური ძიების სქემა.

რთული ხელსაწყო — რადიომეტრი, რომელიც ამ ნაწილაკების დარტყმას „გრძნობს“ და მათ არსებობაზე მიგვითითებს: ხელსაწყოზე ინთება ნათურა, გადაადგილდება ისარი, ან ხმოვანი სიგნალი ისმის. თუ ამ ხელსაწყოს სხვადასხვა ქანებს მივუახლოვებთ, შესაძლებლობა გვექნება „მოვსინჯოთ“, რომელი მათგანი შეიცავს რადიოაქტიურ მადანს.

საბადოს მოძებნა საქმის დასაწყისია

როცა გეოლოგები სასარგებლო ნამარხის საბადოს მიაგნებენ, იწყება სამუშაოს მეორე საფეხური — დაზვერვა. იგი აუცილებელია საბადოს მოცულობის დასადგენად, იმის გასაგებად, საკმაო რაოდენობით შეიცავს თუ არა იგი სასარგებლო ნამარხს, რომ ამოსაღები სამუშაოები დაიწყონ. აუცილებელია მადნის განლაგებისა და ზომის, მასში სასარგებლო ნამარხების რაოდენობისა და იმ სიღრმის დადგენა, რომელზეც მადანი ძევს.

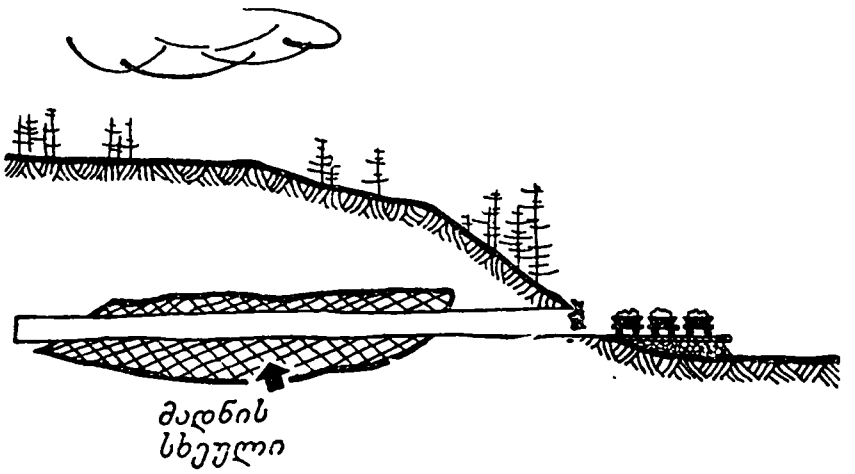
სადაზვერვო სამუშაოების დროს გეოლოგები უხვად აგროვებენ მადნის ნიმუშებს მადნის სხვადასხვა უბნებიდან. ამ ნიმუშებისა და სინჯების მეოხებით გეოლოგი ადგენს, რომელი სასარგებლო ნამარხისაგან შედგება მადანი, რა რაოდენობითაა იგი და აქვს თუ არა არასასურველი მინარევები.

სადაზვერვო სამუშაოები საბადოს დეტალური გეოლოგიური რუკის შედგენით იწყება. ამის შემდეგ სამთო სამუშაოებისა და ჭაბურღილების საშუალებით აწარმოებენ საბადოს დაზვერვას.

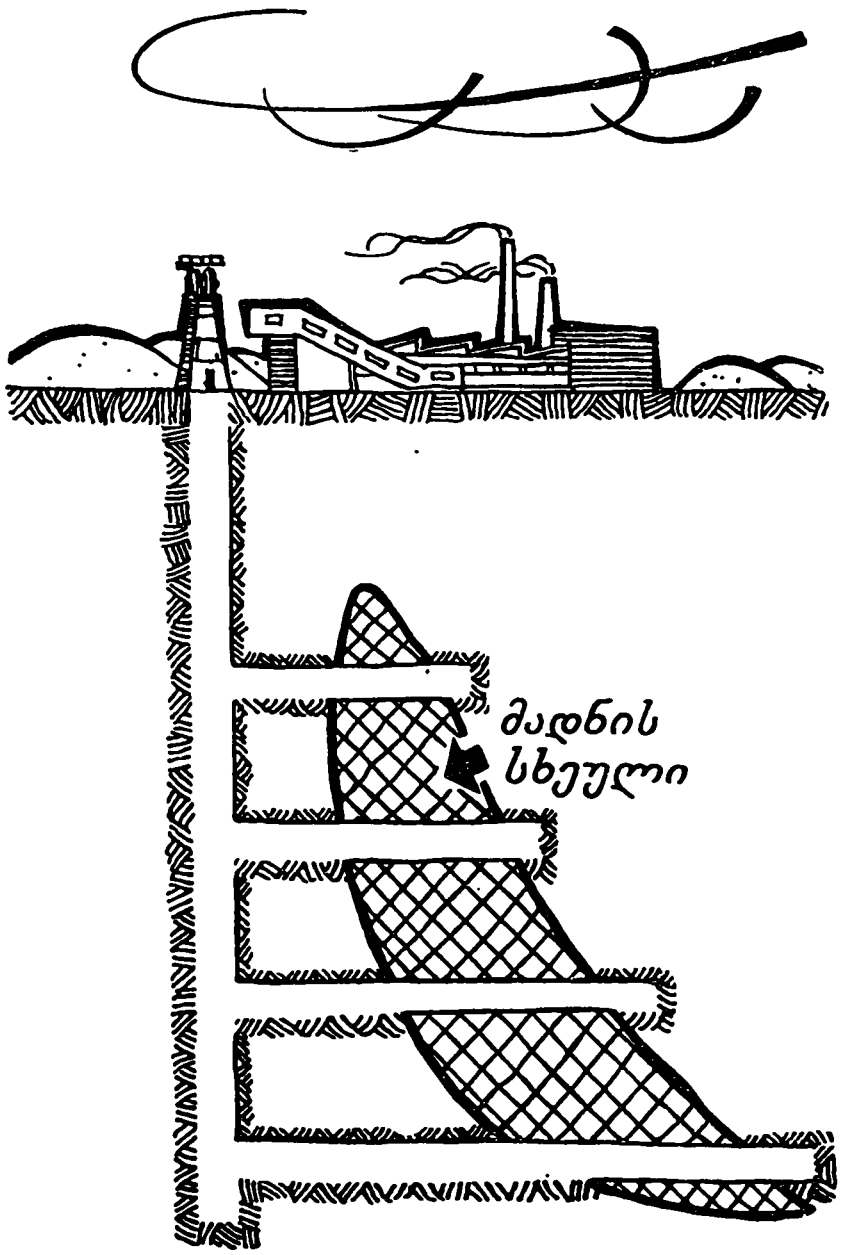
თუ მადანი დედამიწის ზედაპირთან ახლოსაა და მხოლოდ ნიადაგის ან სხვა რომელიმე სუსტი შრითაა დაფარული, მაშინ თხრიან ერთმანეთისაგან გარკვეული მანძილებით დაშორებულ 1 — 2 მ სიღრმის თხრილებს. მაგრამ თუ მადნის საბადო 5 — 10 მ და უფრო მეტი სისქის შრის ქვეშაა მოქცეული, მაშინ თხრიან ჭების მსგავს სამთო გამონამუშევრებს — შურფებს. შურფების კედლებს ხის სვეტებითა და ფიცრებით ამაგრებენ, რომ ფხვიერი ქანი არ ჩამოინგრეს და გამონამუშევარი და ხალხი არ დააზიანოს. შურფები ზუსტად დადგენილ მანძილზეა ერთმანეთისაგან დაშორებული, ისე რომ მთელი მადანი მისაწვდომი გახდეს.

როცა მადანი ქედში ან ციცაბო ფერდობებიან მთაშია მოქცეული, მაშინ საბადოს იკვლევენ ჰორიზონტალური სამთო გამონამუშევრის — შტოლნის დახმარებით, რომელიც გვირაბს წააგავს და მთაში მისი ციცაბო ფერდობიდანაა შეჭრილი. გვირაბი ქანებს 100 — 200 მ და მეტ მანძილზე სერავს, ვიდრე მადანს არ გადაკვეთს. ამის შემდეგ მადანში გარდიგარდმო გაჰყავთ ერთნაირი შუალედებით უფრო პატარა გამონამუშევრები.

თუ მადნის მდებარეობა ჰორიზონტალური კი არა, ვერტიკალური ან დახრილია, მაშინ მთაში



შტოლნი კვეთს მადნის სხეულს.



შახტი.

სხვადასხვა სიმაღლეზე დამატებით გაჰყავთ ერთი ან რამდენიმე შტოლნი. საბოლოოდ მთელი საბადო გამონამუშევრებით იქსელება, რის შემწეობითაც ირკვევა მადნის ფორმა.

დაბლობ ადგილებში მადანი შეიძლება 100 — 200 მ და უფრო ღრმად იყოს დედამიწაში. ასეთ ადგილებში ამოჰყავთ შახტები, რომლებშიც ადამიანების ჩასასვლელად და მადნის ამოსატანად საგანგებო ლიფტებია მოწყობილი. შახტში სხვადასხვა სიღრმეზე და ერთმანეთისაგან გარკვეულ მანძილზე ჭრიან ჰორიზონტალურ სამთო გამონამუშევრებს, რომლებიც მადნისკენაა მიმართული. ამ გამონამუშევრებიდან, ისევე როგორც შტოლნებიდან, გარკვეული მანძილებით ერთმანეთისაგან დაშორებული მცირე გვირაბები გაჰყავთ, ისინი გამჭოლად კვეთენ მადანს.

ყოველ გამონამუშევარში რამდენიმე ადგილზე იღებენ მადნის სინჯს, რათა გაიგონ, რამდენი სასარგებლო ნამარხია მადნის თვითეულ უბანზე და აგრეთვე მთელ მადანში საშუალოდ. როცა იციან მადნის მოცულობა და სასარგებლო ნამარხის საშუალო რაოდენობა, ადვილად ანგარიშობენ მთელი საბადოს მარაგსაც.

მადნის საბადოების დაზვერვისას იყენებენ ჭაბურღილებს. ბურღვა მიმდინარეობს საგანგებო მილით, რომელიც ბრუნვისას თანდათან ჭრის ქანს. მილში რჩება ქანის პატარა სვეტი, რომლის მიხედვითაც იგებენ, რომელი ქანებია დედამიწის სიღრმეში და სად მდებარეობს მადანი. მილით მიწას ასობით და ხანდახან ათას მეტრზე მეტ სიღრმეზეც ბურღავენ.

ბურღვა შეიძლება ტროსზე დამაგრებული ფოლადის მძიმე სატეხითაც. სატეხს მაღლა სწევენ და იგი მთელი სიმძიმით ბევრჯერ ეცემა ქანს. ქანებში ჩნდება სოროს მსგავსი ხვრელი, რომელიც ათობით მეტრის სიღრმეზე ჩადის. ასეთი ბურღვისას (მას დარტყმითს უწოდებენ) გარკვეული ინტერვალების შემდეგ ამოაქვთ დაფშვნილი, ფხვნილისმაგვარი ქანი. ამ ფხვნილის გამოკვლევის შემდეგ ადგენენ, რომელი ქანებია გაბურღილი, ხოლო თუ შიგ მადანი აღმოჩნდა, იგებენ, როგორია იგი და რა რაოდენობით შეიცავს მრეწველობისათვის საჭირო მეტალებს.

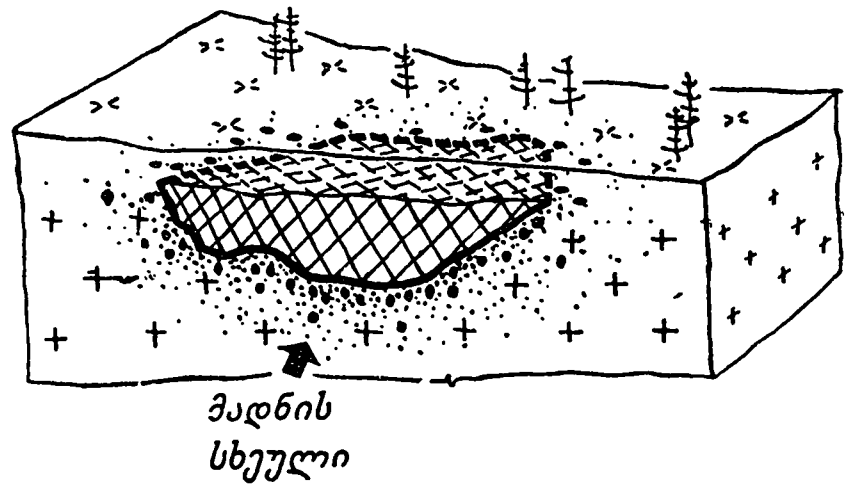
ნავთობის საბადოების დაზვერვისას ხანდახან 3 კმ-ზე უფრო ღრმა ჭაბურღილებს აკეთებენ.

ბურღვის დახმარებით სწრაფად შეიძლება მადნის საბადოს დაზვერვა. მაგრამ ქანის პატარა სვეტი — კერნი ყოველთვის არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ ეჭვმიუტანლად ვიმსჯელოთ მადნის ხარისხსა და გავრცელებაზე.

სამთო სამუშაოები გაცილებით უფრო სრულყოფილ ცნობებს იძლევა.

სამთო სამუშაოებსა და ჭაბურღილების ბურღვას ხშირად ერთსა და იმავე საბადოზე ახორციელებენ, განსაკუთრებით მაშინ, თუ მადნის საბადო დიდი მოცულობისაა. მადნის საბადოს ზედა ნაწილს თხრილებითა და შურფებით ხსნიან, ცენტრალურ ნაწილს — მაღაროებით ან შახტებით, ღრმა ჰორიზონტებს კი — ჭაბურღილებით. ამ წესით გეოლოგებს საშუალება ეძლევათ, რამდენადაც მოსახერხებელია, ზუსტად გაიანგარიშონ სასარგებლო ნამარხების მარაგი.

ხშირად ჭაბურღილებს ცნობილი საბადოების მახლობლად ბურღავენ იმ მიზნით, რომ ახალი მადანი იპოვონ. როგორც წესი, ერთ უბანზე რამდენიმე მადანია ხოლმე დაჯგუფებული. ტყუილად როდი უთქვამთ ძველ მემადაროელებს: „მადანი მადანთან ეძებეო“, ე. ი. ახალი მადანი უკვე ნაპოვნთან მოძებნეო.



მადნის გაფანტული ნივთიერების განლაგება საბადოს ირგვლივ.

შეიძლება თუ არა საქმე უგეოლოგებოდ მოგვარდეს

ჩვენ განვიხილეთ, როგორი ზუსტი და მგრძნობიარე ხელსაწყოები ეხმარება ადამიანს დიდ სიღრმეზე ჩამალული მადნის ძიებაში. იქნებ შეიძლება მადნის ძებნა მხოლოდ ხელსაწყოებით, გეოლოგების გარეშე? არ შეიძლება. გეოლოგები ხომ სწორედ იმას მიუთითებენ, რომელ რაიონშია საჭირო ძიების ჩატარება, რომელი მადნის პოვნა შეიძლება იქ და, მაშასადამე, რომელი ხელსაწყოები უნდა გამოვიყენოთ. ცნობილია, რომ ქრომი და ნიკელი მუქმწვანე და შავ, მძიმე ქანებში (დუნიტებში, პერიდოტიტებში და სხვ.) უნდა ვეძიოთ, სადაც არასდროს არ გვხვდება ოქრო და ვოლფრამი. უშედეგო იქნებოდა ალმასის ყირიმში ძებნა, ისევე როგორც ქრომისა — ვოლგისპირეთში. გეოლოგებმა იციან თანამედროვე ძიების ყველა მეთოდი და ვიდრე ექსპედიციაში წავიდოდნენ, წინასწარ ინიშნავენ სახელდობრ სად, რას და რომელი მეთოდით მოძებნიან.

გეოლოგიის სამსახურში დგება სულ უფრო მეტი სრულყოფილი მანქანა და ხელსაწყო, რომლებიც სწრაფად იკვლევენ მადნის ადგილმდებარეობას. ამ ბოლო ხანებში მადნის ძებნაში ხშირად გვეხმარება თვითმფრინავები და შვეულმფრენები, რომლებიც სხვადასხვა გეოფიზიკური მოწყობილობითაა აღჭურვილი. ეს მოწყობილობები საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ დედამიწის სიღრმეში ჩამალული სასარგებლო ნამარხების მდგომარეობა. ამას გარდა, თვითმფრინავებიდან იღებენ საძიებო რაიონის ფოტოსურათებს, დგება ფოტოგეგმები, რაც დიდად ეხმარება გეოლოგებს საძიებო სამუშაოების ჩატარებაში.

■

როგორ წარმოიქმნება და იზრდება მთები

საბავშვო ენციკლოპედიის ბევრი მკითხველი ალბათ მთიანი მხარეების მცხოვრებია, ზოგს მოგზაურობისას უნახავს მთები. ხოლო ისინი, ვინც მთებში არ ყოფილან, ფოტოსურათებიდან, კინოდან, ტელევიზორების ეკრანებიდან ანდა ნაამბობითა და აღწერილობის მიხედვით იცნობენ მათ. როგორ წარმოიქმნება მთები? რატომ არის, რომ ზოგი ადგილი მთიანია, ზოგი კი არა?

იმ ადამიანზე, რომელიც მთებს პირველად შესცქერის, ისინი დაუვიწყარ შთაბეჭდილებას ახდენენ. წარმოიდგინეთ, რომ თქვენ შუა აზიის ერთ-ერთ ფეროვან, სულ მთლად მოსწორებულ ადგილებში მოგზაურობთ. ჯერ ველი იქნება, მერე უდაბნო, მერე ბამბის ნათესები და აი, შორს, ჰორიზონტზე, თეთრი ღრუბლების უსწორმასწორო წყება გამოჩნდება. მაგრამ ეს მართლა ღრუბლები როდია. ეს თოვლიანი მწვერვალებია. თქვენ კიდევ უფრო წინ მიიწევთ და უკვე მთისწინეთში ხართ, დედამიწის ზედაპირი მაღლდება, გზა ბორცვებს შორის მიიკლაკნება. ფერდობები თანდათან დამრეცი ხდება, აქა-იქ მოჩანს გაშიშვლებული შვეული კლდეები, ჰაერი უფრო ცივი და სუფთაა. მდინარეები გაშმაგებით მიქრიან ხეობებში... მთები! თვითეული მწვერვალი განუმეორებელი სილამაზისაა, ხეობის



კირქვა, რომელიც შედგება გაქვავებული ზღვის ნიჟარებისაგან.

ყოველი მოსახვევი თითქოს გიხმობთ, გინდათ ნახოთ, რა არის იქით, უფრო მაღლა. თვალს იტაცებს უჩვეულო ქვები, ქაოსურად დახვავებული კლდეები, უფრო მაღლა კი — მუდმივი თოვლი და ყინვარები.

კარგია მთებში ყოფნა! მაგრამ მაინც საიდან გაჩნდა ეს საოცრება? რამ წარმოშვა მთები?

ვცადოთ და გავერკვეთ, რისგან და როგორაა ისინი აგებული, და მაშინ უფრო ნათელი წარმოდგენა გვექნება მთების წარმოშობაზე.

აი, ჩვენ მწვერვალზე ვდგავართ. რისგან შედგება აქაური ქანები? თუ კლდეს კარგად დავუკვირდებით, დავინახავთ, რომ ეს ერთი მთლიანი, მონოლითური მასა კი არა, რომელიღაც ქანის უამრავი, სხვადასხვა სისქის შრეებია. ამ შრეებიდან ერთერთს რომ ჩაქუჩი შემოვკრათ, ჩვენდა გასაოცრად ახალ ჩამონატეხზე აშკარად გამოსახულ ნიჟარას დავინახავთ. ხანდახან ქანიდან მთლიანი ნიჟარის ამოღებაც კი შეიძლება. თუ დაკვირვებული თვალი გაქვთ, მაშინვე გაგახსენდებათ, რომ ასეთი ან ამის მსგავსი ნიჟარა უკვე სადღაც გინახავთ, ალბათ ზღვის ნაპირზე. ოღონდ იქ ნიჟარა ცოცხალი არსების ჯავშანი იყო, აქ კი, ქანის შრეებში, იგი გაქვავებულა. იქვეა მეორე ასეთი ნიჟარა, მესამე და ჩვენ თანდათან ვამჩნევთ, რომ არსებითად მთელი ქანი მსგავსი ნიჟარებისაგან შედგება: ასეთ ქანს კირქვა ეწოდება.

როგორ აღმოჩნდა ზღვის ცხოველების ნიჟარები მთებში, ზღვიდან ათასი კილომეტრის სიმაღლეზე? შეიძლება მხოლოდ ერთი რამ ვიფიქროთ: ოდესღაც, ძალიან დიდი ხნის წინათ, ამ მთების ადგილზე ალბათ ზღვა იყო. გადიოდა წლები, ზღვის ფსკერზე თანდათან ილექებოდა დახოცილი ცხოველების ნიჟარები, ხოლო შემდეგ ფსკერი ისე ამოიწია, რომ ზღვამ უკან დაიხია. ახლა მხოლოდ ზღვის ორგანიზმების საშუალებით შეიძლება იმის გაგება, რომ იგი ოდესღაც აქ იყო.

მთებში სხვადასხვა სიმაღლეზე განლაგებული ზღვიური წარმოშობის ქანები იმას მოწმობს, რომ დედამიწის უბანი, რომელიც უწინ ზღვის ფსკერს წარმოადგენდა, შემდგომში სხვადასხვა სიმაღლეზე ამოიწია.

თუ მთებში ქანების შრეების განლაგებას დავაკვირდებით, დავინახავთ, რომ ისინი დაქანებული და გალუნულია. ყველამ იცის, რომ ქვიშის, თიხისა და კირქვის შრეები, რომლებსაც ჩვენ დაბლობებში ვხვდებით, ჰორიზონტალურადაა განლაგებული, ვინაიდან ისინი უხსოვარ წარსულში დაილექა. აქ კი, მთებში, შრეები მოხრილია და რთულ ნაოჭებს წარმოქმნის. რომელიღაც შრე ერთ ადგილას ზევით მიიწევს, თანდათან იღუნება, ქმნის თაღს და ძირს ეშვება, მერე კიდევ იგივე მეორდება და არსებითად მთელი მთიანეთი ასეთი გალუნული, დანაოჭებული და ზოგან გაწყვეტილი ქანებისაგან შედგება.

მაშასადამე, დედამიწის უბანი, რომელიც ზევით მოიწევდა, ამავე დროს ნაოჭდებოდა, დეფორმაციას განიცდიდა, იცვლიდა სტრუქტურას.

აბა, კარვად დააკვირდით, რომელი ქანებისაგან შედგება შრეები მთებში? ხომ არ განსხვავდება რაიმეთი იმ შრეებისაგან, რომლებიც დაბლობებში გვხვდება? დაბლობებში შრეებს შეადგენს ფხვიერი ქვიშა, რბილი თიხა ან სხვა რომელიმე ქანი, ახალი, თავისი წარმოშობის ნიშნების აშკარა მატარებელი, ზღვებისა და მდინარეების უცვლელი ან ოდნავ შეცვლილი ნალექი. მთებში კი ისინი გამკვრივებულია, უფრო მაგარი და გამძლეა. აქ ქვიშის შრე სულაც არ არსებობს, იგი ქვიშაქვადაა ქცეული, თიხა კი — თიხა-ფიქლად. კირქვა ისეა გამაგრებული, რომ ჩაქუჩის შემოკვრაზე წკრიალებს, ალაგ-ალაგ კი კირქვასაც ვერ უწოდებთ, ნამდვილი მარმარილოა. მაშასადამე, შრეების ამოწევისა და დეფორმაციის პროცესს თან ახლდა ქანების ცვლაც. ქანებმა, როგორც იტყვიან

ხოლმე, „მეტამორფიზმი“ განიცადეს და ნალექის წინანდებური სახე, რომლისგანაც ისინი წარმოიქმნენ, ხანდახან ძნელი დასადგენიცაა (იხ. გვ. 32).

დაბლობებში, როგორც წესი, ფხვიერი დანალექი ქანები გვხვდება, მთებში კი სულ სხვა სახისა და წარმოშობის — მტკიცე კრისტალური ქანები, ისეთი, როგორიც ყველასთვის ცნობილი გრანიტი და ბაზალტია. ასეთი ქანები არასოდეს არ ყოფილა ზღვის ფსკერზე დალექილი. ისინი წარმოიშვა გამლღვალი მასებისაგან, რომლებიც დედამიწის წიაღიდან ამოდიოდა და შემდეგ გაცივდა. ამის შედეგად შეიქმნა უზარმაზარი მასები ყოველგვარი შრეებრივობისა და გაქვავებულობის გარეშე. ასეთ პროცესზე ახლაც შეიძლება დაკვირვება ვულკანების ამოფრქვევისას. ვულკანის კრატერიდან ამოდის ცხელი, თხევადი ლავა. იგი მალე ცივდება და წარმოქმნის ქანს, რომელიც არაფრით არ წააგავს დანალექს. ასეთ ქანებს მაგმური ქანები ეწოდება (იხ. გვ. 29).

დანალექი ქანები, რომლებიც დაბლობებში გვხვდება, შედარებით თხელი შრეებია (რამდენიმე ასეული მეტრი), მათ ქვეშ კი უძველესი ქანებია მოქცეული (მაგმური და მეტამორფული), რომლებიც კრისტალურ სუბსტრატს ქმნიან.

მთების შემადგენელი დანალექი ქანების სისქე რომ გავზომოთ, დავინახავთ, რომ იგი ძალიან დიდი — რამდენიმე კილომეტრი იქნება.

რა შეიძლება ვთქვათ მთების წარმოშობასა და განვითარებაზე?

ხმელეთის მეტი ნაწილი ნაკლებად მოძრავი დაბლობია, რომელიც ჩვეულებრივ სწორი ან ოდნავ ტალღოვანია და ცოტათი ერთ რომელიმე მხარესაა დაქანებული. მაგალითად, დასავლეთ ციმბირის უზარმაზარი დაბლობი ჩრდილოეთით, ჩრდილოეთის ყინულოვანი ოკეანისკენაა ოდნავ დახრილი, კასპიისპირეთის დაბლობი კი — სამხრეთისაკენ. ასეთი უბნები მრავალი მილიონი წლის განმავლობაში სულ უმნიშვნელოდ მოძრაობდნენ და მთები აქ არ წარმოშობილა. მაგრამ დედამიწაზე არსებობს სხვა უბნებიც, რომლებიც, პირიქით, დიდი მოძრავუნარიანობით გამოირჩევა. თავდაპირველად ისინი, როგორც წესი, ზღვით იყო დაფარული. ზღვის ფსკერზე გროვდება სხვადასხვა სახის ნალექი: ქვიშა, შლამი, ნიჟარების გროვები და ისეთი შთაბეჭდილება რჩება, რომ ზღვა მალე უნდა ამოივსოს. მაგრამ ასეთი ზღვის ფსკერი ნალექებთან ერთად დაბლა იწევს. ასე გრძელდება მილიონობით წლის მანძილზე. ამ ხნის განმავლობაში გროვდება ნალექების ძალიან სქელი შრეები. ამის შემდეგ დგება მოცემული უბნის განვითარების ახალი პერიოდი. იგი ინტენსიურ მოძრაობას იწყებს. დანალექი ქანები, რომლებიც ამ დრომდე დაგროვდა, იღუნება, წყდება, მჭიდროვდება და სკდება. ნაპრალებში ქვევიდან მაგმა ამოდის, მთელი უბანი მაღლა იწევს და დედამიწის ზედაპირზე მთებს წარმოქმნის.

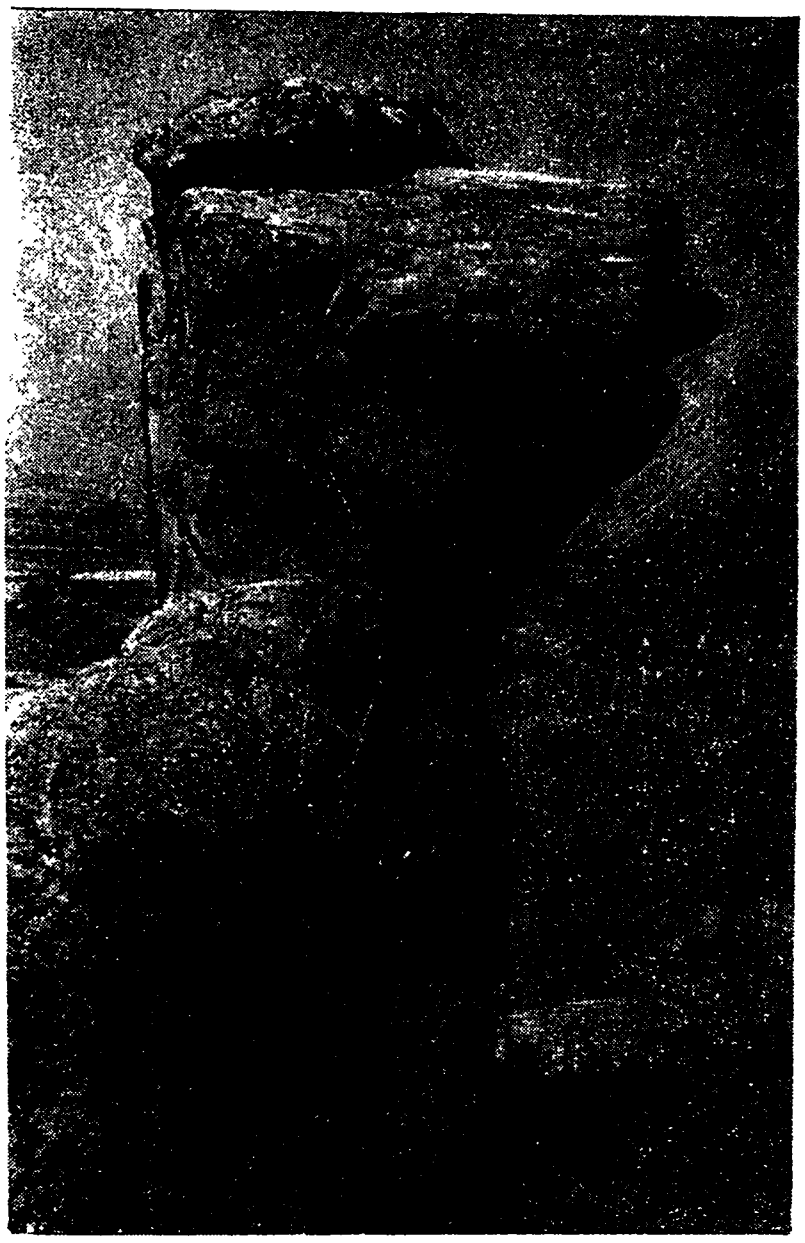
როგორც კი ზღვა უკან დაიხევს და მის ადგილს მთა დაიჭერს, დედამიწის ზედაპირზე მოქმედებას იწყებს წვიმის წყალი, მდინარეები, ქარი და სხვა გარეგანი ძალები. ისინი ანგრევენ მთებს და ქმნიან მათთვის დამახასიათებელ რთულ რელიეფს.



ქანების შრეები დანაოჭებულია.

საიდან ჩნდება ის შინაგანი ძალა, რომელსაც შეუძლია ნალექების ასეთი სქელი ფენების გაღუნვა და მთების წარმოქმნა? ეს საკითხი ჯერჯერობით საბოლოოდ გადაწყვეტილი არ არის. საფიქრებელია, რომ მთავარია:

სიმძიმის ძალა. ფორმის მიხედვით დედამიწა თითქმის წესიერი სფეროა. ასეთი მოყვანილობა იმით აიხსნება, რომ დედამიწის ყველა ნაწილაკი, რომლებიც ერთმანეთს იზიდავენ, ცენტრისაკენ მიიზიდება და ამის შედეგად ცენტრის მიმართ სიმეტრიულად, ანუ სფეროს ფორმით ლაგდება. გარდა ამისა, დედამიწის სიზრქეში მასალების განაწილებისას წარმოქმნილი ყოველგვარი უსწორობა დროთა განმავლობაში სიმძიმის ძალის გავლენით ისპო-



ეს უცნაური კლდე წარმოიშვა მრავალი საუკუნის განმავლობაში ქარების, წვიმის წყლის, მიკროორგანიზმებისა და ტემპერატურის მოქმედებით.

კოსმოსური წარმოშობის ძალები ეწოდება მთვარის, მზისა და მზის სისტემის სხვა სხეულების გავლენას დედამიწაზე. მათი ზეჰოქმედების შედეგად დედამიწა, როგორც პლანეტა, განიცდის მუდმივად ცვლად დაძაბულობას. ესეც დედამიწის შრენარში მოძრაობას უწყობს ხელს.

არსებობს სხვა ძალებიც, მაგრამ ძნელია იმის თქმა, რომელი მათგანია მთავარი. გაანგარიშების მიხედვით დადგენილია, რომ დედამიწის წიაღში მართლაც უზარმაზარი ძალები იმალება, რომლებსაც არა მარტო მთების წარმოქმნა, მთელი მატერიკების გადაადგილებაც კი შეუძლიათ.

მთების განვითარების პროცესი დღესაც არ შეწყვეტილა. ისინი ახლაც განაგრძობენ ზრდას, მათი აგებულება დღესაც თანდათან რთულდება. ამჟამად შინაგანი ძალების მოქმედების აშკარა დამამტკიცებელია მიწისძვრები და მოქმედი ვულკანები.

როცა ვულკანის ამოფრქვევას ვაკვირდებით, ვხედავთ, როგორ ამოდის მაგმა მიწის წიაღიდან და როგორ იღვრება მის ზედაპირზე. ძლიერი მიწისძვრის დროს შეიძლება უშუალოდ დავინახოთ, როგორ იცვლება დედამიწის ზედაპირი შინაგანი ბიძგების დროს: ჩნდება ბზარები, ზოგი უბანი დაბლა იწევს, ზოგი კი — მაღლა.

არის სხვა საშუალებები, რომლებითაც შეიძლება იმის დადასტურება, რომ მთები დღესაც ვითარდება. აბა, კარგად დავაკვირდეთ მდინარის ტერასებს.

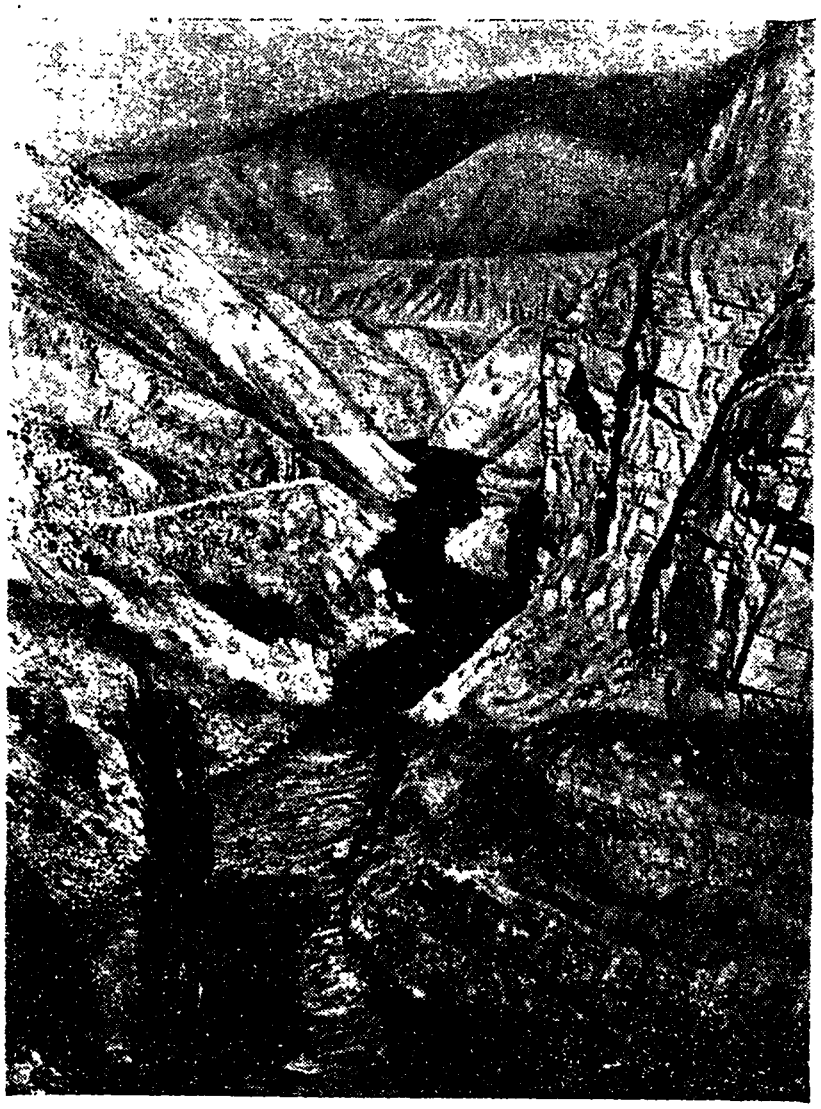
ყოველი მთის მდინარე, რომელიც დაბლობში ჩამოდის, თავის ხეობას ამუშავებს. თუ ქედი მაღლა იწევს, მდინარე იძულებულია გაიღრმავოს კალაპოტი. იგი ღრმად იჭრება ქანებში და ციცაბო ბა. შედარებით მძიმე მასები ქვევით მიიწევს, უფრო მსუბუქი კი ზევით.

მთელი დედამიწის მასშტაბით ეს იწვევს დეფორმაციებს, ნაოჭებს, წარმოქმნის მთებს.

სითბო. დედამიწის შიგა ნაწილები გახურებულია და, როგორც ჩანს, კვლავ ხურდება რადიოაქტიურ ნივთიერებათა ზეგავლენით. დიდი ტემპერატურის გამო დედამიწის შიგნით მოქცეული ქანები თითქმის გამლღვალია, ზოგან კი მთლად გათხევადებული, რაც მასების გადაადგილებას აადვილებს. ამასთან, დედამიწაში სითბო არათანაბრადაა განაწილებული, ეს კი დამატებით ძალებს წარმოქმნის მასების გადასაადგილებლად.



ახალგაზრდა მთები.



მდინარეები მთების დამანგრეველი მთავარი ძალაა. ისინი ყველაზე მაგარ ქანებსაც კი რეცხავენ. ეს მდინარე განუწყვეტლივ „ხერხავს“ ქანებს და იღრმავებს კალაპოტს.

ფერდობებიან ხეობას ქმნის. მაგრამ მდინარის ადრინდელი დონის კვალი ალაგ-ალაგ ინახება და მათი აღმოჩენა მთის ფერდობებზე სხვადასხვა სიმაღლეზე შეიძლება. ძველი ხეობების ისეთ ნარჩენებს, რომლებიც მდინარის ახლანდელი კალაპოტის ზევით მდებარეობს, ტერასები ეწოდება. სწორედ ეს ტერასები მოწმობს, რომ მთების წარმოშობა დღესაც გრძელდება.

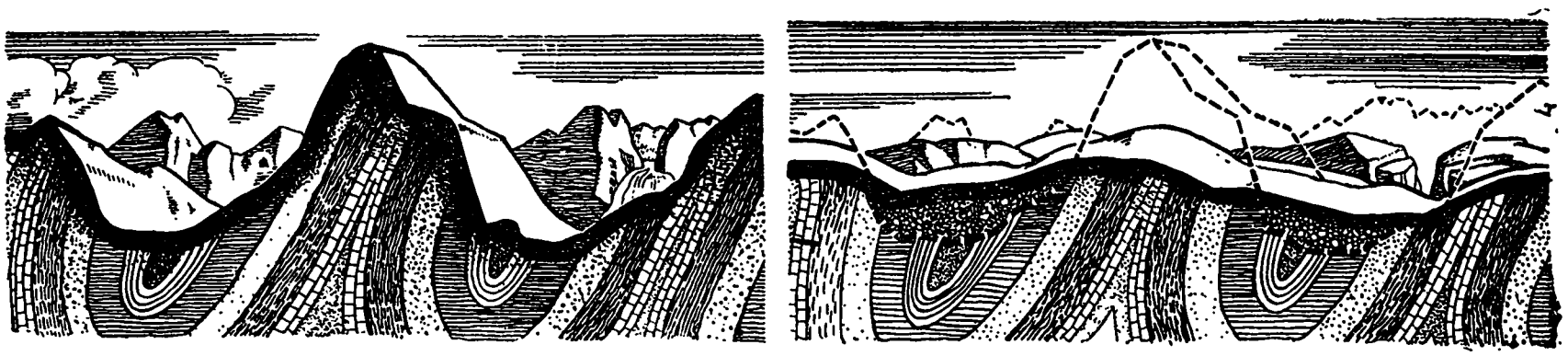
ჩვენ გავიგეთ, როგორ წარმოიქმნება მთები. მაგრამ როგორღა ინგრევა ისინი? და ინგრევა თუ არა საერთოდ? დედამიწაზე ყველაფერი მოძრაობს. ყველაფერი იქმნება და ინგრევა, ინგრევა მთებიც. მთების დანგრევაში განუწყვეტლივ მონაწილეობს სხვადასხვაგვარი გარეგანი ძალა.

ნგრევის პროცესი ზედაპირიდან იწყება. დღისით კლდე მზეზე ხურდება, ღამით კი ცივდება. გახურებისას ქვები ფართოვდება, გაცივებისას — იკუმშება. წლიდან წლამდე ასეთი ყოველდღიური ცვლილების გამო ბოლოს და ბოლოს კლდეს ნაპრალები უჩნდება. ნაპრალებში წყალი შედის, ზამთრის სუსხიან დღეებში იგი იყინება და დიდი ძალით აფართოებს ნაპრალს. ნაპრალებში აღწევს აგრეთვე მცენარეთა ფესვები და ღონივრად აწვება კედლებს. ფესვები კედლებს მიეზრდება ხოლმე და იქიდან თავის საკვებად საჭირო წყალსა და მარილებს ისრუტავს, რის შედეგადაც თანდათან შლის ქვის ზედაპირს. ამას ერთვის ბაქტერიების მოქმედებაც, რომლებიც ქიმიურად ამუშავებენ ქანის შემადგენელ ნივთიერებას და ნიადაგად აქცევენ მას. ყველა ამ პროცესს გამოფიტვა ეწოდება. გამოფიტვის შედეგად დედამიწის ზედაპირზე ჩნდება ნაშალი ქანების შრე, რომელსაც ელუვი ჰქვია.

წვიმა რეცხავს ელუვის და იგი ძირს, მდინარეთა ხეობებში ჩამოაქვს. მთის ჩქარ მდინარეებს დი-



კარსტული სიცარიელეები.



მთების ნგრევის სქემა.

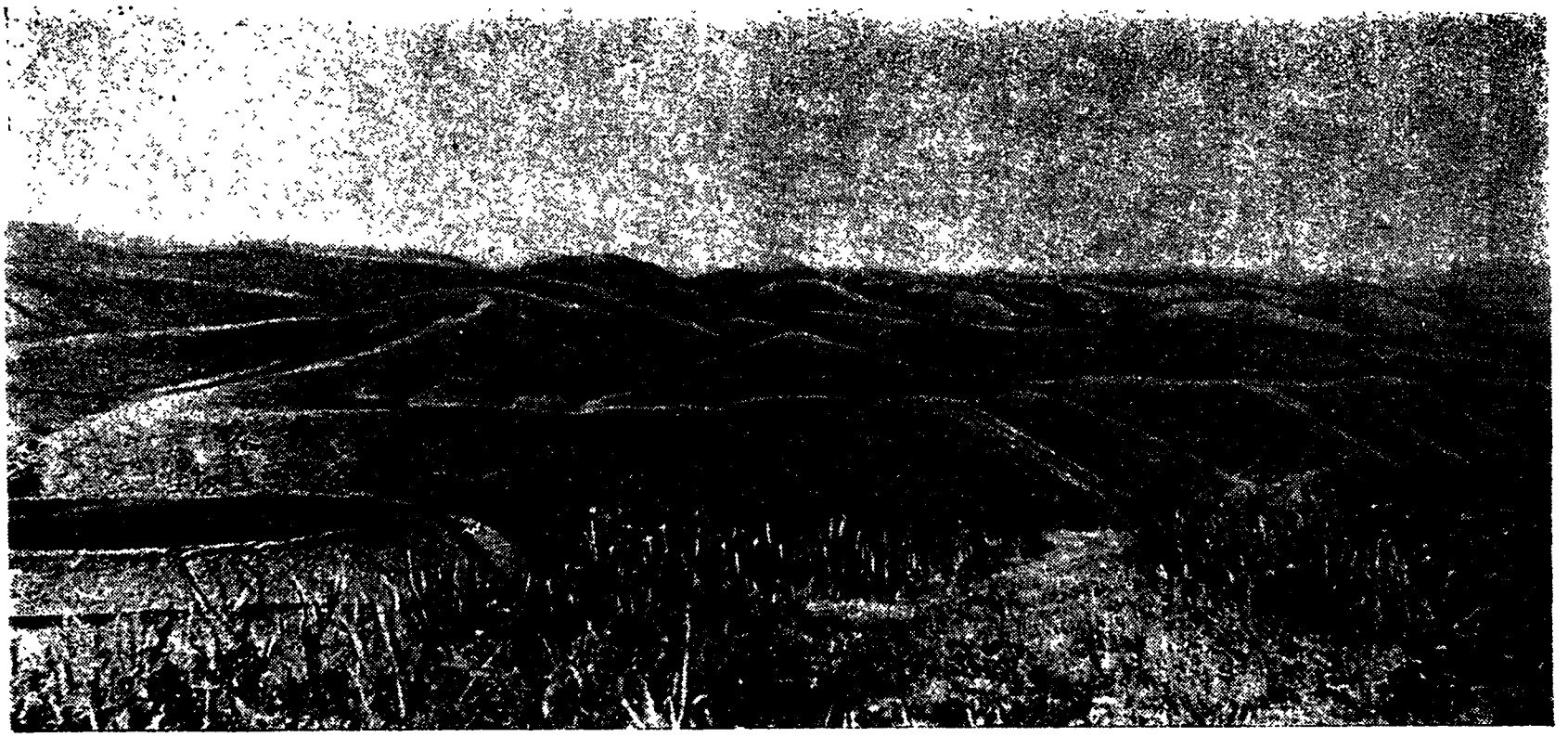
დი ძალა აქვთ და თან მიაქვთ ქანების ნამტვრევები.

ამას გარდა, მდინარის წყალი თვით იღრმავებს კალაპოტს, ასე ვთქვათ, ხერხავს მთებს. მას დიდად ეხმარება თან წამოღებული ქვებიც, რომლებიც ფსკერზე ხერხივით მოქმედებენ.

მდინარეები ადვილად შლიან ფხვიერ, სუსტ ქანებს. მაგრამ მათ იმის ძალაც გააჩნიათ, რომ დაშალონ ყველაზე მაგარი ქანებიც, ისეთები, როგორიცაა გრანიტი და კირქვა. მთიან მხარეებში ხშირად გვხვდება ღრმა ხეობები, რომელთა კედლები ძალიან მტკიცე ქანებისაგან შედგება, მაგრამ მიუხედავად ამისა, ამ ხეობების სიღრმეში მაინც მოქუხს წყლის ნაკადი და თანდათან იღრმავებს კალაპოტს.

წვიმის შედეგად წარმოშობილი დროებითი და მუდმივი ნაკადები, მდინარეები მთების ძირითადი დამანგრეველი ძალაა.

დიდი მნიშვნელობა აქვს სხვა გარეგან ძალებსაც, მაგალითად, ქარს. ერთი შეხედვით ქარს დიდი მნიშვნელობა არ უნდა ჰქონდეს, მაგრამ იგი განუწყვეტლივ მოქმედებს — წლიდან წლამდე, საუკუნიდან საუკუნემდე. ქარი დედამიწიდან ხვეტს ნიადაგისა და ქვიშის წვრილ მარცვლებს, თან მიაქვს და ამ ნამცეცებით ჭრის და ასწორებს კლდეების გაშიშვლებულ ზედაპირებს. ამ დროს წარმოიქმნება ზედაპირის ორიგინალური ფორმები: ხან ძველი ციხე-კოშკის მაგვარი, ხან კი რომელიმე ცხოველის მსგავსი უცნაური კლდეები და სხვ.



უძველესი მთები.

მაღალმთიან რაიონებში, სადაც მთები თოვლით და ყინულითაა დაფარული, დიდ დამანგრეველ სამუშაოს ასრულებენ ყინვარები: უზარმაზარი სისქის ყინულები სიმძიმის გამო ძირს, ველებისაკენ მოცოცავენ. ამ დროს ისინი გზას „ხნავენ“, აღრმავებენ და თან მიაქვთ ქანების უამრავი ნამტვრევი. ასეთი ნამტვრევები ყინვარის ბოლოში გროვდებიან და წარმოქმნიან ე. წ. მორენებს.

დაბოლოს, მთების ნგრევას ხელს უწყობს მიწისქვეშა წყლებიც, რომლებიც ნაპრალების საშუალებით დედამიწის სიღრმეში აღწევენ, რეცხავენ ქანებს, ხსნიან მათ და თან მიაქვთ. ამის შედეგად ქანების წყებაში ჩნდება სიცარიელეები, გამოქვაბულები, ხოლო დედამიწის ზედაპირზე — დამახასიათებელი ფორმის ღრმულები, ნაპრალები და კლდეები. ყველა ამ მოვლენას კარსტი ეწოდება.

ამგვარად, მთების ნგრევაში მონაწილეობს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები, ყინვარები, ქარი, გამოფიტვის რთული ფიზიკურ-ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესები.

ამ ძალების ნაკვალევი მთაში ყველგან აშკარად ჩანს. აქედან გამომდინარე, მთები თავიანთი შინაგანი აგებულების თავისებურებითა და გარეგნული ფორმით შექმნილია შინაგანი და გარეგანი ძალების ერთდროული მოქმედების შედეგად. მთები განუწყვეტლივ იქმნება და ასევე განუწყვეტლივ ინგრევა.

როცა შინაგანი ძალა ჭარბობს, მაშინ მთები იზრდება, ხოლო როცა გარეგანი — თანდათან ქრება და მათ ადგილს მოსწორებული ვაკე იჭერს.

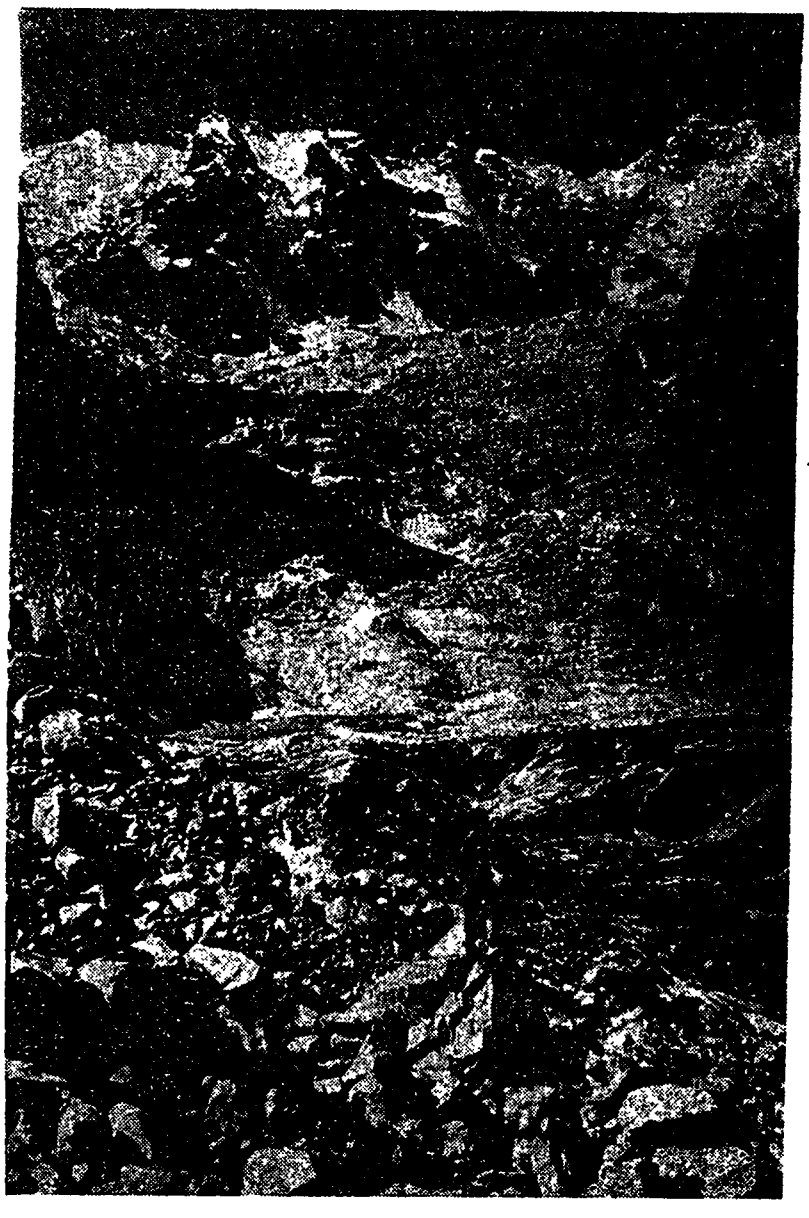
არსებობს ა ხ ა ლ გ ა ზ რ დ ა და უ ძ ვ ე ლ ე ს ი მთები.

ა ხ ა ლ გ ა ზ რ დ ა მ თ ე ბ ი ისეთი მთებია, რომლებიც სწრაფად იზრდება. ამის მაგალითად შეგვიძლია კავკასიონი დავასახელოთ. უ ძ ვ ე ლ ე ს მთებში შინაგანი პროცესები უკვე დიდი ხანია შეწყვეტილია, გარეგანი ძალები კი ისევ განაგრძობენ მათ ნგრევას. ასეთია, მაგალითად, ურალი. დღეს ბევრ ვაკე ადგილას დაინახავთ ისეთ ნიშნებს, რომელთა მიხედვითაც შეიძლება დავასკვნათ, რომ ოდესღაც, ასობით მილიონი წლის წინათ, აქ მთები იყო. ამ მთებიდან მხოლოდ „ფესვებია“ დარჩენილი და მათ უფრო ახალგაზრდა ფხვიერი დანალექის შრე აკრავს.

ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიაზე უზარმაზარი სივრცე უჭირავს დაბლობებს. შინაგანი ძალები კარგა ხანია აქ აღარ მოქმედებს, ხოლო გარეგანი ძალზე სუსტად ვლინდება. ამ ადგილებში არც ქედებია, არც ვულკანები და არც მიწისძვრები. ასეთებია, მაგალითად, აღმოსავლეთ ევროპის ვაკე და დასავლეთ ციმბირის დაბლობი.

ბევრი უძველესი მთა — ურალი, ტიმანი, ენისეის ქედი და სხვა — ჯერ კიდევ არ არის ბოლომდე დანგრეული.

ჩვენი ქვეყნის აღმოსავლეთ ნაწილსა და სამხრეთ საზღვართან გადაჭიმულია ახალგაზრდა მთები, რომელთა მიდამოებში შინაგანი ძალები მეტად ენერგიულად მოქმედებენ. მთები იზრდება, მათ ზრდას თან ახლავს მიწისძვრები და ალაგ-ალაგ ვულკანების ამოფრქვევაც. ასეთებია კარპატები,



წინა პლანზე მოჩანს ყინვარული მორენა. ქანების ნამტვრევების ეს უზარმაზარი მასა მთიდან დაცურებულმა ყინვარმა ჩამოიტანა.

კავკასიონი, კოპეტ-დაღი, პამირი და კამჩატკის ქედი.

მთებისა და მათი შემადგენელი ქანების შესწავლას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. იმისათვის, რომ სასარგებლო ნამარხების საბადოების ძებნა წარმატებით დამთავრდეს, საჭიროა დაწვრილებით ვიცნობდეთ მთების აგებულებას, მათი განვითარების კანონზომიერებას, ისტორიასა და დედამიწის სიღრმეში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს.

სწორედ ამ საკითხებს შეისწავლის გეოლოგია— მეცნიერება დედამიწის აგებულებისა და განვითარების შესახებ. ჩვენს ქვეყანაში უამრავი გეოლოგიური დაწესებულებაა, ათასობით გეოლოგი სწავლობს მთიანი და ვაკე რაიონების შემადგენლობას სასარგებლო ნამარხების ძებნისას. ბევრ საშუალო სკოლაში არსებობს გეოლოგიური წრე. კომკავშირელები და პიონერები გეოლოგიურ ექსპედიციებში მონაწილეობენ და ამით დიდად ეხმარებიან გეოლოგებს.

საბჭოთა ხელისუფლების წლებში გეოლოგებმა თვალსაჩინო წარმატებებს მიაღწიეს, მაგრამ მომავალ გეოლოგებს, ჩვენი თვალუწვდენელი სამშობლოს მიწის წიაღის მზვერავებს, კიდევ ბევრი საინტერესო მოგზაურობა და აღმოჩენა ელით.

მიწისძვრები

„5 საათსა და 20 წუთზე მიწა იძრა, მისი პირველი რყევა გრძელდებოდა თითქმის ათი წამი. ფანჯრის ჩარჩოებისა და კარის საკეტების ჭრაჭუნმა და მტვრევამ, ჩამოვარდნილი კიბეების ხმაურმა გააღვიძა მძინარენი: ადამიანები წამოხტნენ, ისინი მთელი სხეულით შეიგრძნობდნენ ამ მიწისქვეშა ბიძგებს. ირხეოდა კედლები, მოცვიოდა მოწყვეტილი თაროები, ჭურჭელი, სურათები, სარკეები. თრთოდა იატაკი, ოთახში ავეჯი მოძრაობდა, ყირავდებოდა კარადები, ხტუნავდა მაგიდები... ჭერი ისე ირხეოდა, თითქოს ქაღალდისააო, ცვიოდა ბათქაში. ბნელოდა და ამ სიბნელეში საგნები და ადამიანები ბარბაცებდნენ, ეცემოდნენ და ხმაურით იჩეხებოდნენ რომელიღაც მოულოდნელად წარმოქმნილ უფსკრულში... მიწა ყრუდ გუგუნებდა, კვნესოდა, იბურცებოდა ფეხქვეშ, თითქოს ღელავდა და ღრმა ნაპრალებს ქმნიდა. შენობები ირყეოდა და იხრებოდა, მათ თეთრ კედლებზე ელვის სისწრაფით





გარიბალდის ქუჩა ქალაქ მესინაში მიწისძვრამდე.

← იგივე ქუჩა მიწისძვრის შემდეგ.

ჩნდებოდა ბზარები, კედლები ინგრეოდა, ქუჩები და მათ შორის ადამიანებიც იფარებოდა ქვის ნატეხების მძიმე გროვებით...

ზღვა უზარმაზარი ფინჯნის მსგავსად ქანაობდა და მზად იყო თავს დასტეხოდა ქალაქის ნანგრევებს... ისეთი შთაბეჭდილება რჩებოდა, თითქოს მთელი ეს მღელვარე მასა უკანასკნელ წვეთამდე მიწაზე გადმოღვრას ლამობსო.

აი, ცისკენ აღიმართა უზარმაზარი სიმაღლის ტალღა, დაფარა ცის ნახევარი, თეთრი ფაფარის ქნევით მოიხარა, მოწყდა, დაეცა ნაპირზე და საშინელი სიმძიმით გადაემხო გვამებს, შენობებს, ნამსხვრევებს, გაჭყლიტა, დაახრჩო ცოცხლები, მაგრამ ვერ გაჩერდა ნაპირზე, მიაწყდა უკან და თან წაიღო ყველაფერი, რასაც კი მისწვდა...“

ასე აღწერდა ალექსეი მაქსიმეს ძე გორკი იტალიის ქალაქ მესინაში 1908 წ. 28 დეკემბერს მომხდარ ამბებს.

რა იყო ამ კატასტროფის მიზეზი?

წარმოიდგინეთ მაგიდა, რომელზედაც აღმართულია სათამაშო ქვეყანა, გაკეთებულია სილის მთები, ტბის ნაცვლად სილაში ჩაფლულია წყლით სავსე ტაფა; მთის ძირთან განლაგებულია კუბურებისაგან აგებული მთელი ქალაქი. როგორ შეიძლება ერთბაშად დაინგრეს მთელი ეს ნაგებობა? რამდენიმე წამში მთელი სათამაშო ქვეყნის დანგრევა შეიძლება ძალიან ადვილად, თუ მაგიდას ძლიერად დავარტყამთ, არა ზემოდან, არამედ ქვემოდან. მაშასადამე, „კატასტროფის“ მთავარი მიზეზი იქნება დარტყმით გამოწვეული მაგიდის შერყევა.

დიდ ქალაქებშიც ნამდვილი შენობების შერყევა და დანგრევა, ტბებისა და მდინარეების კალაპოტიდან გადმოსვლა, დედამიწის ზედაპირზე უზარმაზარი ნაპრალების გაჩენა შეუძლია მხოლოდ თვითონ მიწის ძლიერ ბიძგებსა და რყევას.

რა ხდება ძლიერი მიწისძვრების დროს

მიწისძვრა იწყება მიწის სიღრმეში ქანების გაწყვეტითა და გადაადგილებით. ამ ადგილს მ ი წ ი ს ძ ვ რ ი ს კ ე რ ა ს, ანუ ჰ ი პ ო ც ე ნ ტ რ ს უწოდებენ. მისი სიღრმე ჩვეულებრივ 30 კმ-ზე მეტი არ არის, მაგრამ ზოგჯერ 700 კმ-საც აღწევს. ზოგჯერ მიწისძვრის კერა მიწის ზედაპირთან ახლოს მდებარეობს. ასეთ შემთხვევაში, თუ მიწისძვრა ძლიერია, ხიდები, გზები, სახლები და ნაგებობანი მთლიანად ინგრევა.

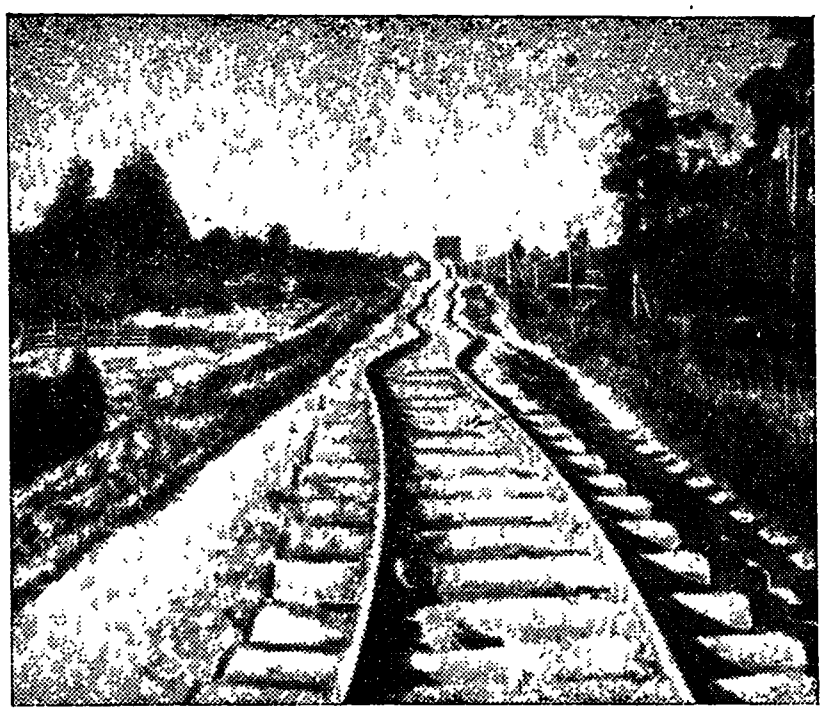
მიწისძვრის კერის ზემოთ მდებარე ნაკვეთს, რომლის ფარგლებშიც ბიძგების ძალა ყველაზე დიდია, ე პ ი ც ე ნ ტ რ ი ეწოდება.

ზოგჯერ ნაპრალის აქეთ და იქით მდებარე შრეები ერთმანეთს შეაცოცდება. ზოგჯერ ნაპრალის ერთ მხარეზე მიწა ძირს იწევს და ქმნის ნასხლეტს. იმ ადგილებში, სადაც ეს ნასხლეტები მდინარეთა კალაპოტებს კვეთს, წარმოიქმნება ჩანჩქერები. მიწისქვეშა გამოქვაბულების თაღები ნაპრალიანდება და ჩამოიქცევა. არის შემთხვევები, როცა მიწისძვრის შემდეგ მიწის დიდი ნაწილი ჩაიქცევა და წყლით იფარება. მიწისქვეშა ბიძგები ფერდობებიდან აცურებს ნიადაგის ზედა, ფხვიერ შრეებს და ქმნის ზვავებსა და მეწყერებს. კალიფორნიაში 1906 წ. მიწისძვრის დროს წარმოიქმნა ღრმა ნაპრალი, რომლის სიგრძე 450 კმ იყო. ამ ნაპრალის გასწვრივ მოხდა ჰორიზონტალური გადაადგილება. ნაპრალის მახლობლად გზებმა 7 მ-ით მოიცვალა ადგილი. გობის (მონღოლეთი) მიწისძვრის დროს 1957 წ. 4 დეკემბერს წარმოიშვა 250 კმ სიგრძის ნაპრალები, რომელთა გასწვრივაც 12 მ სიმაღლის შვერილები წარმოიქმნა.

ცხადია, რომ მიწის დიდი მასების მკვეთრ გადაადგილებას მიწისძვრის კერაში უდიდესი ძალის დარტყმა უნდა მოსდევდეს.

ერთი წლის განმავლობაში ადამიანებმა შეიძლება შეიგრძნონ 10 000-მდე მიწისძვრა. მათ შორის დაახლოებით 100 შეიძლება აღმოჩნდეს დამანგრეველი. თანამედროვე ზუსტი ხელსაწყოები ჩვენს პლანეტაზე ყოველწლიურად 10 000-მდე მიწისძვრას ავლენს.

ხშირად მიწისძვრის კერა მდებარეობს ზღვის ფსკერის ქვეშ. ამ შემთხვევაში ზღვაზე წარმოიშვება უზარმაზარი ტალღები. მაგალითად, 1755 წ. ლისაბონის მიწისძვრის დროს პორტუგალიის სანაპიროს 12 მ სიმაღლის ტალღა მოაწყდა, ხოლო ძლიერი ღელვა ატლანტის ოკეანის მეორე მხარეზე, სამხრეთ ამერიკის სანაპიროებზეც კი შეამჩნიეს. 1952 წლის 4 ნოემბრის ღამეს კამჩატკის ნაპირებთან უზარმაზარი ზღვის ტალღები წარმოიშვა, რომელთა სიმაღლე 7 — 8 მ აღწევდა. ასეთივე ვეებერთელა ტალღები წარმოშვა ჩილის მიწისძვრამ 1960 წ. 22 მაისს. ტალღები მთელი ოცდაოთხი საათის განმავლობაში დანავარდობდნენ წყნარი ოკე-



მიწისძვრის შედეგად რკინიგზა გამრუდდა.

ანის ზედაპირზე და მის მოპირდაპირე ნაპირებსაც კი აღწევდნენ. იაპონიაში მათი სიმაღლე 19 მ უდრიდა. სანაპირო ზოლი მთლიანად წყალმა დაფარა. საერთოდ კი მიწისქვეშა ბიძგების უმეტესობა ძლიერ სუსტია. ამ ბიძგებს იგებენ მხოლოდ ს ე ი ს მ ო ლ ო გ ე ბ ი[1], მეცნიერები, რომლებიც საგანგებოდ სწავლობენ მიწისძვრებს. კატასტროფები, როგორიც მესინაში, კალიფორნიასა და ჩილიში მოხდა, საკმაოდ იშვიათი მოვლენაა. 1964 წ. ძლიერი მიწისძვრა მოხდა იაპონიაში.

მიწისძვრის ძალას განსაზღვრავენ ბალებით. მეცნიერებმა განსაკუთრებული ცხრილი შეადგინეს მიწისძვრების ძალის ბალებში განსასაზღვრავად (იხ. გვ. 85).

სად და რატომ ხდება მიწისძვრები

ბევრმა თქვენგანმა ალბათ იფიქრა — „შეიძლება თუ არა მოხდეს ძლიერი მიწისძვრა იქ, სადაც მე ვცხოვრობ?“

მეცნიერებმა შეადგინეს განსაკუთრებული რუკა, რომელზეც ნაჩვენებია, როგორი ძალის მიწისძვრები შეიძლება მოხდეს ჩვენი ქვეყნის სხვადასხვა რაიონში. საბჭოთა კავშირის უდიდეს ნაწილს დამანგრეველი მიწისძვრები არ ემუქრება. მსგავსი მიწისძვრები უმეტესად ხდება მთიან რაიონებში: კარპატებში, ყირიმში, კავკასიაში, პამირის მთებში, კოპეტ-დაღში, ტიან-შანში, დასავლეთ და აღმოსავლეთ ციმბირში, ბაიკალისპირეთში, კამჩატკაზე, კურილის კუნძულებზე და არქტიკაშიც კი. ეს აიხსნება იმით, რომ ასეთ ადგილებში მიწის ქერქი ნაკლებად მტკიცეა და მოძრავი. ესაა „ახალგაზრდა“ მთების მხარეები. ამგვარად, მიწისძვრები დაკავშირებულია მთების წარმოქმნის პროცესთან და ჩნდება მიწის ქერქში ნასხლეტების, შეცოცებებისა და სხვა ცვლილებების დროს. ასეთ მიწისძვრებს ტ ე ქ ტ ო ნ ი კ უ რ ი ეწოდება. მათ მიეკუთვნება მიწისძვრების უდიდესი ნაწილი.

არსებობს კიდევ ვ უ ლ კ ა ნ უ რ ი მიწისძვრები. ლავას და გავარვარებულ ვულკანურ გაზებს შეუძ-



ეს ღრმა ნაპრალი წარმოიშვა მიწისძვრის დროს ქ. ვერნის (ალმა-ატა) რაიონში 1911 წ.

[1] ბერძნული სიტყვიდან „სეისმოს“ — რყევა, რხევა, მიწისძვრა და „ლოგოს“ — მეცნიერება.

ლიათ უბიძგონ მიწის ზედა ფენებს, ისევე როგორც მდუღარე წყლის ორთქლი უბიძგებს ჩაიდნის სახუ-რავს. მსგავსი მიწისძვრები საკმაოდ სუსტია, მაგ-რამ დიდხანს გრძელდება, ზოგჯერ რამდენიმე კვი-რა და თვეებიც კი. ხანდახან ასეთი მიწისძვრები ვულკანის ამოფრქვევამდე ხდება ხოლმე და მოახ-ლოებულ კატასტროფას გვამცნობს.

მიწისძვრა შეიძლება გამოიწვიოს აგრეთვე ზვა-ვებმა და მეწყერებმა. ასე წარმოიქმნება ადგილობ-რივი ზ ვ ა ვ უ რ ი მიწისძვრები.

როგორ სწავლობენ მიწისძვრებს

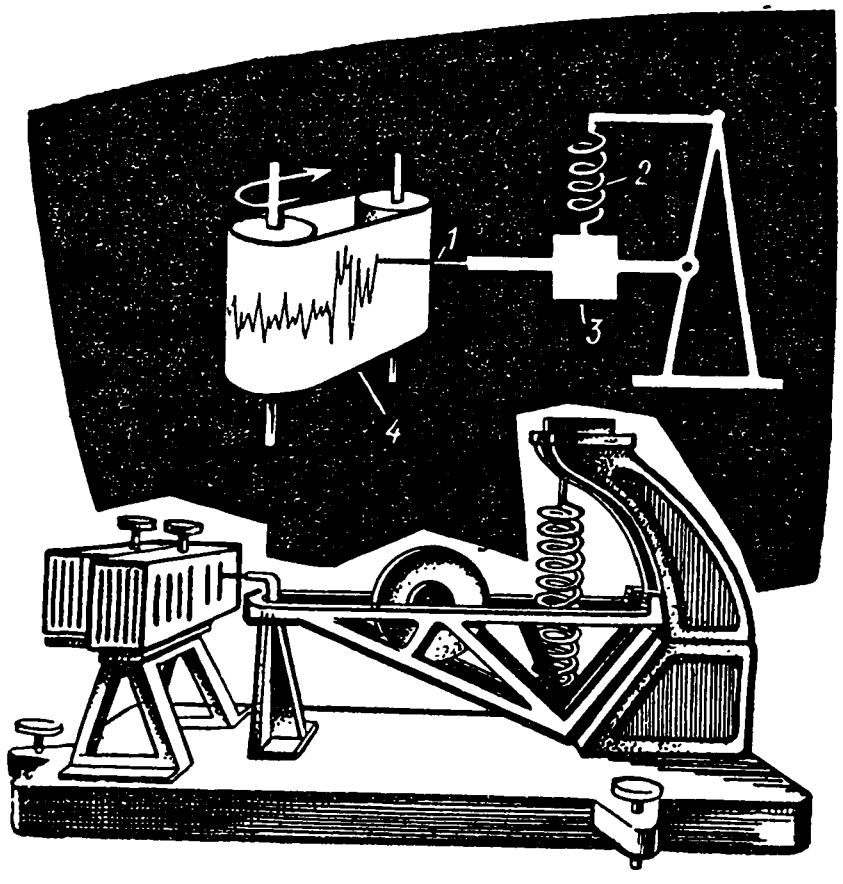
ძლიერი მიწისძვრიდან დაახლოებით 20 წუთის შემდეგ ბუნების ეს მოვლენა შეიძლება მთელი დე-დამიწის სეისმოლოგებმა გაიგონ. ამისათვის არაა საჭირო არც რადიო და არც ტელეგრაფი. მიწის-ძვრის მაცნე თვით მიწისძვრაა.

როგორ ხდება ეს? მიწისძვრის დროს ქანების ნაწილაკები ირხევა. ეს ნაწილაკები მოძრაობას გა-დასცემენ მეზობელ ნაწილაკებს, ისინი — სხვებს და იწყება მოძრაობა დრეკადი ტალღის სახით, რაც ჯაჭვისებურად გადაეცემა ყოველმხრივ. ამასთან, მიწისძვრის კერიდან დაშორების მიხედვით, ტალღა სუსტდება.

ასეთი დრეკადი ტალღების შესახებ შეიძლება წარმოდგენა მოგვცეს საბარგო მანქანამ, როცა ის ოღროჩოღრო გზაზე მიდის. დრეკადი ტალღები არ-ყევს ახლომახლო სახლებს. ცნობილია, მაგალითად, რომ დრეკადი ტალღები მატარებლიდან შორს გა-დაიცემა რელსების საშუალებით და მათ თანაბრად, ოდნავ გასაგონად ახმაურებს.

დრეკად ტალღებს, რომლებიც წარმოიქმნება მიწისძვრის დროს, ეწოდება ს ე ი ს მ უ რ ი ტალ-ღები. მათ შორის ყველაზე სწრაფი ტალღები მიწის ზედაპირულ შრეებში 5-დან 8 კმ/წმ სიჩქარით ვრცელდება, სიღრმეში კი — 13 კმ/წმ-მდე.

როცა ავტობუსი უეცრად მოსწყდება ადგილს, თქვენი სხეული ცდილობს შეინარჩუნოს უძრავი მდგომარეობა. ფეხები, რომლებიც ეყრდნობა ავ-ტობუსის იატაკს, თითქოს გეკვეთებათ და უკან ვარდებით. პირველადი უძრავი მდგომარეობის ან თანაბარი მოძრაობის შენარჩუნების თვისებას ინერცია ეწოდება. ინერციის ამ თვისებას იყენებენ განსაკუთრებულ ხელსაწყოში — სეისმოგრაფში, რომელიც მიწისძვრებს იწერს. სეისმოგრაფის მთა-ვარი ნაწილი — ქანქარა — წარმოადგენს ტვირთს; იგი ჩამოკიდებულია კედლის საათის ქანქარის მსგავსად, ან როგორც ტვირთი ცალსასწორის ზამ-ბარაზე. როცა ნიადაგი ირყევა, სეისმოგრაფის ქან-ქარის მოძრაობა ჩამორჩება ნიადაგის მოძრაობას.

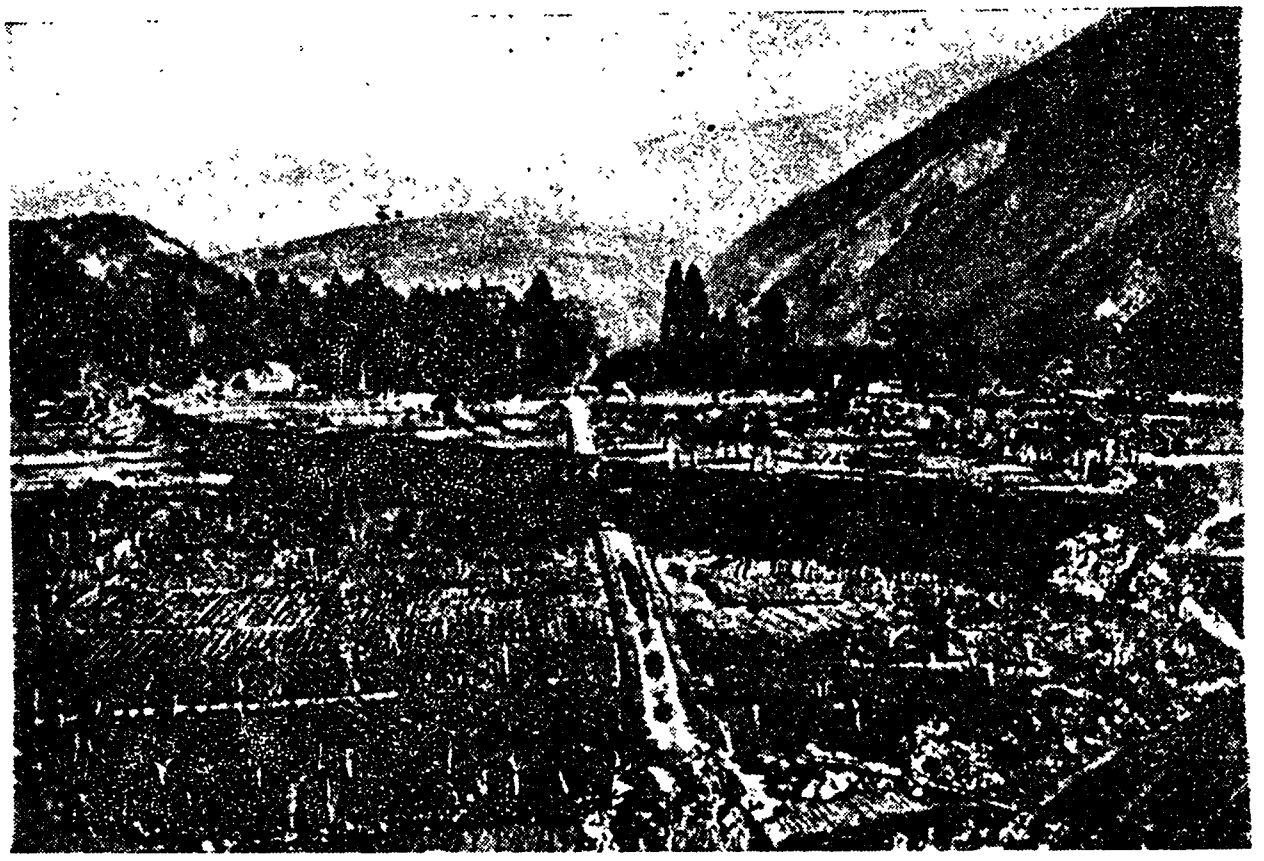


სეისმოგრაფი მიწისძვრის აღმნიშვნელი ხელსაწყოა. იგი იმ-დენად მგრძნობიარეა, რომ რამდენიმე ათას კილომეტრზე მომხდარ მიწისძვრასაც კი იწერს. ზევით არის სქემა, რომელ-ზეც ნაჩვენებია სეისმოგრაფის მოქმედება: 1 — ჩამწერი კა-ლამი; 2 — სპირალი; 3 — ტვირთი; 4 — მოძრავი ლენტი. ქვე-ვით — სეისმოგრაფის საერთო ხედია.

მიწისძვრის ჩაწერა

ვთქვათ ავტობუსში დგახართ, თუ მანქანა სწრა-ფად დაიძრა, თქვენ უკან გადაიხრებით, ხოლო უეცარი შეჩერებისას — წინ. რატომ ხდება ეს?

თუ ქანქარაზე მივამაგრებთ ნემსს, რომელიც მიე-დება შეჭვარტლულ მინას ისე, რომ ნემსი მხოლოდ მინის ზედაპირს ეხებოდეს, მივიღებთ ყველაზე მარ-ტივ სეისმოგრაფს, რომლითაც წინათ სარგებლობ-დნენ. ნიადაგი და მასთან ერთად მინის ფირფიტა



იაპონიაში 1891 წ. მიწისძვრის შემდეგ ველად, სადაც კზა გადიოდა, გაჩნდა 6 მ სიმაღლის ბექობი.

ირხევა ხოლმე, ქანქარა და ნემსი კი უძრავად რჩება და გამურული მინის ზედაპირზე ნემსი ხაზავს მიწის რხევის მრუდს.

ქანქარის ტვირთს ნემსის ნაცვლად რომ სარკე მივამაგროთ, რომელზეც სინათლის სხივი ეცემა, სხივის ანარეკლის მოძრაობა მოგვცემს მიწის რხევის გადიდებულ გამოსახულებას. ანარეკლ სინათლეს უხვევდრებენ ფოტოქაღალდისაგან დამზადებულ თანაბრად მოძრავ ლენტს. გამომჟღავნების შემდეგ ამ ლენტზე შეიძლება დავინახოთ ჩაწერილი რხევები — მიწის რხევის მრუდი დროის მიხედვით.

მეცნიერების შესანიშნავი მიღწევაა ელექტრული სეისმოგრაფი, რომლითაც ნიადაგის უმცირეს რხევებს იწერენ. იგი გამოიგონა აკადემიკოსმა ბ. გოლიცინმა. ეს ხელსაწყო აღნუსხავს 20 000 კმ დაცილებით მომხდარ მიწისძვრებს. მაგალითად, სეისმურ სადგურ „მოსკოვში“ დადგმული გოლიცინის სეისმოგრაფები აღნიშნავენ მიწისძვრის რხევებს, რომლებიც ხდება სამხრეთ ამერიკასა და ანტარქტიდაში.

თუ მიწისძვრის კერა მოსკოვიდან 3000 კმ მანძილზე პამირის მთებში მდებარეობს, მაშინ მიწისძვრის დაწყებიდან რამდენიმე წუთის შემდეგ დრეკადი ტალღები მოსკოვამდე აღწევს.

მიწისძვრის აღმნუსხველ ჩანაწერს სეისმოგრამა ეწოდება. აკად. ბ. გოლიცინმა მიაგნო ხერხს, რომლის საშუალებით ერთი სადგურის სეისმოგრამითაც კი ხერხდება მიწისძვრის ადგილის დადგენა.

სეისმურ სადგურებში ხელსაწყოები დღე და ღამე მუშაობენ, უთვალთვალებენ სეისმურ ტალღებს — შორეული და ახლო მიწისქვეშა ბიძგების მაცნეებს. საბჭოთა კავშირში ასამდე კარგად მოწყობილი სეისმური სადგურია.

ეს სადგურები აღჭურვილია საბჭოთა მეცნიერების მიერ გამოგონილი უზუსტესი ხელსაწყოებით, რომლებშიც ავტომატიკაა გამოყენებული. დაკვირვებების შედეგად მიღებული რიგი მასალების დამუშავებისას გამოთვლებს ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები ასრულებენ.

სეისმური ტალღები ისეთ ადგილებში გადიან დედამიწის შიგნით, რომლებიც მიუწვდომელია ადამიანის თვალისათვის. ყველაფერი, რაც ამ ტალღებს გზაზე ხვდება, ასე თუ ისე ცვლის მათ. დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარე მიწისქვეშა ქანების სიმკვრივესა და სიმაგრეზეა დამოკიდებული.

სეისმოგრამის გაშიფრვა, სეისმური ტალღების მონათხრობის წაკითხვა, ე. ი. იმის გარკვევა, რასაც ისინი ხვდებიან მიწის სიღრმეში, რთული, მაგრამ საინტერესო ამოცანაა.

შეიძლება თუ არა მიწისძვრის მავნე შედეგების შესუსტება

კატასტროფული მიწისძვრები დიდხანს რჩება ადამიანთა მეხსიერებაში, როგორც საშინელი, გამოუსწორებელი უბედურება. 1897 წ. ინდოეთში მომხდარი მიწისძვრის დროს დიდ ფართობზე, რომელიც თითქმის სამჯერ აღემატებოდა ყირიმის ტერიტორიას, დაინგრა ყველა ქვის სახლი. 1923 წ. იაპონიის გრანდიოზული მიწისძვრის დროს დაიღუპა 90 000-ზე მეტი ადამიანი.

1960 წ. მაისში სამხრეთ ამერიკის წყნარი ოკეანის სანაპიროზე — ჩილიში — მოხდა რამდენიმე ძალიან მძლავრი და ბევრი სუსტი მიწისძვრა. ამათგან ყველაზე ძლიერი, რომელიც 22 მაისითაა დათარიღებული, 11 — 12 ბალს უდრიდა. ამ მიწისძვრის დროს 1 — 10 წამის განმავლობაში იმდენი ენერგია დაიხარჯა, რამდენის მოცემაც შეუძლია დნეპრჰესს რამდენიმე ათეული წლის მანძილზე.

მიწისძვრამ უზარმაზარ ფართობზე ყველაფერი დაანგრია, ჩილის პროვინციის თითქმის ნახევარი დაზარალდა. დაიღუპა 10 000-მდე კაცი, ხოლო 2 000 000-ზე მეტი უსახლკაროდ დარჩა. ნგრევა დაახლოებით 1000 კმ-ზე გავრცელდა წყნარი ოკეანის სანაპიროზე. ნანგრევებად იქცა დიდი ქალაქები: ვალდივია, პუერტო-მონტო და სხვ. მთებიდან ურიცხვი ზვავი და მეწყერი წამოვიდა. ჩილის მიწისძვრების შედეგად 14 ვულკანი ამოქმედდა.

კაპიტალისტური ქვეყნებისაგან განსხვავებით, ჩვენს ქვეყანაში იმ რაიონების მცხოვრებლები, სადაც მიწისძვრები ხდება, მაშინვე გრძნობენ მთელი საბჭოთა ხალხისა და საბჭოთა მთავრობის მზრუნველობას.

მომხდარი უბედურების შედეგების ლიკვიდირება აუცილებელია, მაგრამ ეს ჯერ კიდევ არაა საკმარისი. იმ ადგილებში, სადაც მიწისძვრებია მოსალოდნელი, უნდა აშენდეს განსაკუთრებით მკვიდრი შენობები. მიწისძვრა მკაცრი გამომცდელია. ის გამოცდის, როგორ არის აშენებული სახლი და რომელი სახის შენობაა უფრო გამძლე. მიწისძვრების შედეგების შესწავლის საფუძველზე იაპონიის, აშშ-ის და ჩვენი ქვეყნის ინჟინრებმა გამოიგონეს

ძალა ბალებში	მიწისძვრის დახასიათება
1	არ იგრძნობა. აღინიშნება მხოლოდ სპეციალური ხელსაწყოებით.
2	ძალიან სუსტი. შეიგრძნობენ მხოლოდ მეტად მგრძნობიარე შინაური ცხოველები და ზოგიერთი ადამიანი შენობების ზედა სართულებში.
3	სუსტი. შეიგრძნობა მხოლოდ ზოგიერთი შენობის შივნით, როგორც საბარგო მანქანის რყევა.
4	ზომიერი. ისმის იატაკის ფიცრებისა და კოჭების ჭრაჭუნი, ჭურჭლის წკრიალი, ავეჯის ძაგძაგი. შენობას შიგნით რყევას შეიგრძნობს ადამიანთა უმეტესობა.
5	საკმაოდ ძლიერი. ოთახებში იგრძნობა ბიძგები, როგორც მძიმე საგნების ვარდნისას. ხმაურით იღება და იხურება კარი, იმსხვრევა ფანჯრის მინები, ირხევა ჭაღები და ავეჯი, ჩერდება კედლის საათები. ირხევა ხის წვრილი ტოტები. მრავალი ადამიანი შეიგრძნობს შენობის გარეთაც.
6	ძლიერი. ქანაობს მძიმე ავეჯი. იმსხვრევა ჭურჭელი თაროებიდან ცვივა წიგნები, ზოგჯერ იბზარება ბათქაში. ინგრევა მხოლოდ ძლიერ დაძველებული შენობები. შეიგრძნობს ყველა ადამიანი.
7	მეტად ძლიერი. ინგრევა ცუდად ნაშენი და დაძველებული სახლები. მაგარ შენობებს უჩნდება პატარა ბზარები. ცვივა ბათქაში. ჭებში იცვლება წყლის დონე. მდინარეებსა და ტბებში იმღვრევა წყალი, ზოგჯერ შეიმჩნევა მეწყერები და ჩამონაქცევები.
8	დამანგრეველი. მძლავრად ირხევა ხეები, მათი ნაწილი იმტვრევა. ინგრევა ქვის მტკიცე გალავნები. ვარდება ფაბრიკების მილები. ინგრევა ბევრი მაგარი სახლი ნიადაგში ჩნდება ნაპრალები.
9	ამაოხრებელი. სახლები ინგრევა. ნიადაგში ჩნდება მნიშვნელოვანი ნაპრალები.
10	გამანადგურებელი. ინგრევა კარგად აგებული ხის სახლები და ხიდები, მაგარი შენობები და საძირკვლებიც კი. სკდება წყალსადენებისა და კანალიზაციის მილები. ზიანდება მიწაყრილები, ჯებირები და კაშხალები. წარმოიშვება მეწყერები და ზვავები. ნიადაგში ჩნდება ნაპრალები და ამობურცული ადგილები. მდინარეებიდან და ტბებიდან გადმოდის წყალი.
11	კატასტროფული. ინგრევა თითქმის ყველა ქვის ნაგებობა, გზები, კაშხალები, მიწაყრილები, ხიდები. ჩნდება განიერი ნაპრალები.
12	ძლიერ კატასტროფული. ინგრევა ყველა ნაგებობა ცალკეული საგნები ბიძგების დროს ერთი ადგილიდან მეორეზე ეცემა, გარდაიქმნება მთელი მიდამო. იცვლება მდინარეთა კალაპოტი. წარმოიქმნება ჩანჩქერები. ნიადაგის ზედაპირზე ჩნდება ტალღური რელიეფი

სხვადასხვა საშუალებები განსაკუთრებით გამძლე შენობების ასაგებად. ამ შენობებმა შეიძლება გაუძლონ საკმაოდ ძლიერ მიწისქვეშა ბიძგებს.

არანაკლები მნიშვნელობა აქვს მოსალოდნელი მიწისძვრის წინასწარ გაგებას. ეს ჯერჯერობით შეუძლებელია იმიტომ, რომ მიწისძვრები ჩნდება მიწის მიუწვდომელ სიღრმეში, სადაც მათი გამომწვევი ძალები ძლიერ ნელა იყრის თავს. მიუხედავად ამისა, მეცნიერება მომავალში შეძლებს მიწისძვრები იწინასწარმეტყველოს. ალბათ, ყველას შეუნიშნავს, რომ მუსიკალური საკრავის სიმი ვიდრე გაწყდებოდეს, რაღაც სხვანაირ ხმებს გამოსცემს. ასევეა დედამიწის ქერქშიც მიწისძვრის წინ. თუ მიწისძვრა ოკეანეში ხდება, მაშინ სეისმური ტალღები დიდი სიჩქარით, ჩვეულებრივ ზღვის ტალღებზე უფრო სწრაფად მოდიან ნაპირთან. ასეთ შემთხვევაში სეისმური სადგურები წინასწარ აფრთხილებენ სანაპიროს მოსახლეობას, რომ მოსალოდნელია საშიში ზღვის ტალღები (ცუნამი).

რა არის ვულკანი

ტირენის ზღვაში, ლიპარის კუნძულთა ჯგუფში, არის პატარა კუნძული ვულკანო. კუნძულის უდიდესი ნაწილი მთას წარმოადგენს. ჯერ კიდევ უხსოვარი დროიდან ადამიანები ხედავდნენ, როგორ ამოდიოდა ზოგჯერ ამ მთის მწვერვალიდან შავი ღრუბლები, ცეცხლი და დიდ სიმაღლეზე იტყორცნებოდა გავარვარებული ქვები.

ძველ ბერძნებს ეს კუნძული ჯოჯოხეთის შესასვლელად მიაჩნდათ და ცეცხლისა და სამჭედლო საქმის ღმერთის ვულკანოს სამფლობელოდ ესახებოდათ. ამ ღმერთის სახელის მიხედვით ცეცხლისმფრქვევ მთებს შემდეგში ვულკანები უწოდეს.

ვულკანის ამოფრქვევა შეიძლება გაგრძელდეს რამდენიმე დღე და თვეებიც კი. ძლიერი ამოფრქვევის შემდეგ ვულკანი ისევ მშვიდდება და რამდენიმე წლის, ათეული წლის განმავლობაშიც კი აღარ მოქმედებს. ასეთ ვულკანებს მოქმედი ვულკანები ეწოდება.

არის ვულკანები, რომელთა ამოფრქვევა უძველეს დროში ხდებოდა. ზოგიერთ მათგანს ლამაზი კონუსის ფორმა აქვს შენარჩუნებული, მაგრამ მათი მოქმედების შესახებ ხალხში არავითარი ცნობები არ შემონახულა. მათ ჩამქრალ ვულკანებს უწოდებენ. ასეთებია კავკასიაში იალბუზის და ყაზბეგის მთები, რომელთა მწვერვალები დაფარულია თვალისმომჭრელი ყინვარებით. უძველეს ვულკანურ მხარეებში გვხვდება ძლიერ დაშლილი და გადარეცხილი ვულკანები. ჩვენს ქვეყანაში ასეთი ადგილებია ყირიმი, იმიერბაიკალეთი და სხვ.

ვულკანებს ჩვეულებრივ ისეთი კონუსის ფორმა აქვთ, რომლის ფერდები უფრო დამრეცია ძირთან და ციცაბოა წვერთან.

მოქმედი ვულკანის მწვერვალზე რომ ავიდეთ, როცა ის მშვიდადაა, შეიძლება ვნახოთ კ რ ა ტ ე რ ი [1] — ციცაბო კედლებიანი ღრმა უფსკრული, რომელიც გიგანტურ ჯამს ჰგავს. კრატერის ფსკერი დაფარულია ქვის მსხვილი და წვრილი ნატეხებით, ხოლო კედლებისა და ფსკერის ნაპრალებიდან განუწყვეტლივ ამოდის ორთქლისა და გაზის ნაკადები, ზოგჯერ სრულიად მშვიდად, ზოგჯერ კი ძლიერი ხმაურით, შიშინითა და სტვენით. კრატერისავსეა მახრჩობელა გაზებით, რომლებიც ზევით მიიწევენ და ვულკანის წვერზე ღრუბელს ქმნიან. თვეებისა და წლების განმავლობაში ვულკანი შეიძლება მშვიდად ხრჩოლავდეს, ვიდრე არ მოხდება ამოფრქვევა.

ვულკანოლოგებმა უკვე შეიმუშავეს მეთოდები, რომელთა საშუალებითაც ვულკანების ამოფრქვევის დროის წინასწარმეტყველება შეიძლება. ვულკანის ამოფრქვევას ხშირად უძღვის წინ მიწისძვრა, ისმის მიწისქვეშა გუგუნი, მატულობს ორთქლისა და გაზების გამოყოფა, იზრდება მათი ტემპერატურა. ვულკანის თავზე გროვდება ღრუბლები, ხოლო მისი ფერდობები „ამობურცვას“ იწყებს.

შემდეგ დედამიწის სიღრმიდან წამოსული გაზების წნევით კრატერის ფსკერი ფეთქდება. წყლის ორთქლის, გაზის და ფერფლის სქელი შავი ღრუბლები ათასობით მეტრ სიმაღლეზე ადის და არემარეს აბნელებს. წითლად გავარვარებული ქვის ნატეხები დიდი ხმაურით ამოიტყორცნება კრატერიდან და ქმნის ნაპერწკალთა გიგანტურ კონებს. სქელი, შავი ღრუბლებიდან მიწაზე ცვივა ფერფლი,

[1] კრატერი — ბერძნულად „ჯამი“.

ზოგჯერ მოდის კოკისპირული წვიმა და ჩნდება ტალახის ნიაღვრები, რომლებიც ფერდობებზე ეშვება და არემარეს ფარავს. განუწყვეტლივ ელავს. ვულკანი ხმაურობს და ზანზარებს, მისი ყელიდან ამოდის თხევადი გავარვარებული ლავა, იგი თუხთუხით გადმოდის კრატერიდან, ცეცხლოვან ნაკადად მიემართება ვულკანის ფერდობებზე და თავის გზაზე წვავს და ანადგურებს ყველაფერს. ზოგიერთი ვულკანის ამოფრქვევისას ვულკანური ლავა არ ამოდის.

ხანდახან, ვულკანური ამოფრქვევის დროს, როცა ლავას მეტისმეტი წებოვანობა ახასიათებს, იგი თხევადი სახით კი არ ამოდის, არამედ გუმბათივით გროვდება ვულკანის ყელის ირგვლივ. ხშირად აფეთქების ან უბრალო ჩამონგრევის შედეგად ასეთი გუმბათიდან გავარვარებული ქვების ზვავი მოდის, რასაც ვულკანის ძირში დიდი უბედურების გამოწვევა შეუძლია. ზოგიერთი ვულკანის ამოფრქვევისას ასეთი გავარვარებული ზვავები პირდაპირ კრატერიდან ამოიტყორცნება ხოლმე.

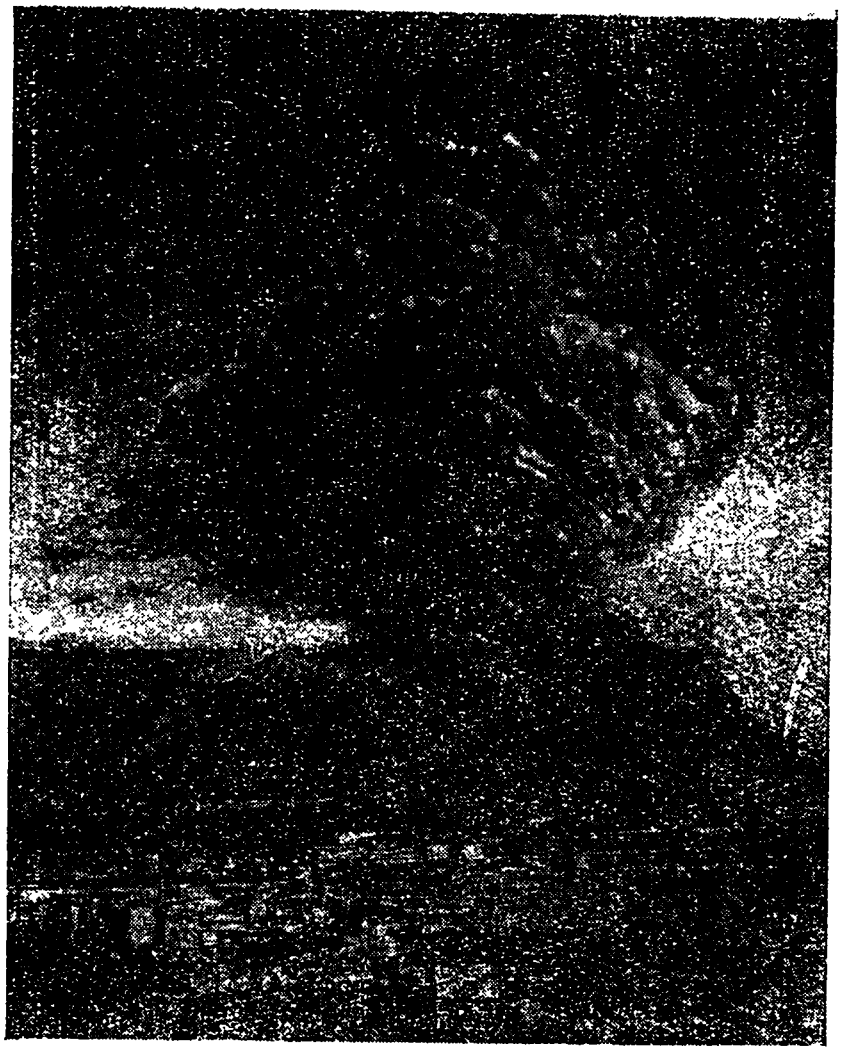
შედარებით უფრო სუსტი ამოფრქვევების დროს ვულკანის კრატერში მხოლოდ გაზები აფეთქდება. ზოგჯერ აფეთქებისას გავარვარებული, მნათი ლავის ნაგლეჯები ამოიტყორცნება. ზოგჯერ კი (უფრო დაბალი ტემპერატურის პირობებში) უკვე მთლად გაცივებული ლავა იმსხვრევა და ზევით მუქი ფერის, არამნათი ვულკანური ფერფლის უზარმაზარი ლოდები ამოდის.

ვულკანური ამოფრქვევა ხდება აგრეთვე ზღვებისა და ოკეანეების ფსკერზე. ამ დროს ზღვით მოგზაურნი უეცრად დაინახავენ ორთქლის სვეტს ან წყალზე მცურავ „ქვის ქაფს“ — პემზას. ზოგჯერ გემები აწყდებიან მოულოდნელად წარმოქმნილ მეჩეჩებს, გაჩენილთ ვულკანების მოქმედებით. დროთა განმავლობაში ამ მეჩეჩებს ზღვის ტალღები რეცხავს და ისინი უკვალოდ ქრებიან.

ზოგიერთი წყალქვეშა ვულკანის კონუსი წყლის ზედაპირზე მაღლა ამოდის და ქმნის კუნძულს.

ძველად ადამიანებს არ შეეძლოთ აეხსნათ ვულკანების ამოფრქვევის მიზეზი. ბუნების ეს მრისხანე მოვლენა მათ შიშის ზარსა სცემდა.

თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ჯერ კიდევ ძველი ბერძნები და რომაელები, ხოლო მოგვიანებით არაბებიც, ფიქრობდნენ, რომ დედამიწის გულში არის მიწისქვეშა ცეცხლის უდიდესი ზღვა. მათი



ასე მოჩანდა ნეაპოლიდან ვეზუვის ამოფრქვევა 1944 წელს. აფეთქებების დროს უდიდესი ძალით ამოიტყორცნა გაზების სქელი ღრუბლები და ცხელი ფერფლი. ფერდობზე დაეშვა გავარვარებული ლავის ნაკადები, რომლებმაც რამდენიმე სოფელი დაანგრიეს.

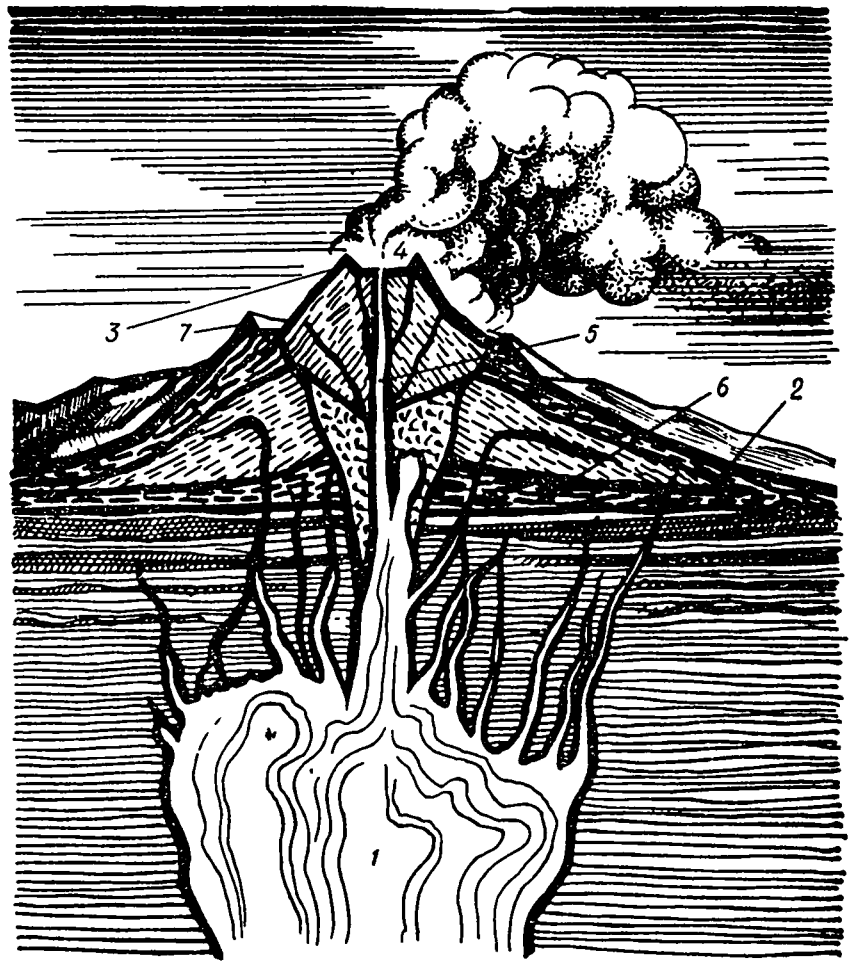
აზრით ამ ზღვის ღელვა იწვევდა ვულკანების ამოფრქვევას მიწის ზედაპირზე.

მე-19 საუკუნის ბოლოს გეოლოგიას გამოეყო ცალკე დარგი — ვ უ ლ კ ა ნ ო ლ ო გ ი ა.

ამჟამად ზოგიერთი მოქმედი ვულკანის ახლოს შექმნილია ვულკანოლოგიური სადგურები — ობსერვატორიები, საიდანაც მეცნიერები განუწყვეტლივ აკვირდებიან ვულკანებს.

საბჭოთა კავშირში ასეთი ვულკანოლოგიური სადგური მოწყობილია კამჩატკაზე, სოფელ კლიუჩიში და ვულკან ავაჩას ფერდობებზე — ქ. კამჩატკის პეტროპავლოვსკის მახლობლად. როცა რომელიმე ვულკანი იწყებს მოქმედებას, ვულკანოლოგები დაუყოვნებლივ მიდიან ამ ვულკანთან და აკვირდებიან ამოფრქვევას.

ვულკანოლოგები იკვლევენ აგრეთვე ჩამქრალ და ძველ, დაშლილ ვულკანებს. ასეთ დაკვირვებებ-



ვულკანის ჭრილი: 1 — მაგმის კერა; 2 — ლავის ნაკადები; 3 — კონუსი; 4 — კრატერი; 5 — არხი, რომლითაც გაზები და მაგმა კრატერისაკენ მოიწევს; 6 — ლავის ნაკადების, ფერფლის, ლაპილებისა და უფრო ადრინდელი ამონაფრქვევი ფხვიერი მასალების შრეები; 7 — ვულკანის ძველი კრატერის ნარჩენები.

სა და ცოდნის დაგროვებას დიდი მნიშვნელობა აქვს გეოლოგიისათვის.

ათეული მილიონი წლის წინ მოქმედი და თითქმის მთლიანად მოსწორებული, ძველი, დაშლილი ვულკანები მეცნიერებს ეხმარება გაარკვიონ, როგორ აღწევს გამდნარი მასები დედამიწის წიაღიდან მის მყარ ქერქამდე და რა წარმოიქმნება ამ მასების ქანებთან შეხებისას. ჩვეულებრივ, ასეთი კონტაქტების ადგილზე ქიმიური პროცესების მეოხებით წარმოიქმნება რკინის, სპილენძის, თუთიისა და სხვა მეტალების საბადოები.

ვულკანების კრატერებიდან ამოსულ **ორთქლის** ჭავლებში, რომლებსაც ფ უ მ ა რ ო ლ ე ბ ს უწოდებენ, გახსნილია სხვადასხვა ნივთიერება. კრატერის ნაპრალებში და მის ახლოს ასეთი ფუმაროლების ირგვლივ ილექება გოგირდი, ნიშადური და ბორის მჟავა, რომლებსაც ფართოდ იყენებენ მრეწველობაში.

ვულკანური ფერფლი და ლავა შეიცავს კალიუმის მრავალ შენაერთს და ისინი მეტად ნაყოფიერ ნიადაგს ქმნიან. ასეთ ნიადაგზე აშენებენ ბაღებს, ან მას იყენებენ მემინდვრეობისათვის. ამიტომაცაა, რომ ვულკანის მახლობლად თითქმის ყოველთვის შენდება სოფლები ან ქალაქები, თუმცა იქ ცხოვრება სახიფათოა.

რა იწვევს ვულკანების ამოფრქვევას და საიდან ჩნდება დედამიწის გულში ასეთი დიდი ენერგია?

ზოგიერთ ქიმიურ ელემენტში, განსაკუთრებით ურანსა და თორიუმში, რადიოაქტივობის მოვლენის აღმოჩენა გვაფიქრებინებს, რომ დედამიწის შუაგულში სითბო გროვდება რადიოაქტიური ელემენტების დაშლის ხარჯზე. ატომური ენერგიის შესწავლამ კიდევ უფრო მეტად დაადასტურა ეს შეხედულება.

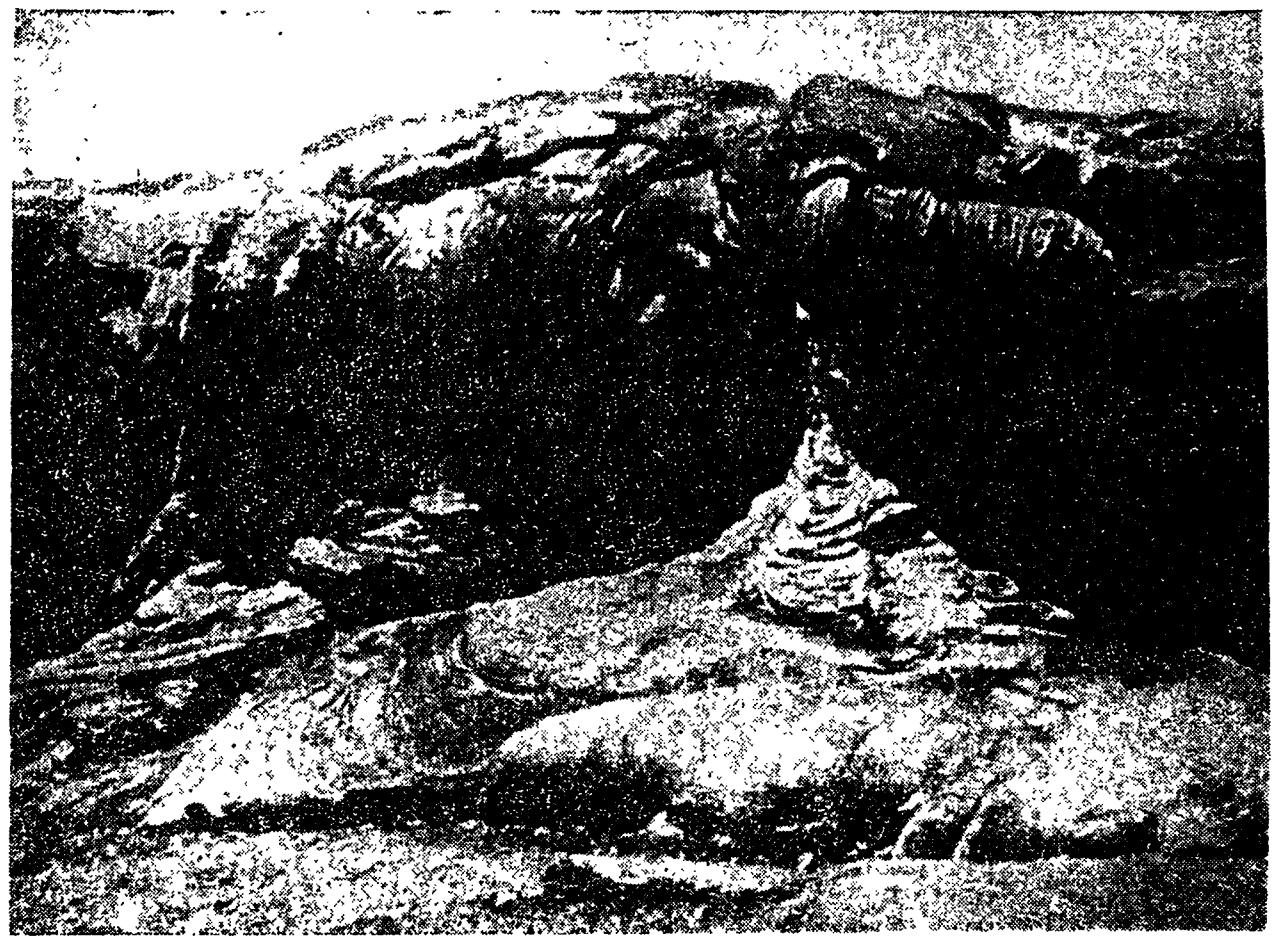
დედამიწის დიდ სიღრმეში სითბოს დაგროვება იწვევს ამ ნაწილის გავარვარებას. ტემპერატურა იმდენად იზრდება, რომ აქ ყველაფერი უნდა გამდნარიყო, მაგრამ მიწის ქერქის ზედა ფენების წნევით ნივთიერება ინარჩუნებს სიმყარეს. იმ ადგილებში, სადაც დედამიწის ქერქის მოძრაობისა და მასში გაჩენილი ნაპრალების წყალობით ზედა ფენების წნევა მცირდება, გავარვარებული მასები თხევადდება.

გაზებით გაჟღენთილ გამდნარ მასას, რომელიც წარმოიქმნება მიწის სიღრმეში, უწოდებენ მ ა გ მ ა ს[1]. მაგმის კერები განლაგებულია დედამიწის ქერქის ქვეშ, მანტიის (იხ. გვ. 15) ზედა ნაწილში, 50-დან 100 კმ სიღრმეზე. გაზების ძლიერი წნევით მაგმა მიიწევს ზედაპირისაკენ, ამასთან თავის გზაზე ადნობს ყველაფერს და წარმოქმნის ვულკანის ყელს, ანუ არხს. განთავისუფლებული გაზები აფეთქებით იკაფავენ გზას ვულკანის ყელში, ამსხვრევენ მყარ ქანებს და მათ ნატეხებს დიდ სიმაღლეზე ისვრიან. ეს მოვლენა ყოველთვის წინ უსწრებს ლავის ამოფრქვევას.

როგორც შუშხუნა სასმელის გაზი ცდილობს ბოთლის გახსნისას ზევით ამოჭრას და ქაფს წარმოქმნის, ასევე აქაფებული მაგმა სწრაფად ამოდის განთავისუფლებულ გაზებთან ერთად ვულკანის ყელში და ამოიფრქვევა გავარვარებული მასისა და ცალკეული ნატეხების სახით.

გაზის მნიშვნელოვანი ნაწილის დაკარგვის შემდეგ მაგმა გადმოიღვრება კრატერიდან და, უკვე როგორც ლავა, ეშვება ვულკანის ფერდობებზე.

[1] მაგმა — ბერძნულად „სქელი მასა“.



გაქვავებული ლავის ჩანჩქერი.

როდესაც მაგმა მიწის ქერქიდან ზედაპირზე გამოსასვლელს ვერ პოულობს, ნაპრალებში ცივდება და ქმნის ძარღვებს. ხანდახან იგი ნაპრალს მისდევს, მიწის ფენას თაღივით სწევს მაღლა და ამ სახით ცივდება.

ლავა სხვადასხვაგვარი შემადგენლობისაა და ამიტომ შეიძლება იყოს თხევადი ან სქელი (ბლანტი). თხევადი ლავა შედარებით სწრაფად მოძრაობს და თავის გზაზე ქმნის ლავის ჩანჩქერებს.

კრატერიდან ამოხეთქილ გაზებს თან ამოაქვს გავარვარებული ლავის შადრევნები, რომელთა შხეფები ქვის წვეთებად ცვივა. ასეთ ქვის წვეთებს ლავის ცრემლებს უწოდებენ.

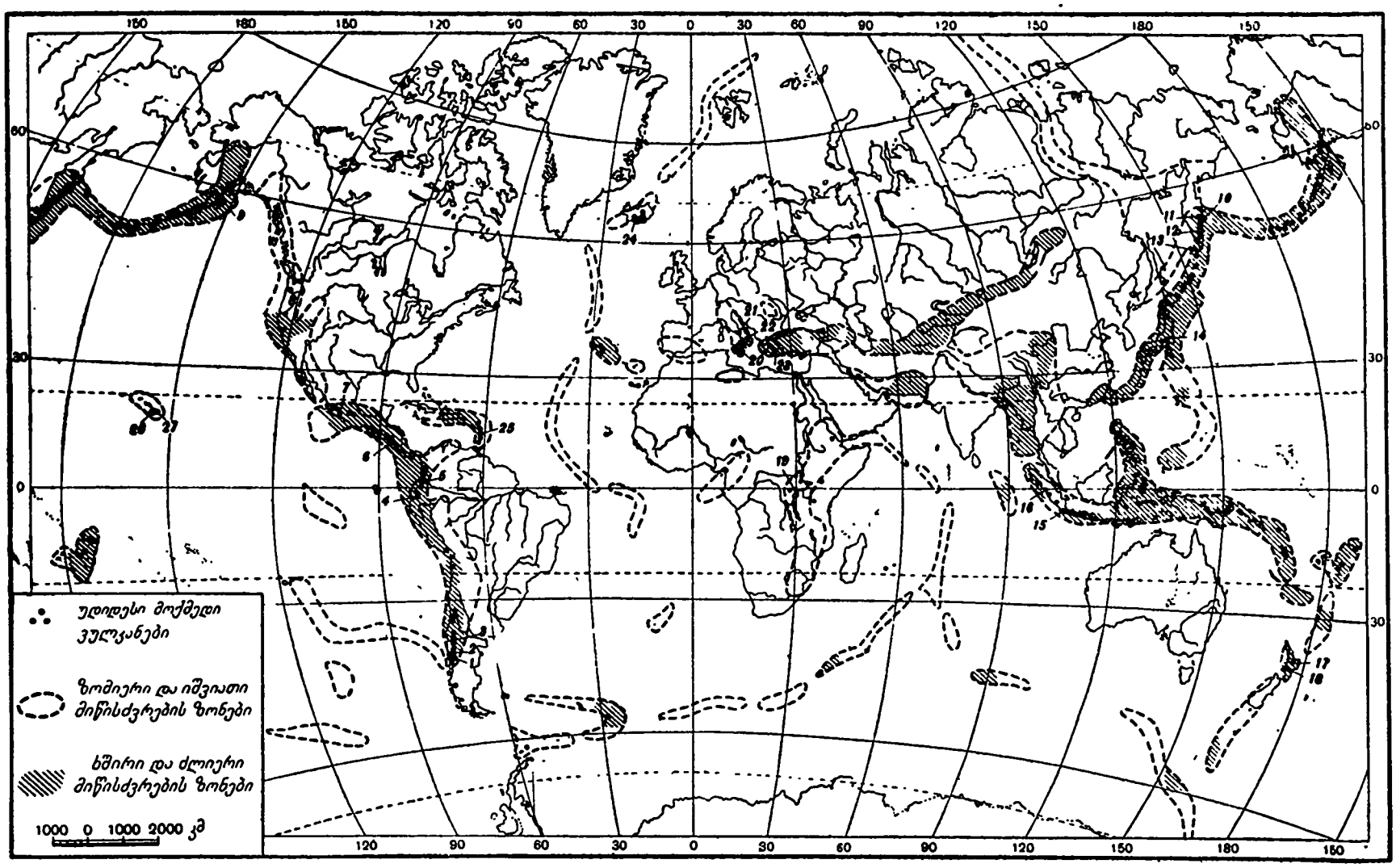
სქელი ლავა ნელა მოძრაობს და დიდ ბელტებად იმტვრევა. ბელტები ერთად გროვდება, ხოლო მაგმიდან გამოყოფილი გაზები ბელტებს ბლანტ ლავას აცლიან და მაღლა ისვრიან. თუ ასეთი ლავის ნატეხები, რომლებიც ჯერ კარგად არ გამაგრებულა, ავარდნის დროს ბრუნავს, თითისტარისებრი ან სფეროსებრი ხდება. ლავის ასეთ ნატეხებს ვულკანურ ყუმბარებს უწოდებენ. გაზით მდიდარი ლავის გაცივებისას წარმოიქმნება ქვის ქაფი — პემზა. იგი სიმსუბუქის გამო წყალზე ტივტივებს და წყალქვეშა ამოფრქვევების დროს ზღვის ზედაპირზე ამოდის. ვულკანიდან ამოსროლილ მუხუდოს ან თხილის სიმსხო ლავის ნატეხებს ლაპილები[1] ეწოდება, ხოლო კიდევ უფრო წვრილ, ფხვიერ ვულკანურ მასას — ვულკანური ფერფლი. ფერფლის მასა ვულკანის ფერდობებზე ცვივა და ქარს დიდ მანძილზე გადააქვს. გამაგრების შედეგად ფერფლი ტუფად გადაიქცევა.

ტუფი დიდი რაოდენობითაა სომხეთში. იგი, ჩვეულებრივ, ძალიან მსუბუქი ფოროვანი ქანია და ადვილად იხერხება. აქვს სხვადასხვა ფერი — ვარდისფერი, წითელი, მომწვანო, ნაცრისფერი, იისფერი და სხვ. ტუფს იყენებენ საშენ და მოსაპირკეთებელ მასალად.

დედამიწის ზურგზე ამჟამად ცნობილია რამდენიმე ასეული მოქმედი ვულკანი. ამათგან უმეტესობა წყნარი ოკეანის სანაპიროებზეა. მათ შორისაა კამჩატკისა და კურილის კუნძულების ვულკანებიც.

---

[1] ლაპილუს — ლათინურად კენჭი.



რუკაზე ნაჩვენებია მიწისძვრების რაიონები და უდიდესი ვულკანები.

ვ უ ლ კ ა ნ ე ბ ი ს ს ა ხ ე ლ წ ო დ ე ბ ე ბ ი:

1. კალბუკო — სამხ. ამერიკა.
2. ოსორნო „ „
3. ვილიარიკა „ „
4. სანგაი „ „
5. კოტოპახი „ „
6. ირასუ — ცენტ. ამერიკა.
7. პარიკუტინი — მექსიკა.
8. ლასენ-პიკი — ჩრ. ამერიკა.
9. კატმაი „ „
10. კლუჩევსკაია სოპკა — კამჩატკის ნ.-კ.
11. შიველუჩი „ „
12. ავაჩა „ „
13. ალაიდი — კურილის კ-ები.
14. ფუძიამა — კ. ხონსიუ.
15. კრაკატაუ — ზონდის კ-ები.
16. მერაპი — კ. სუმატრა.
17. ტარავერა — კ. ახალი ზელანდია.
18. რუაპეხუ „ „
19. ნიამლაგირა — აფრიკა.
20. ეტნა — კ. სიცილია.
21. ვეზუვი — აპენინის ნ.-კ.
22. სტრომბოლი — ხმელთაშუა ზღვა.
23. სანტორინი „ „
24. ჰეკლა — კ. ისლანდია.
25. მონ-პელე — მცირე ანტილის კ-ები.
26. კილაუეა — ჰავაის კ-ები.
27. მაუნა-ლოა „ „

კამჩატკაზე მოქმედ ვულკანებს შორის გამოირჩევა ვულკანი კლუჩევსკაია სოპკა. კლუჩევსკაია სოპკას ძლიერი ამოფრქვევები მეორდება ყოველ 6 — 7 წელიწადში და ზოგჯერ რამდენიმე თვეს გრძელდება. ვულკანის კრატერიდან ამოსული ლავის ნაკადები ხანდახან 15 კმ მანძილზე ეშვება ქვევით. ვულკან კლუჩევსკაია სოპკას მთავარი კრატერის სიმაღლე ზღვის დონიდან 4750 მ. ასეთ სიმაღლეზე წარმოიქმნება ვეება ყინვარები, რომლებიც ამოფრქვევის დროს დნება და წყლის მძლავრ ნაკადებს აჩენს.

კლუჩევსკაია სოპკას მახლობლად განლაგებულია ჩამქრალი ვულკანების ჯგუფი, რომელთაგანაც ერთი — ვულკანი უსახელო — უეცრად ამოქმედდა 1956 წ. 30 მარტს. ეს იყო ერთ-ერთი უდიდესი ვულკანური ამოფრქვევა ამ უკანასკნელი ასი წლის განმავლობაში. ფერფლის ღრუბელი თითქმის 40 კმ სიმაღლეზე აიჭრა ჰაერში. ვულკანის კონუსის დი-

დი ნაწილი აფეთქდა. აფეთქების ძალისაგან ირგვლივ, 25—30 კმ მანძილზე, ხეები დაიმტვრა და დაიწვა. წარმოიშვა ლავის ვეებერთელა ნაკადი, რომლის სისქე 20 — 30 მ უდრიდა, ხოლო სიგრძე 18 კმ. 500 კმ² ფართობზე დაცვივდა გავარვარებული ფერფლი, რომელმაც იმწამსვე გაადნო თოვლი, რის შედეგადაც წარმოიშვა 90 კმ სიგრძის ტალახის ნაკადები. ფერფლი, რომელიც ატმოსფეროს ზედა ფენებში აიტყორცნა, ორი დღის შემდეგ შეინიშნებოდა ჩრდილოეთ პოლუსის რაიონში, ხოლო ოთხი დღის შემდეგ — ინგლისში.

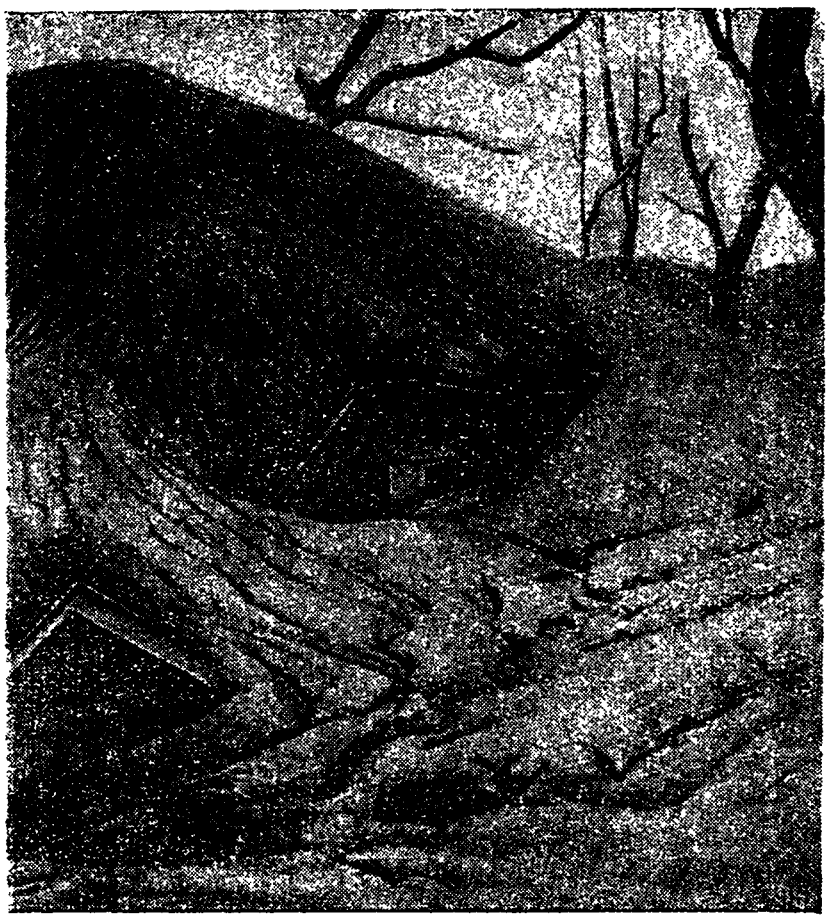
კამჩატკის პეტროპავლოვსკის ახლოს მდებარეობს მოქმედი ვულკანი ავაჩა. იქვეა ჩამქრალი ვულკანები — კორიაკსკაია სოპკა და კოზელსკაია სოპკა. ავაჩას ამოფრქვევები უფრო იშვიათად ხდება, ვიდრე კლუჩევსკაია სოპკასი.

კლუჩევსკაია სოპკას ჩრდილოეთით მდებარეობს ვულკანი შიველუჩი.

კამჩატკის ვულკანური რკალი სამხრეთით გრძელდება კურილის კუნძულებისაკენ, სადაც ვულკანები ამოწეულია პირდაპირ ზღვიდან. ყველაზე ჩრდილოეთით მოქცეულ კუნძულზე მდებარეობს ვულკანი ალაიდი. მისი ლამაზი, თოვლიანი კონუსი ზღვიდან 2,5 კილომეტრზეა აღმართული. 1946 წ. ძლიერად ამოხეთქა ლამაზმა ვულკანმა სარიჩევის პიკმა, რომელიც ერთ-ერთ ცენტრალურ კუნძულზე, მატუაზე, მდებარეობს. ვულკანის ფერდობებზე გავარვარებული ლავა ეშვებოდა, რომელსაც თავზე ადგა ფერფლის უზარმაზარი ღრუბლები. ზღვიდან ისეთი შთაბეჭდილება რჩებოდა, თითქოს მთელი კუნძული ცეცხლში იყო გახვეული. 1952 წ. ამოიფრქვა ვულკანი კრენიცინის პიკი (კუნძული ონეკოტანი), რომელიც ტბით ამოვსებული, დიდი, უძველესი კრატერიდან (კალდერიდან) არის აღმართული.

საინტერესო ამოფრქვევა მოხდა 1957 წ. კუნძულ სიმუშირზე ზავარიცკის კალდერაში. ამოფრქვევის შედეგად კალდერაში ტბის ნაწილი ვულკანური წიდით ამოივსო და ლავის პატარა ნაკადი გადმოიღვარა. კურილის კუნძულებზე 39 მოქმედი ვულკანია, კამჩატკაზე კი — 26.

გეოგრაფიული რუკიდან ჩანს, რომ რკალად განლაგებული კურილის კუნძულები უერთდება ასევე რკალად განლაგებულ იაპონიის კუნძულებს. იაპონიაშიც ბევრი ვულკანია. მათ შორის ულამაზესია ცნობილი ვულკანი ფუძიამა. იაპონიიდან



იაპონიაში ვულკანურმა ფერფლმა სკოლა დაფარა. ფერფლის ფხვიერი ზედაპირი ძლიერი წვიმის მიერაა დაღარული.

სამხრეთით გრძელდება ფილიპინისა და მოლუკის ვულკანური კუნძულების ასეთივე რკალი. ამგვარად, წყნარი ოკეანის აზიის სანაპიროზე გავლებულია ვულკანების მთელი ზოლი, რომელიც შემდეგ, ახალ ზელანდიასა და ანტარქტიდაზე გავლით, ამერიკის მატერიკზე გადადის.

სამხრეთ ამერიკაში მრავალრიცხოვანი ვულკანი აგვირგვინებს ანდების მთების რკალს. ესენია: კალბუკო, ოსორნო, ვილიარიკა, კოტოპახი, სანგაი. ბევრი ვულკანია ცენტრალურ ამერიკაშიც. ჩრდილოეთ ამერიკის წყნარი ოკეანის სანაპიროზე ვულკანები თითქმის ჩამქრალია. აქ ოდნავღა მოქმედებს ვულკანი ლასენ-პიკი. ალასკიდან, კამჩატკისაკენ ალეუტის კუნძულების რკალია გაჭიმული, სადაც ბევრი მოქმედი ვულკანია.

ამგვარად, წყნარი ოკეანე თითქმის ყოველი მხრიდან ვულკანებითაა შემოსაზღვრული.

წყნარი ოკეანის ცენტრალურ ნაწილში, ჰავაის კუნძულებზე, მდებარეობს განსაკუთრებული ტიპის ვულკანი კილაუეა. მისი ფართო, ბრტყელი კრატერის — კალდერის — ფსკერზე, რომლის სიგა-

ნე 5 კილომეტრია, გაცივებული შავი ლავის ბელტებს შორის მოთავსებულია გამდნარი ლავის 700—800 მ სიგანის ცეცხლოვანი ტბა. გაზების გამოყოფის გამო ლავა მუდამ მოძრაობს. ღამით ეს ძალიან ლამაზი სანახაობაა. ტბის ზედაპირი ცივდება და იფარება ქვის ქერქით, რომელსაც ადგილ-ადგილ არღვევს გამოყოფილი გაზები, და წარმოიქმნება უსწორმასწორო ცეცხლოვანი ნაპრალების მოძრავი ქსელი. ნაპრალებს შორის დროდადრო ამოიტყორცნება ცეცხლოვანი ლავის შადრევნები. ლავის ტბის დონე ხან აიწევს, ხან დაიწევს. ზოგჯერ ლავა ავსებს კრატერს, გადმოდის ნაპირებზე და იღვრება მთელ კალდერზე. ჰავაის კუნძულების ლავა ძალიან თხევადია.

ისეთი ვულკანები, რომელთა კრატერებშიც ლავის ტბებია გაჩენილი, ძალიან ცოტაა: ჰავაის კუნძულებზე კილაუეას გვერდით მდებარეობს კრატერი მაუნა-ლოა, ხოლო აფრიკის მატერიკზე, თითქმის ზედ ეკვატორზე — ვულკანი ნიამლაგირა.

აზიასა და ავსტრალიას შორის დიდი ზონდის კუნძულებზე ბევრი მოქმედი ვულკანია.

ატლანტის ოკეანეში ანტილის კუნძულებს შორის არის კუნძული მარტინიკა, რომელზედაც მდებარეობს საშიში ვულკანი მონ-პელე. 1902 წელს მონ-პელეს ამოფრქვევის დროს კრატერიდან ამოიტყორცნა გავარვარებული გაზებისა და წვრილი ფერფლის უზარმაზარი ღრუბელი, რომელიც საშინელი სისწრაფით დაეშვა მთის ფერდზე და თავის გზაზე ყველაფერი გაანადგურა. მან რამდენიმე წუთში მოსპო მონ-პელეს ძირში მდებარე ქალაქი სენ-პიერი, სადაც დაიღუპა 30 ათასი მცხოვრები, ე. ი. ქალაქის მთელი მოსახლეობა.

ატლანტის ოკეანის ჩრდილოეთ ნაწილში მდებარეობს კუნძული ისლანდია, სადაც ბევრ დიდ მოქმედ ვულკანს ვხვდებით. ეს ვულკანები სხვადასხვა დროს უდიდესი რაოდენობით აფრქვევდნენ თხევად ლავას. ისლანდიის ვულკანებს შორის კარგადაა ცნობილი მოქმედი ვულკანი ჰეკლა.

ხმელთაშუა ზღვაში უძველესი დროიდან ცნობილია ვულკანები: ეტნა, ვეზუვი, სტრომბოლი, ვულკანო.

79 წ. მოულოდნელად მოხდა ვეზუვის ძლიერი ამოფრქვევა; მანამდე ვეზუვი ითვლებოდა ჩაქრალ ვულკანად. ამოფრქვევის შედეგად განადგურდა ქალაქები: პომპეი, ჰერკულანუმი, სტაბია. ისინი ტალახის ნიაღვრებითა და ფერფლით დაიფარა.

მხოლოდ ჩვიდმეტი საუკუნის შემდეგ, როცა ხალხმა უკვე სავსებით დაივიწყა ეს ქალაქები, ჰის ამოთხრისას შემთხვევით ნახეს ბერძენთა ღმერთების მარმარილოს ქანდაკებები. მალე დაიწყეს გათხრები და არქეოლოგებმა აღმოაჩინეს დამარხული ქალაქი პომპეი და კიდევ ორი სხვა ქალაქი. შემდეგ ვეზუვის ამოფრქვევა ხშირად ხდებოდა და მეცნიერებმა კარგად შეისწავლეს იგი.

ვეზუვის ძლიერი ამოფრქვევა მოხდა 1944 წ. ამ დროს განადგურდა მისი მიდამოებიც. ლავა მოძრაობდა 5 კმ სისწრაფით დღე-ღამეში.

ხმელთაშუა ზღვის აღმოსავლეთით ფართო ზოლადაა გაფანტული მცირე აზიისა და კავკასიონის ქედის ჩამქრალი ვულკანები: არარატი, ყაზბეგი და იალბუზი.

ვულკანების წიაღში უზარმაზარი სითბური ენერგიაა, რომლის ნაწილიც დედამიწის ზედაპირზე ვლინდება. მეცნიერები და ინჟინრები უკვე შეუდგნენ ამ სითბური ენერგიის გამოყენების საკითხის გადაჭრას.

კამჩატკაზე იწყება ჩვენს ქვეყანაში პირველი სადგურის მშენებლობა, რომელიც ელექტროენერგიას დედამიწის შინაგანი სითბოს ხარჯზე მოგვცემს.

საქართველოს ვულკანები

ვულკანური მოქმედება საქართველოს ტერიტორიაზე უძველეს პერიოდებში — კარბონულში, იურულში და ქვედა მესამეულში — უფრო მეტად წეიმჩნეოდა, ვიდრე შემდეგ. მაგრამ კარგად შენახული ფორმები დღემდე მხოლოდ იმ ვულკანებს შერჩა, რომლებიც შედარებით ახლო წარსულში—ზედა მესამეულში და მეოთხეულში მოქმედებდა. ასეთი ვულკანები საქართველოში საკმაოდ ბევრია, განსაკუთრებით ჯავახეთის ზეგანზე და კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედის რაიონში. მათი ცალკეული ცენტრებია აგრეთვე ბორჯომ-ბაკურიანის, ცხინვალ-ჯავის, საჩხერისა

და ონის რაიონებში. საქართველოს ტერიტორიაზე ძირითადად ჩამქრალი ვულკანებია.

ჯავახეთის ზეგანზე მთლიანად ახალგაზრდა ვულკანებით არის აგებული სამსარის ქედი, რომელიც თითქმის 40 კმ-ზეა გაჭიმული მერიდიანული მიმართულებით. სამსარის ქედში გაირჩევა ორი ნაწილი: შუა — შედარებით მაღალი და გარე ნაწილი.

ქედის შუა ნაწილში სამხრეთიდან ჩრდილოეთით განლაგებულია შემდეგი მთავარი ვულკანური ნაგებობები: პატარა და დიდი აბული, გოდორები, დასავლეთ ქოროღლი, სამსარი, შავნაბადა, ბებერი კლდე და თავკვეთილი.

პ ა ტ ა რ ა და დ ი დ ი ა ბ უ ლ ი საკმაოდ დაშლილი, ძველი ვულკანებია, რომელთაც არც კრატერი აქვთ და არც წესიერი კონუსური ფორმა. დიდი აბულის აბსოლუტური სიმაღლე 3394 მეტრია, შეფარდებითი კი 1300 — 1500 მ. პატარა აბული შედარებით დაბალია, მისი აბსოლუტური სიმაღლე 2800 მ უდრის, შეფარდებითი კი 600 — 700 მ. დიდი აბულის ჩრდილოეთ კალთის განშტოება, რომელზეც სულ ახალი ნაპრალური ამონაფრქვევი ჩანს, უშუალოდ ემიჯნება ვულკან გ ო დ ო რ ე ბ ს. ამ ვულკანს კი საკმაოდ წესიერი კონუსური ფორმა და კარგად გამოკვეთილი კრატერი აქვს. კრატერის სიღრმე 80 — 100 მ-ია, დიამეტრი კი 200 — 250 მეტრს უდრის. მისი აღმოსავლეთი კედელი გახსნილია, საიდანაც ლავის საკმაოდ გრძელი ნაკადი თავფარავნის დეპრესიისკენ გამოდის.

ვულკან გოდორების აბსოლუტური სიმაღლე 3191 მეტრია, შეფარდებითი კი 350 — 400 მეტრს არ აღემატება.

გოდორების ჩრდილო-დასავლეთით ჯერ აღმართულია იდეალური კონუსური ფორმის უ ს ა ხ ე ლ ო ვ უ ლ კ ა ნ ი, შემდეგ კი — დ ა ს ა ვ ლ ე თ ქ ო რ ო ღ ლ ი. არც ამ უკანასკნელს გააჩნია კრატერი და ლავის ნაკადსაც არ იძლევა. დასავლეთ ქოროღლის აბსოლუტური სიმაღლე 2824 მეტრია, შეფარდებითი კი — 500 მ.

დასავლეთ ქოროღლის ჩრდილო-აღმოსავლეთით ს ა მ ს ა რ ი ს გრანდიოზული ვულკანური ნაგებობა გამოიყოფა. სამსარს მკაფიოდ გამოხატული კალდერა აქვს, რომლის დიამეტრი 2,5 — 3 კმ უდრის. კალდერა აღმოსავლეთ მხარეზე გახსნილია, ხოლო ჩრდილოეთი, დასავლეთი და სამხრეთი კედელი დაკბილული ქედის სახით წარმოგვიდგება. ამ უკანასკნელზე რამდენიმე მწვერვალი გამოიყოფა, რომელთა შორის ყველაზე მაღალი საკუთრივ სამსარია. უკანასკნელის აბსოლუტური სიმაღლე 3285 მეტრია, შეფარდებითი კი — 1000 მ. კალდერის ფსკერი ნახევრად ვაკეა. მის ჩრდილო-დასავლეთ კუთხეში კრატერული ჩაღრმავება ჩანს. ყურადღებას იქცევს კალდერაში აღმოსავლეთ კედლის ახლოს აღმართული ეფექტური უკრატერო კონუსები დ ი დ ი და პ ა ტ ა რ ა ყ ი ზ ი ლ დ ა ღ ი (წითელი მთა), რომლებიც წითელი ფერის ლავისა და წიდებისაგანაა აგებული.

ს ა მ ს ა რ ი ს ჩრდილო-აღმოსავლეთით განლაგებულია ორმაგი ვულკანები, რომელთა ახალგაზრდა კონუსები მორგებულია ძველ დაშლილ ვულკანურ ჩონჩხზე. ასეთებს წარმოადგენს შ ა ვ ნ ა ბ ა დ ა და ბ ე ბ ე რ ი კ ლ დ ე, რომლებზედაც ორ-ორი კონუსური ამაღლება ჩანს.

უკანასკნელი ჩამქრალი ვულკანი, რომელიც მდებარეობს სამსარის ქედზე ჩრდილოეთით, თ ა ვ კ ვ ე თ ი ლ ი ა. ეს ვულკანი ტაბაწყურის აღმოსავლეთ კიდეზეა აღმართული. თავკვეთილს წვერწაკვეთილი კონუსის ფორმა და კარგად გამოხატული კრატერი აქვს. კრატერის სიღრმე 10 — 12 მეტრია, დიამეტრი კი — 170 — 180 მ. კლდეები შავი ლავითა და ჟანგისფერი პიროკლასტოლითებით არის აგებული, რომელთა შორის ბევრია ვულკანური ყუმბარაც. ვულკანის აბსოლუტური სიმაღლე 2584 უდრის, შეფარდებითი — 550 მ.

მთლიანად ვულკანური ქანებით არის აგებული



ვულკანი თავკვეთილი.

კეჩუთის, ანუ ჯავახეთის ქედი, რომელიც სამსარის ქედს აღმოსავლეთიდან ესაზღვრება. ეს ქედიც მერიდიანული მიმართულებისაა. მისი თხემური ნაწილი მნიშვნელოვნად მოვაკებულია და ზედ ეროზიული მწვერვალების გვერდით ნამდვილი ვულკანებიც გამოიყოფა. ამ ვულკანებიდან ყველაზე ეფექტური ე მ ლ ი კ ლ ი ა, რომელსაც მეტად წესიერი კონუსური ფორმა აქვს.

ლავები და ვულკანური ტუფები უხვადაა ერუშეთის ზეგანზე და მის დასავლეთით არსიანის ქედზე. ვულკანური ტუფების მძლავრი წყებაა დაგროვილი მდ. მტკვრის ხეობაში, სოფ. ხერთვისის ზემოთ. ამ ტუფებზეა აგებული თმოგვის ციხე და გამოკვეთილია ცნობილი ვარძია.

რამდენიმე ვულკანური ცენტრი გვხვდება აჭარა-თრიალეთის ქედის იმ ნაწილში, რომელიც უშუალოდ ესაზღვრება ჯავახეთის ზეგანს ჩრდილოეთის მხრიდან. აქ ერთი, შედარებით ძველი ვულკანური ცენტრი კოდიანის ქედის ჩრდილოეთ კალთის ქვეშ, მდ. ბორჯომულასა და ლარების სათავეებში, მდებარეობს. მას წ ი თ ე ლ ი დ ა ბ ა ძ ვ ე ლ ი ეწოდება. ეს ვულკანი ამჟამად თითქმის მთლიანად დაშლილია, შემორჩენია მხოლოდ მცირე სიმაღლე და მის წინ გაშლილი ლავის ნაკადებით აგებული პლატო, რომელსაც დაბაძველს უწოდებენ.

უფრო ახალგაზრდა და ეფექტური ვულკანებია მ უ ხ ე რ ა და ს ა რ ღ ვ ა ვ ი. პირველი მათგანი ბაკურიანში, ბოტანიკური ბაღის ახლოს მდებარეობს და 70 — 80 მ სიმაღლის დამრეცკალთებიან კონუსურ ბორცვს წარმოადგენს. ბორცვის ჩრდილო-აღმოსავლეთ უბანზე ცენტრალურ ნაწილში გახსნილი კრატერისებური ჩაღრმავება შეიმჩნევა. აქ საკმაოდ ბევრია ვულკანური ქვიშა, ლაპილები და ყუმბარები კი.

მუხერის ვულკანურ ცენტრს საკმაოდ გრძელი ნაკადი უკავშირდება. ეს უკანასკნელი მდ. გუჯარეთის წყლის ძველ ხეობას მიუყვება, ჩადის მტკვრის კალაპოტამდე და მცირე მანძილზე მის გასწვრივ არის აღმართული. დღეს ამ ნაკადის ბოლო ნაწილი დაბა ბორჯომსა და ბორჯომ-ბაღს შორის ვერტიკალური კარნიზის სახით არის შერჩენილი. ნაკადის ზედაპირი იდეალურად სწორია და მას ბორჯომ-პლატოს უწოდებენ.

ს ა რ ღ ვ ა ვ ი ს ვულკანური ცენტრიც მცირეა. იგი მდ. გუჯარეთის წყლის მარცხენა შენაკადის — თონეთის წყლის სათავეში მდებარეობს და წარმოდგენილია უკრატერო კონუსური სიმაღლით, რომელიც ძირითადად წითელი წიდით არის აგებული.

ზედა მესამეულსა და მეოთხეულ დროში მძაფრი ვულკანური მოქმედება აღინიშნებოდა კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედის რაიონში. ამ დროს წარმოიშვა ყელის ვულკანური ზეგანი თავისი მრავალრიცხოვანი ცენტრებითა და აგრეთვე ცალკეული ვულკანებით, რომელნიც კავკასიონის ნაოჭა სისტემის სხვადასხვა ადგილებშია გავრცელებული. ამ ვულკანებიდან პირველ რიგში უნდა დავასახელოთ ხორისარი, საკოხე-საძელე, ქაბარჯინა, მილიონა, ბუმბერაზი ყაზბეგი (მყინვარწვერი), წითელი ხატი, ქნოღო, ნასტი-ცუპი, წითელი მთა და სხვ.

ყ ე ლ ი ს ვ უ ლ კ ა ნ უ რ ი ზ ე გ ა ნ ი სამხრეთის მხრიდან უშუალოდ ებჯინება კავკასიონის მთავარ წყალგამყოფ ქედს და იკავებს მდინარეების — თეთრი არაგვის, ქსნისა და დიდი ლიახვის სათავეებს.

ზეგანზე რამდენიმე მეტად ეფექტური ვულკანური ნაგებობა გამოიყოფა, რომელთა შორის აღსანიშნავია დიდი და პატარა ნეფისკალო, ვულკანი ნარვანი, გუმბათი, ყელი, ფიდარ-ხოხი, კაიდონის ვულკანური ჯაჭვი და ხოჯის ახალგაზრდა ცენტრი.

პ ა ტ ა რ ა ნ ე ფ ი ს კ ა ლ ო ყელის ზეგნის ვულკანებს შორის ყველაზე დიდ ვულკანურ ნაგებობას წარმოადგენს. ეს ვულკანი ზეგნის აღმოსავლეთ ნაწილში, მდ. თეთრი არაგვის სათავის ორ განტოტებას შორის არის აღმართული და კარგად ჩანს ჯვრის უღელტეხილიდან დასავლეთ მხარეზე. ვულკანი ამჟამად ძლიერ დაშლილია და თხემდაკბილული. იგი ნახევრად წრიული ფორმის მთაგრეხილის სახით წარმოგვიდგება, რომელიც აღმოსავლეთ მხარეზეა გახსნილი. მთაგრეხილზე შვიდი მეტნაკლებად მაღალი მწვერვალი გამოიყოფა და ამის გამოა, რომ პატარა ნეფისკალოს შვიდ ძმასაც უწოდებენ. მთაგრეხილის შუა ნაწილი აღმოსავლეთ მხარეზე დახრილ, ფიალისებურ ჩაღრმავებას წარმოადგენს, რომლის დასავლეთ კიდეში კრატერისებური ღრმული ჩანს.

იდეალური კონუსური ფორმა აქვს და ერთ-ერთ ულამაზეს ვულკანს წარმოადგენს დ ი დ ი ნ ე ფ ი ს კ ა ლ ო. ეს უკანასკნელი პატარა ნეფისკალოს უშუალოდ ესაზღვრება ჩრდილოეთის მხრი-

დან. მას არ აქვს კრატერი და წვერი იმგვარად აქვს წაკვეთილი, რომ კალოს მოგვაგონებს. ვულკანი აგებულია წითელი ლავით, რის გამოც ადგილობრივი მცხოვრებნი მას წითელს უწოდებენ.

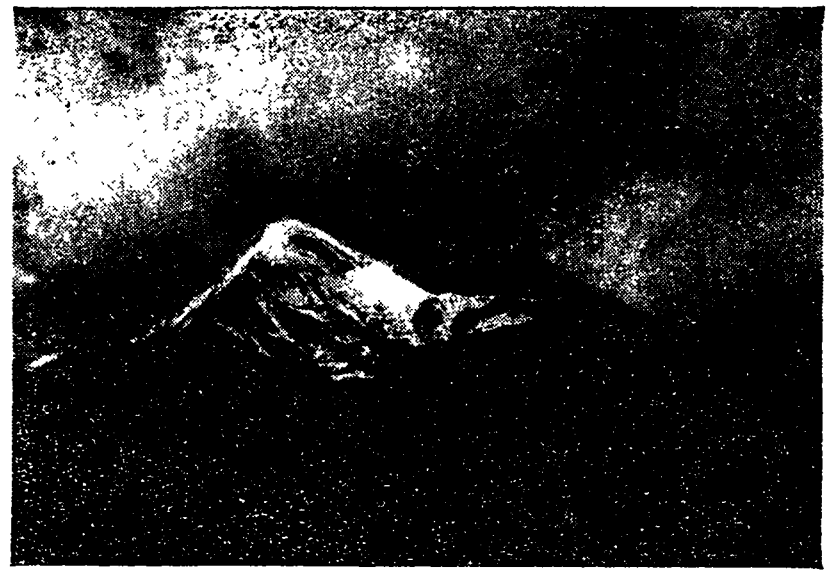
ეფექტურ ვულკანურ ნაგებობას წარმოადგენს კაიდონის მთაგრეხილი, რომლის სამხრეთ ნაწილში უკრატერო ვულკანური კონუსი — ფიდარ-ხოხია აღმართული. ამ კონუსს ჩრდილოეთით ჯერ მოსდევს სირს-ხოხი, შემდეგ შარ-ხოხი და ბოლოს შადილ-ხოხი. ეს ვულკანები იძლევა დიდი ლიახვის სათავეებში გავრცელებულ ლავის მძლავრ ნაკადებს, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებით ე. წ. ახუბატის პლატოს ქმნიან. მეტად ეფექტური ლავური ნაკადი უკავშირდება ე. წ. ხოჯის ცენტრს, რომელიც სულ ახლო წარსულში მოქმედი ყოფილა.

ყელის ზეგნის მოსაზღვრე რაიონებში ცნობილია რამდენიმე იზოლირებული ვულკანური ცენტრი. ერთი ასეთი ცენტრი მდ. ქსნის აუზში, ე. წ. უპახურის ქედის თხემურ ნაწილზეა აღმართული. იგი წითელი ხატის სახელწოდებითაა ცნობილი. ვულკანი წითელი ხატი საკმაოდ გრძელ ნაკადს იძლევა მდ. ქსნის ხეობაში. ნაკადის ბოლო ნაწილი სოფ. ჩოგოიანს აღწევს.

რამდენიმე ვულკანური ცენტრი საქართველოს სამხედრო გზის რაიონში უშუალოდ წყალგამყოფ ქედზე ან მის ახლოს მდებარეობს. მათ შორის აღსანიშნავია ვულკანი საკოხე. ხორისარი, ქაბარჯინა, მილიონა და სხვ.

ვულკანი საკოხე მთავარი წყალგამყოფი ქედის იმ ნაწილზეა აღმართული, რომელიც ჯვრის უღელტეხილის ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარეობს. ამოფრქვევის ცენტრი უკრატერო წიდის კონუსით არის წარმოდგენილი. უკანასკნელს ჩრდილო-დასავლეთი მხრიდან საძელეს ლავური თხემი უერთდება, რომელიც მდ. საძელესხევის სათავეებშია ჩაწოლილი. მაგრამ ლავის მთავარი ნაკადი წიდის კონუსიდან სამხრეთით არის გავრცელებული — გუდაურის მიდამოებში და ქვევითაც მდ. არაგვის გასწვრივ სოფ. ქვეშეთამდე აღწევს. ლავის ნაკადი კიდეებში იდეალურად — სვეტისებურადაა განწევრებული, რაც კარგად ჩანს მლეთის აღმართის დასაწყისში.

ვულკანი ხორისარიც უშუალოდ წყალგამყოფ ქედზე ძევს, ჯვრის უღელტეხილის დასავლეთით. იგი ორკონუსიან ვულკანურ ცენტრს



ვულკანი ყაზბეგი.

წარმოადგენს. ამ კონუსებიდან უფრო მაღალია დასავლეთით მდებარე (აბსოლუტური სიმაღლე 3772 მ), ის უკრატეროა და არც ლავის ნაკადს იძლევა. კარგად გამოკვეთილი კრატერი აქვს აღმოსავლეთით მდებარე დაბალ კონუსს. კრატერი ჩრდილოეთ მხარეზეა გახსნილი, საიდანაც თერგის ხეობაში საკმაოდ გრძელი (8 კმ) ნაკადია ჩაშვებული. ნაკადს ამოფრქვევის მომენტში მიუღწევია თერგის კალაპოტამდე, მდინარე ერთ ხანს შეუგუბებია და მისი მიმართულებაც კი შეუცვლია. ამ ადგილს კასარის ვიწრობი ეწოდება.

წყალგამყოფი ქედის ჩრდილოეთ კალთაზე რამდენიმე ვულკანური ცენტრი გვხვდება. მათ შორის ორი — ვულკანი წითელი ძირი, რომელიც მდ. ხოხის სათავეებში გვხვდება, და ვულკანი მილიონა — მცირე ცენტრებს წარმოადგენენ, ხოლო მესამე ვულკანი—ქაბარჯინა საკმაოდ დიდ მასივს ქმნის. იგი აღმართულია თერგის ხეობაში, სოფ. კობსა და სიონს შორის. ქაბარჯინა საკმაოდ დაშლილი ვულკანია. მისი უმაღლესი შწვერვალი ძლიერაა დაკბილული ეროზიით და რამდენიმე პიკით მთავრდება (ვულკანის აბსოლუტური სიმაღლე 3121 მეტრს უდრის, შეფარდებითი კი 800 — 900 მ). ვულკანს კრატერი არ აქვს და არც ლავის ნაკადებს ამოაფრქვევს დიდი რაოდენობით.

კავკასიონის მთავარ ქედთან დაკავშირებულ ვულკანებს შორის, იალბუზის შემდეგ, ყველაზე დიდია ყაზბეგი, ანუ მყინვარწვერი. ეს გრანდიოზული ვულკანური ნაგებობა მდ. თერგის მარცხენა მხარეზე, იურული ფიქლებით აგე-

ბულ, ე. წ. ხოხის ქედის აღმოსავლეთ დაბოლოებაზეა აღმართული. მართალია, ყაზბეგის აბსოლუტური სიმაღლე 5043 მ უდრის, მაგრამ საკუთრივ ვულკანის სიმაღლე 1000 მეტრზე მეტი არ არის.

ყაზბეგის მთავარ მწვერვალს დაახლოებით კონუსური ფორმა აქვს, თხემი რამდენადმე წაგრძელებულია აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ და კალთებიც არათანაბრად აქვს დაქანებული. აღმოსავლეთი კედელი კლდოვანია. თხემის აღმოსავლეთ ბოლოზე ამჟამად საკმაოდ დაშლილი კრატერული ჩაღრმავება აღინიშნება. მთავარ მწვერვალს დასავლეთი მხრიდან შედარებით დაბალი, კლდოვანი მწვერვალი ესაზღვრება, იგი მთავარისაგან მცირე უნაგირათი არის გამოყოფილი. უტყუარი გეოლოგიური საბუთები იმაზე მიგვითითებს, რომ ეულკანი არა ნაკლებ ოთხჯერ ამოფრქვეულა. ამოფრქვევის პროდუქტები, უმთავრესად ლავის ნაკადების სახით, რადიალურადაა გავრცელებული მთავარი კონუსიდან თერგის ხეობაში.

ვულკან ყაზბეგს აქვს აგრეთვე გვერდითი კონუსები. ერთი ასეთი ცენტრი ტყარშეთის სახელწოდებითაა ცნობილი. მისი ნაკადი სოფ. გორისციხესთან ჩამოდის უშუალოდ თერგის კალაპოტში. მეორე მცირე კონუსი ჩუთ-წვერი კი ყაზბეგის აღმოსავლეთ კალთაზე ზის დაახლოებით 3500 მეტრის სიმაღლეზე. ყაზბეგის ძველი ნაკადის ზედაპირზეა აღმართული კონუსი შევარდენი, რომელიც მდ. დეცხვას სათავეებში მდებარეობს.

ყაზბეგი ძირითადად მეოთხეულ პერიოდში ნოქმედებდა, თუმცა პირველი ამოფრქვევის ნიშნები ზედა მესამეულშიც შეიმჩნევა.

საკმაოდ დაშლილი ვულკანური ნაგებობა აღინიშნება მამისონის უღელტეხილის რაიონში, სოფ. ღურშევთან. ეს არის ვულკანი წითელი მთა, რომელსაც არ გააჩნია კრატერი და არც ლავის ნაკადი. ვულკანის აბსოლუტური სიმაღლე 2505 მეტრია, შეფარდებით კი 500 მეტრი.

როგორ მოქმედებენ გეიზერები

გეიზერები, ცხელი წყაროები და მინერალური წყლები მრისხანე ვულკანური მოქმედების უკანასკნელ გამოვლინებას წარმოადგენს.

გეიზერი არის წყარო, რომელიც დროის გარკვეულ შუალედებში მდუღარე წყალს ამოაფრქვევს. ამ წყლის უზარმაზარი სვეტი, გახვეული სქელი ორთქლის ქულებში, აფეთქებითა და გრუხუნით ავარდება ზევით შადრევნად და ზოგჯერ 80 მ სიმაღლეზე იშლება.

შადრევანი ამოდის რამდენიმე ხანს, შემდეგ წყალი შეწყდება, ორთქლის ქულები გაიბნევა და გეიზერი მშვიდდება.

ზოგიერთი გეიზერიდან წყალი დიდ სიმაღლეზე არ ამოდის, მხოლოდ შხეფებად იფანტება. არის გუბის მსგავსი ცხელი წყაროები, რომლებშიც წყალი დუღს და ორთქლის ბუშტულებს წარმოქმნის. ჩვეულებრივ, გეიზერის ირგვლივ აუზი ან მცირე კრატერია, რომლის დიამეტრი რამდენიმე მეტრია. ასეთი აუზის ნაპირები და მისი ახლომახლო ადგილები დაფარულია მდუღარე წყლიდან გამოლექილი სილიციუმის ორჟანგით. ამ ნალექებს ეწოდება გეიზერიტები. ზოგიერთი გეიზერის ახლოს წარმოიქმნება გეიზერიტის კონუსები, რომელთა სიმაღლე რამდენიმე სანტიმეტრიდან რამდენიმე მეტრს აღწევს.

გეიზერის ამოფრქვევის შემდეგ აუზი მაშინვე იცლება წყლისაგან და მის ფსკერზე შეიძლება არხის (ყელის) დანახვა, რომელშიც ქვევით, მიწის სიღრმეში მიმავალი წყალი ჩანს.

ამოფრქვევის წინ წყალი ზევით იწევს, ნელა ავსებს აუზს, ხმაურობს, შხეფებს ისვრის, შემდეგ კი მდუღარე წყლის შადრევანი ავარდება მაღლა. რამდენიმე ხნის შემდეგ ამოფრქვევა წყდება.

გეიზერი ბუნების ერთ-ერთი ულამაზესი და იშვიათი მოვლენაა. გეიზერები გვხვდება სსრკ-ში (კამჩატკაზე), ისლანდიაში, ახალ ზელანდიასა და ჩრდილოეთ ამერიკაში. ერთეული პატარა გეიზერები არის ზოგიერთ სხვა ვულკანურ მხარეშიც.

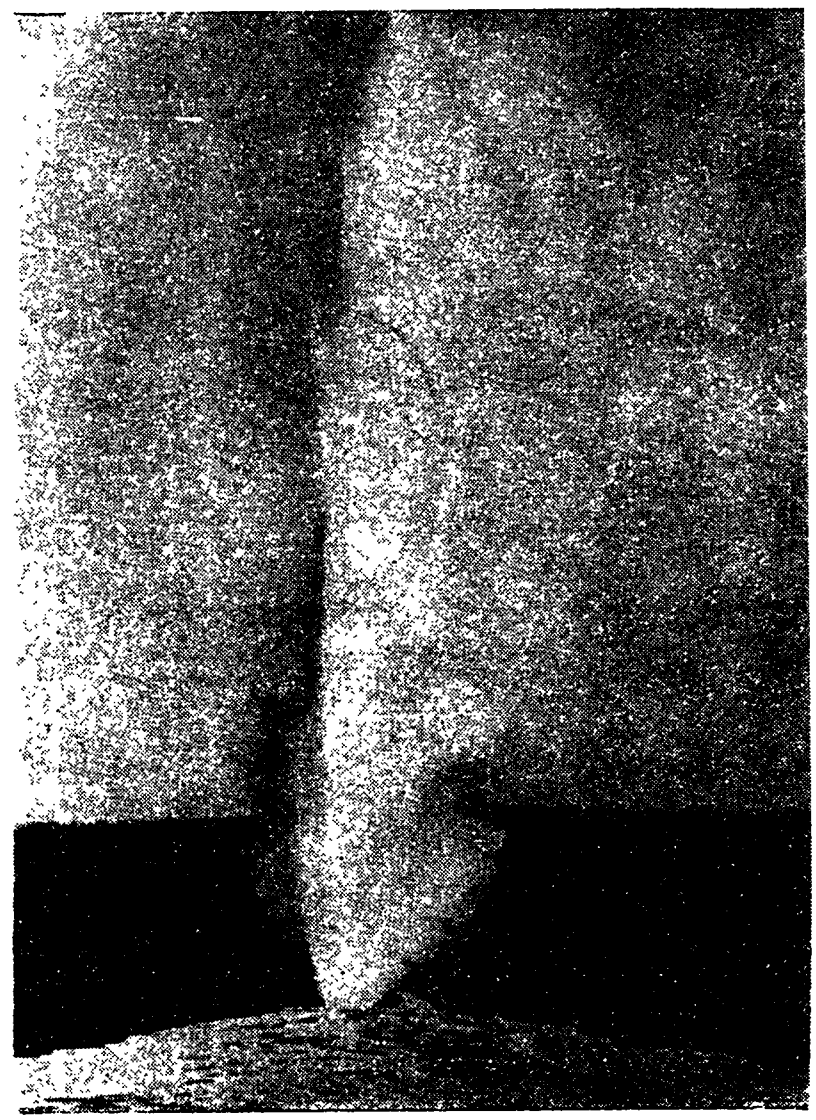
კამჩატკის აღმოსავლეთ ნაწილში, კრონოცკის ტბის სამხრეთით, მდ. გეიზერნაიას დაბლობში, ბევრი გეიზერია. ამ მდინარის სათავე იწყება ჩამქრალი ვულკანის კიხპინიჩის ხრიოკი ფერდობებიდან

და დინების ქვემო წელში ქმნის 3 კმ სიგანის ხეობას. ამ განიერი ხეობის ფერდობებზე დიდი რაოდენობითაა ცხელი წყაროები, ცხელი და თბილი ტბები, ტალახის ორმოები და გეიზერები.

აქ ცნობილია 20-მდე დიდი გეიზერი, თუ არ ჩავთვლით პატარებს, რომლებიც წყალს სულ რამდენიმე სანტიმეტრზე აფრქვევენ. ზოგიერთი გეიზერის ახლოს ნიადაგი თბილი და ზოგჯერ ცხელიც კია. ბევრი გეიზერი გარშემორტყმულია სხვადასხვა ფერის საოცარი ფორმის გეიზერიტებით, რომლებიც ლამაზ, ხელოვნურ მესერს მოგვაგონებს. ზოგჯერ გეიზერიტი რამდენიმე ათეული კვადრატული მეტრის მოედანს ფარავს. მაგალითად, კამჩატკის ყველაზე დიდი გეიზერის „გოლიათის“ ახლოს, რომლის უზარმაზარი შადრევანი რამდენიმე ათეული მეტრის სიმაღლეზე ადის, დაახლოებით ერთ ჰექტარ ფართობზე წარმოიქმნა გეიზერიტის მოედანი. იგი მთლიანად დაფარულია მონაცრისფრო-მოყვითალო ფერის პატარა, ქვის ვარდების მსგავსი ნადენებით. ეს მოედანი ლამაზი საფეხურებით ეშვება მდინარისაკენ.

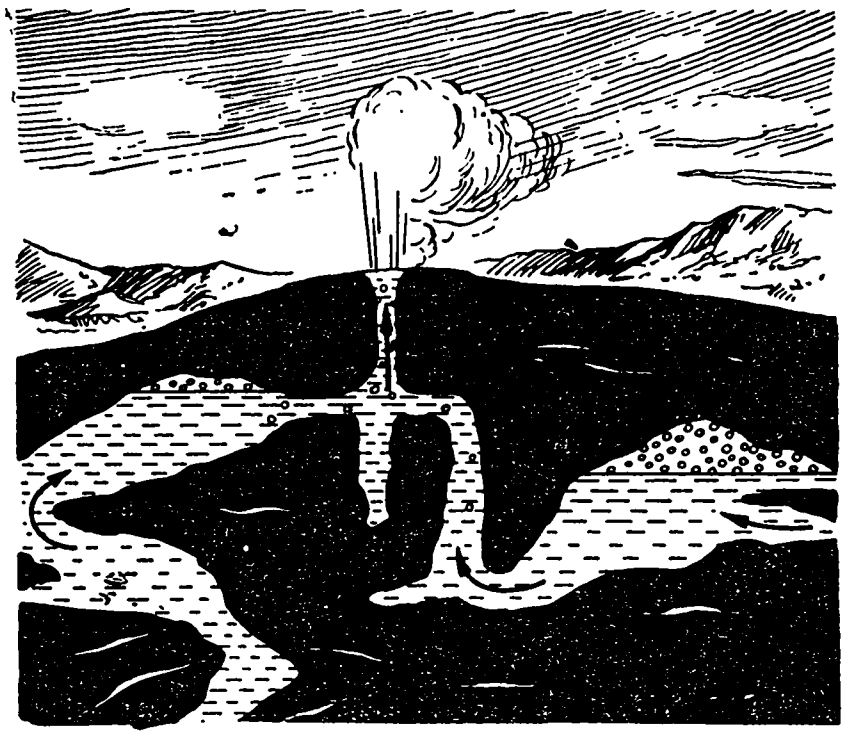
იქვე ახლოს მდებარეობს გეიზერი „მარგალიტისებრი“. ეს სახელი დაარქვეს იმის გამო, რომ მისი გეიზერიტი მარგალიტის მსგავსია და სადაფისებურად ელვარებს. არის აგრეთვე გეიზერი „შაქრისებრი“, სადაც გეიზერიტის ნაზი ვარდისფერი, უხვი და ლამაზი ნალექები შეიმჩნევა. ამ გეიზერის წყალი შადრევნად კი არ ამოიფრქვევა. არამედ თანაბარი ბიძგებით იღვრება.

გეიზერი „პირმშო“ ქვიან ცხელ მოედანზე მდებარეობს, თითქმის ზედ შუმნაიას სანაპიროზე, მდ. გეიზერნაიას შესართავის ახლოს. „პირმშოს“ აქვს მეტრ-ნახევარი დიამეტრის და ასეთივე სიღრმის აუზი, რომელიც გარშემორტყმულია ქვის დიდი ლოდებით. თუ წყლის ამოფრქვევის შემდეგ უმალ ჩავიხედავთ აუზში, დავინახავთ, რომ მასში სრულიად არ არის წყალი. ფსკერზე შევამჩნევთ ხვრელს, ანუ არხს, რომელიც ირიბად მიდის სიღრმეში. რამდენიმე ხნის შემდეგ მიწიდან გავიგონებთ ძრავის ხმაურის მსგავს გუგუნს: წყალი არხში ზევით ამოდის და აუზი თანდათანობით ივსება. წყალი დუღს, აღწევს აუზის ნაპირებამდე, იწყებს გადმოღვრას და ბოლოს აფეთქებით ავარდება მაღლა ორთქლის სქელი ღრუბლებით გარემოცული, ირიბად მიმართული ჰდუღარე წყლის სვეტი ხმაურით ადის არა ნაკლებ 15 — 20 მეტრ სიმაღლეზე. ძლიერი შადრევანი ჩქეფს ორი-სამი წუთი, შემდეგ ჩამოვარდება სიჩუმე, ორთქლი იფანტება და დაცლილ აუზში შეიძლება უშიშრად ჩავიხედოთ. დროის მცირე შუალედის შემდეგ ისევ ისმის ხმაური და გეიზერი კვლავ იწყებს მოქმედებას.



გეიზერ „ძველი მსახურის“ ამოფრქვევა იელოუსტონის ნაციონალურ პარკში (ჩრდილოეთ ამერიკა).

ისლანდია ძველთაგან განთქმულია თავისი ცხელი წყლებით, მდუღარე მდინარეებითა და გეიზერებით. ისლანდიის თითქმის ყველა მდიდარის დაბლობში ჩანს მდუღარე წყაროებიდან და გეიზერებიდან წამოსული ორთქლის ღრუბლები. ისინი განსაკუთრებით დიდი რაოდენობითაა კუნძულის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში. აქ ყველაზე საინტერესო სანახავია ცნობილი „დიდი გეიზერი“. მისი აუზის დიამეტრი თითქმის 18 მეტრია. აუზის ბრტყელ ფსკერს ცენტრში აქვს დაახლოებით სამმეტრიანი დიამეტრის მრგვალი ყელი, რომელიც ღორმით პიონერული საყვირის მილძაბრას წააგავს.



გეიზერის ჭრილი. შტრიხებით ნაჩვენებია წყალი, რგოლებით — გაზი.

გეიზერის არხი ჩადის დიდ სიღრმეზე და იქ უერთდება მიწისქვეშა გამოქვაბულებსა და ნაპრალებს, რომლებიც პერიოდულად ივსება ცხელი წყლითა და ორთქლით. წყლის ტემპერატურა გეიზერის ზედაპირზე 80°-მდეა, ხოლო ქვევით ყელში გარკვეულ სიღრმეზე 120°-მდე აღწევს.

„დიდი გეიზერის“ ამოფრქვევა ლამაზი სანახავია. იგი მეორდება ყოველი 20 — 30 საათის შემდეგ და გრძელდება 2,5 — 3 საათი. შადრევნის სიმაღლე 30 მ-ს აღწევს.

ისლანდიის მკაცრი ბუნება აიძულებს იქაურ მცხოვრებლებს ზოგიერთი ცხელი წყარო გამოიყენონ მინდვრების მოსარწყავად. გამთბარ ნიადაგზე მოჰყავთ ბოსტნეული და მარცვლეული. ცხელი წყაროების წყალს ხმარობენ ქალაქებსა და დასახლებულ ადგილებში სახლების გასათბობად. მაგალითად, ისლანდიის დედაქალაქ რეიკიავიკში გასათბობად მთლიანად ცხელი წყაროების წყლებს იყენებენ.

ახალი ზელანდიის ჩრდილოეთ კუნძულზე 1904 წლამდე მოქმედებდა გეიზერი „ვაიმანგუ“. ეს იყო მსოფლიოში ყველაზე დიდი გეიზერი. ძლიერი ამოფრქვევის დროს მისი შადრევანი ადიოდა 450 მ-ზე. მაგრამ ახლა ეს გეიზერი სრულიად გამქრალია. ამას იმით ხსნიან, რომ უახლოეს ტბაში — ტარავერაში — წყლის დონემ 11 მ-ით დაიწია.

ვაიკატოს ტბის ნაპირზე არის გეიზერი „კროუსნესტი“ („ყვავის ბუდე“), რომლის ამოფრქვევა დამოკიდებულია ტბის წყლის დონეზე. თუ ტბაში წყლის დონე მაღალია, მაშინ გეიზერი ამოიფრქვევა ყოველ 40 წუთში. თუ წყლის დონე დაბალია, მაშინ ამოფრქვევა ხდება ყოველ 2 საათში.

მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანი ცხელი წყაროა და გეიზერია ჩრდილოეთ ამერიკაში ვაიომინგისა და მონტანის შტატების საზღვარზე. ამ მშვენიერ ადგილს იელოუსტონის ნაციონალურ პარკს ეძახიან. ის წარმოადგენს ზეგანს, რომელიც დასერილია მდინარეების ღრმა ხეობებით, ტბების ღრმულებით და გარშემორტყმულია კლდოვანი მთების მაღალი, თოვლიანი ქედებით.

რამდენიმე მილიონი წლის წინათ აქ ხდებოდა მეტად ძლიერი ვულკანური ამოფრქვევები, რომელთა შედეგადაც წარმოიქმნა ბუნების ეს განსაცვიფრებელი კუთხე. იელოუსტონის პარკის 200 გეიზერიდან ყველაზე მეტად ცნობილია გეიზერი „ძველი მსახური“. იგი რამდენიმე ასეული წელი ჰოქმედებს, ისევე როგორც იელოუსტონის პარკის რამდენიმე სხვა გეიზერი და ცხელი წყარო.

წარმოიდგინეთ სითბოს რა დიდი რაოდენობა ამოაქვთ დედამიწის ზედაპირზე ამ გეიზერებს და ცხელ წყაროებს! ფიქრობენ, რომ იელოუსტონის პარკის ყველა წყაროს სითბოს შეუძლია ერთ სეკუნდში დაახლოებით 3 ტ ყინული გაადნოს.

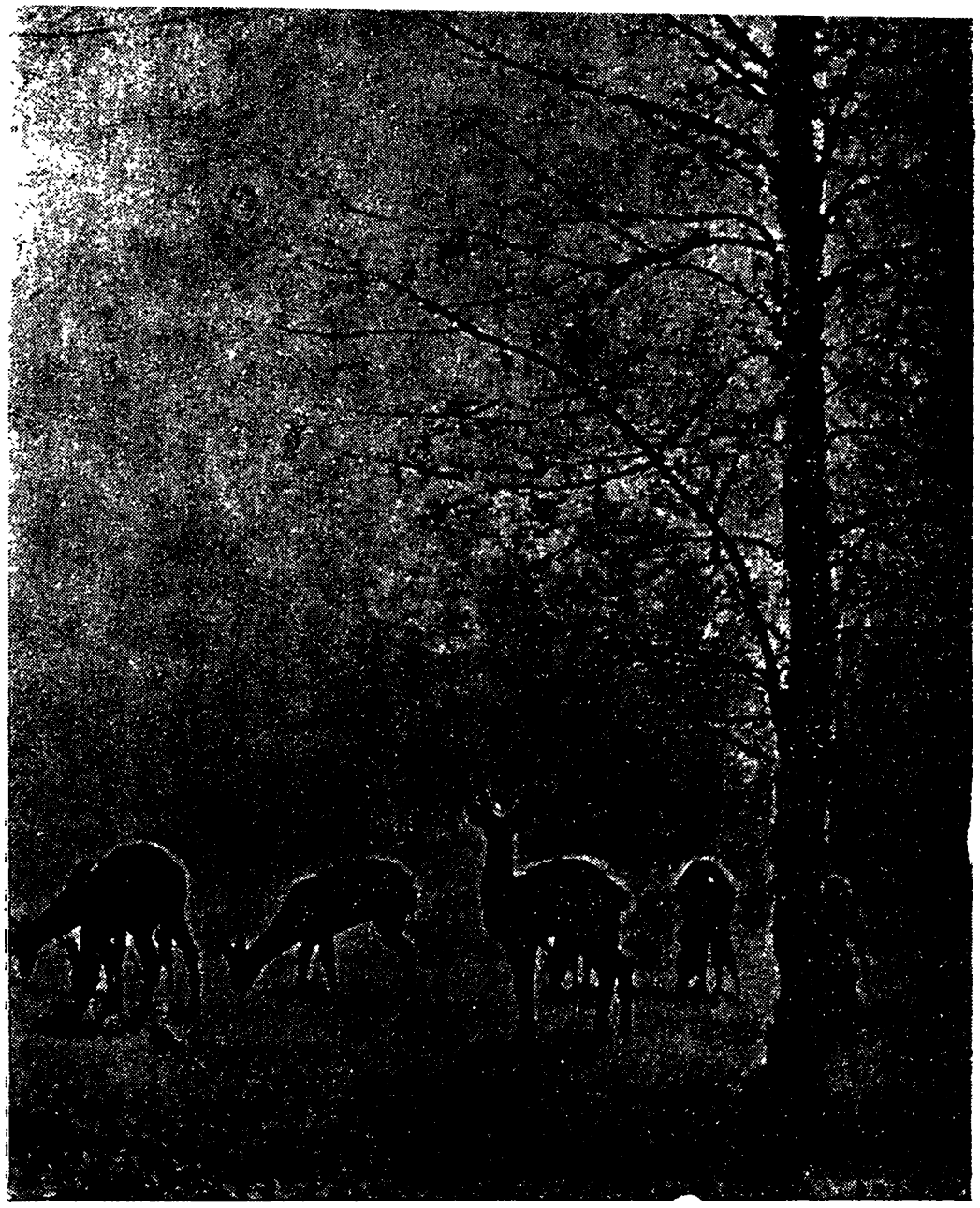
საიდან მიიღება ეს სითბო? გეიზერები გვხვდება იმ რაიონებში, სადაც მიწის ზედაპირის ახლოს მაგმა ჯერ კიდევ არ არის გაცივებული. მისგან გამოყოფილი გაზი და ორთქლი მოიწევს ზევით ნაპრალების გრძელი გზით, უერთდება მიწისქვეშა წყლებს და ათბობს მათ. სწორედ ასეთი წყალი გამოდის მიწის ზედაპირზე ცხელი წყაროების, სხვადასხვა მინერალური წყლების, გეიზერებისა და სხვათა სახით.

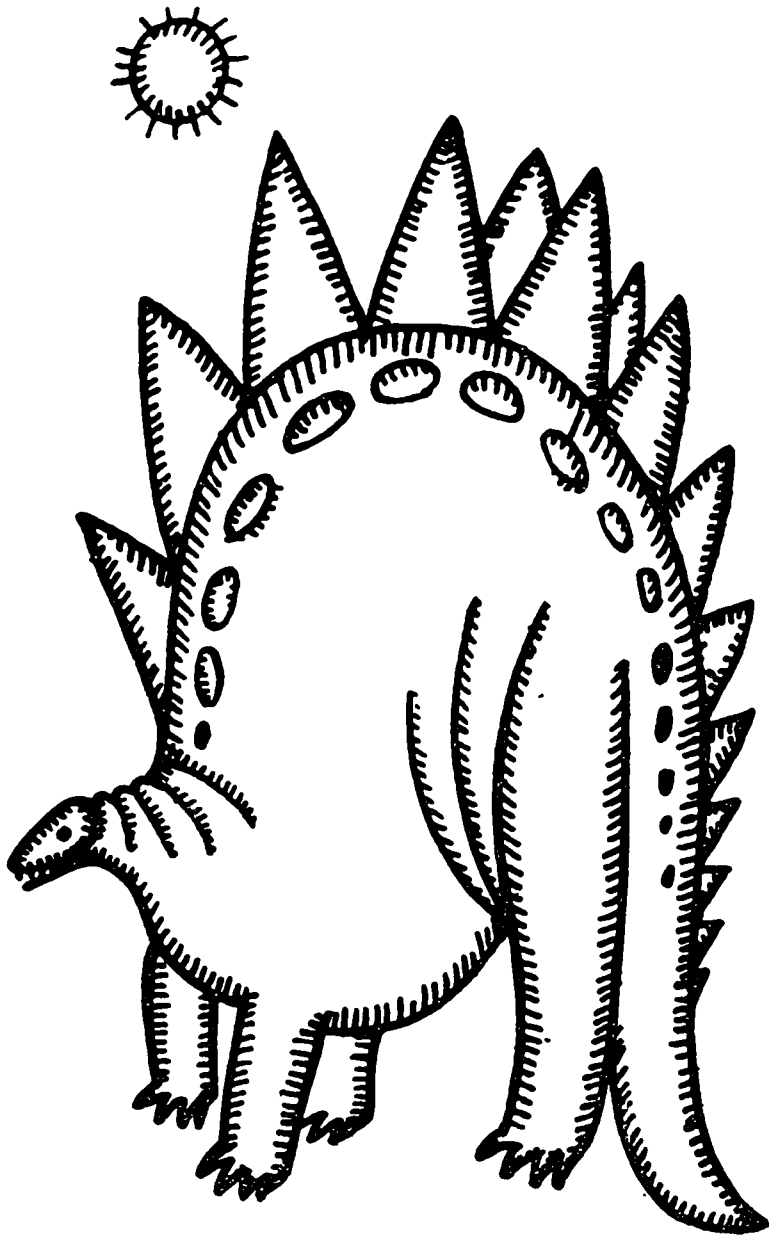
მეცნიერები ფიქრობენ, რომ მიწისქვეშ გეიზერებს აქვთ გამოქვაბულები (კამერები) და მათი შემაერთებელი ხვრელები და ნაპრალები (არხები), რომლებიც გვხვდება ლავის გაცივებულ ნაკადებში. ეს სიცარიელეები ავსებულია მოძრავი მიწისქვეშა წყლებით. მათ მახლობლად, ცოტა ქვემოთ კი განლაგებულია ჯერ კიდევ ცხელი მაგმური კერები.

გეიზერების ამოფრქვევა სხვადასხვანაირად მიმდინარეობს. მათი ამოფრქვევის ხასიათი დამოკიდებულია მიწისქვეშა კამერების სიდიდეზე, არ-

ხების ფორმასა და ნაპრალების განლაგებაზე, გეიზერებში გრუნტის წყლების ნაკადის რაოდენობაზე, სისწრაფესა და სიღრმიდან სითბოს მიღებაზე. ცნობილია, რომ წყლის დუღილის ტემპერატურა 1 ატმოსფერო წნევის დროს უდრის 100°. თუ წნევა იზრდება, მაშინ დუღილის ტემპერატურა ზევით იწევს, ხოლო წნევის შემცირებისას - – მცირდება. გეიზერის არხში წყლის სვეტის წნევა მაღლა სწევს წყლის დუღილის წერტილს არხის ფსკერზე. წყალი ქვემოდან გათბობისას იწყებს მოძრაობას. წყლის ქვედა ფენა გაცხელების შემდეგ უფრო მსუბუქი ხდება და ზევით იწევს, ხოლო უფრო ცივი წყალი ზედაპირიდან ქვემოთ ეშვება, სადაც თბება და ისევ ზევით ადის.

ამგვარად, ორთქლი და გაზი, რომლებიც განუწყვეტლივ ამოდიან სიღრმიდან, ათბობენ და ადუღებენ წყალს. თუ გეიზერის არხი განიერია და ცოტად თუ ბევრად სწორია, წყალი მოძრაობს, იწყებს დუღილს და ამოდის ზედაპირზე ცხელი წყაროს სახით. თუ არხი მიხვეულ-მოხვეული და წვრილია, წყალს არ შეუძლია არევა და არათანაბრად ცხელდება. ზევიდან წყლის სვეტის წნევის გამო ქვედა ნაწილში წყალი ძალზე ცხელდება და ორთქლად იქცევა. ორთქლი გამოიყოფა ცალკეული ბუშტულების სახით. ქვემოთ დაგროვილი, შეკუმშული ორთქლი ფართოვდება, აწვება არხში წყლის ზედა ფენას და იმდენად მაღლა სწევს მას, რომ წყალი მიწის ზედაპირზე იღვრება პატარა შადრევნების სახით, რაც ამოფრქვევის მომასწავებელია. წყლის ამოფრქვევა ამცირებს არხში წყლის სვეტის წონას, სიღრმეში წნევა მცირდება და დუღილის წერტილს გადაცილებული, ძალზე გაცხელებული წყალი უცბად გადაიქცევა ორთქლად. ორთქლის წნევა ქვემოდან იმდენად დიდია, რომ ქმნის მდუღარე წყლის უზარმაზარ შადრევნებსა და ორთქლის ჭულებს.





სიცოცხლის გარემო

როგორ ვითარდებოდა დედამიწაზე სიცოცხლე

ქვის მატიანე

დიდი და მრავალფეროვანია დედამიწის მცენარეთა და ცხოველთა სამყარო! მეცნიერთა არასრული გაანგარიშების მიხედვით დედამიწაზე ცხოველთა 1.5 მლნ და მცენარეთა 500 ათასამდე სახეობა არსებობს.

როგორ გაჩნდნენ ეს მცენარეები და ცხოველები? ყოველთვის ასეთები იყვნენ? ყოველთვის ასეთი იყო დედამიწა? ეს კითხვები მუდამ აღელვებდა და აინტერესებდა ადამიანებს. რელიგიის გამონაგონი, თითქოს დედამიწა და ყველაფერი, რაც მასზე არსებობს, უზენაესი არსების — ღმერთის მიერ ერთ კვირაში შეიქმნა. ვერ დაგვაკმაყოფილებს. მხოლოდ მეცნიერებამ შეძლო ფაქტებზე დაყრდნობით დაედგინა დედამიწისა და მის მობინადრეთა ნამდვილი ისტორია.

ჩვენ მოგითხრობთ, როგორ მიხვდნენ მეცნიერები, თუ რა იყო დედამიწაზე ადამიანის გაჩენამდე, როგორი იყო თვით დედამიწა, როგორ ჩაისახა იქ სიცოცხლე. შეიტყობთ, რომ ძველად არსებობდნენ გიგანტური შვიტები და ლიკოპოდიუმები,

ჭაობიანი ტყეები, რომლებიც ოდესღაც კონტინენტებს ფარავდნენ, შეიტყობთ გოლიათი ხვლიკების — დინოზავრების, პლანეტის ამ ყოფილ „მეუფეთა“, ამბავს, გაიგებთ, როგორ დაუთმეს მათ ადგილი მცირე, მაგრამ ბევრად სრულყოფილ ორგანიზმებს — ფრინველებსა და ცხოველებს, რად არის სისხლი მლაშე, რატომ აქვთ ოთხი ფეხი ხერხემლიან ცხოველებს, ვინ იყო ადამიანის წინაპარი და კიდევ სხვა მრავალ ამბავს დედამიწის ცხოვრების ვრცელი და ხანგრძლივი ისტორიიდან.

სიცოცხლის განვითარების შესწავლას დიდი ამაგი დასდეს გენიალურმა ინგლისელმა მეცნიერმა, მეცნიერული ბიოლოგიის (დარვინიზმის) ფუძემდებელმა ჩარლზ დარვინმა, პალეონტოლოგიის[1] შემქმნელმა ფრანგმა კიუვემ, დიდმა მეცნიერებმა — ა. კოვალევსკიმ, ი. მეჩნიკოვმა, ვ. კოვალევსკიმ, კ. ტიმირიაზევმა, ი. პავლოვმა და კიდევ სხვებმა. მათ შესახებ დაწვრილებით მოგვითხრობს ენციკლოპედიის მე-4 და მე-6 ტომები.

ადამიანთა საზოგადოების, ხალხთა და სახელმწიფოთა ისტორიას ისტორიული საბუთებისა და მატერიალური კულტურის საგანთა (შემორჩენილი ტანსაცმლის, იარაღების, საცხოვრებლებისა და სხვ.) გამოკვლევით სწავლობენ. თუ ისტორიული მონაცემები არ არის, არც მეცნიერება იქნება. დედამიწაზე სიცოცხლის ისტორიის მკვლევარსაც საბუთები სჭირდება, მაგრამ ეს საბუთები მკვეთრად განსხვავდება ისტორიკოსისთვის საჭირო საბუთებისაგან. დედამიწის წიაღი — აი, არქივი, სადაც დედამიწის წარსულისა და მასზე სიცოცხლის არსებობის „საბუთები“ შემოინახა. მიწის შრეებში უძველესი სიცოცხლის ნაშთებია შემორჩენილი. ისინი გვიჩვენებენ, როგორი იყო სიცოცხლე ათასეული და მილიონობით წლის წინ. დედამიწის წიაღში შეიძლება წვიმის წვეთებისა და ზღვის ტალღების, ქარისა და ყინულის ნაკვალევსაც მივაგნოთ. ქანების ნალექების საშუალებით შეიძლება ზღვის, მდინარის, ჭაობის, ტბისა და შორეულ წარსულში არსებული უდაბნოს კონტურების აღდგენა. გეოლოგები და პალეონტოლოგები დედამიწის ისტორიის შესწავლისას სწორედ ამ „საბუთებს“ ეყრდნობიან.

დედამიწის ქერქის ქანები ბუნების ისტორიის უზარმაზარი მუზეუმია. ეს მუზეუმი ჩვენთან ყველგანაა, სადაც კი მდინარეებისა და ზღვების ციცაბოკბოდეებიანი ნაპირები, ქვის სამტეხლოები და შახტებია, მაგრამ თავის საგანძურს უფრო მეტად მაშინ გვთავაზობს, როცა საგანგებო გათხრებს ვახორციელებთ.

როგორ და რა სახით შემორჩა ჩვენამდე ოდესღაც არსებული ორგანიზმების ნაშთები?

ორგანიზმების ნაშთები მდინარის, ტბის ან ზღვის სანაპიროს ზოლში მოხვედრისას შეიძლება ზოგჯერ სწრაფად დაფაროს შლამმა, ქვიშამ ან თიხამ, სწრაფად გაიჟღენთოს მარილებით და ამრიგად სამუდამოდ „გაქვავდეს“. მდინარეთა დელტაში, ზღვის სანაპირო ზოლში, ტბებში ზოგჯერ უამრავი ნამარხი ორგანიზმია, რომლებიც ვეებერთელა „სასაფლაოებს“ ქმნიან. ნამარხები ყოველთვის როდია გაქვავებული. გვხვდება მცენარეებისა და ცხოველების (მით უმეტეს თუ მცირე ხნის წინ უცხოვრიათ) ისეთი ნამარხებიც, რომლებიც მხოლოდ ოდნავაა შეცვლილი. მაგალითად, რამდენიძე ათასი წლის წინათ მცხოვრები მამონტების გვამებს ზოგჯერ ხელუხლებლად ნახულობენ მუდმივი გამყინვარების ადგილას. ჩვეულებრივად კი ცხოველები და მცენარეები მთლიანად იშვიათადაა შემონახული. უმეტესად გვხვდება ჩონჩხის ცალკეული ძვლები, კბილები, ნიჟარები, ხის ღეროები, ფოთლები ან მათი აღნაბეჭდები ქვებზე.

საბჭოთა პალეონტოლოგმა პროფ. ი. ეფრემოვმა ბოლო წლებში საფუძვლიანად დაამუშავა მოძღვრება უძველესი ორგანიზმების განამარხების შესახებ.

ასეთი ორგანიზმების ნაშთების მიხედვით შეიძლება გავიგოთ, რომელი არსებები ბინადრობდნენ ძველად, სად, როგორ ცხოვრობდნენ და რატომ გარდაიქმნენ.

მოსკოვის მიდამოებში შეიძლება წააწყდეთ კირქვას, რომელსაც მარჯნის მრავალრიცხოვანი ნაშთი შერჩენია. რა დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ აქედან? შეგვიძლია დავამტკიცოთ, რომ მოსკოვის მიდამოებში ერთ დროს იყო ზღვა და დღევანდელზე უფრო თბილი ჰავა. ზღვა ყოფილა წყალმარჩხი: მარჯნები ხომ წყალში ძალიან ღრმად არ ცხოვრობენ. ყოფილა აგრეთვე მლაშე: მარჯნები მტკნარ ზღვებში ნაკლებად გვხვდებიან. აქ კი უამრავი ჩანს. თუ მარჯნების აგებულებას კარგად

[1] პალეონტოლოგია — მეცნიერება უძველესი ორგანიზმების შესახებ. იგი მიზნად ისახავს მცენარეთა და ცხოველთა ისტორიის დადგენას.

გამოვიკვლევთ, სხვა დასკვნებიც შეიძლება გამოვიტანოთ.

მეცნიერებს ცხოველის ჩონჩხისა და სხვა შემონახული ნაწილების (ტყავის, კუნთების, ზოგიერთი შინაგანი ორგანოს) მიხედვით შეუძლიათ დაადგინონ არა მარტო მისი სახე, არამედ ისიც, როგორ ცხოვრობდა. მარტო ხერხემლიანთა ჩონჩხის ნაწილების (ყბის, თავის ქალის, ფეხის ძვლების) საშუალებითაც კი შეიძლება მეცნიერულად გამართლებული დასკვნის გამოტანა ორგანიზმის აგებულების, მისი ცხოვრების, აგრეთვე ნამარხ და დღევანდელ ცხოველებს შორის არსებულ მის უახლოეს მონათესავეთა შესახებ.

ორგანიზმების განუწყვეტელი განვითარება დედამიწაზე ბიოლოგიის ის ძირითადი კანონია, რომელიც ჩ. დარვინმა აღმოაჩინა. რაც უფრო ძველია დედამიწაზე მცხოვრები ორგანიზმები, მით უფრო მარტივია მათი აგებულება. რაც უფრო ახლოსაა ორგანიზმები ჩვენს ხანასთან, მით უფრო რთული ხდება მათი აგებულება, მით უფრო ემსგავსებიან ისინი თანამედროვე არსებებს.

პალეონტოლოგიისა და გეოლოგიის მონაცემებით დედამიწისა და სიცოცხლის ისტორია ხუთ ერადაა დაყოფილი. ყოველ მათგანს ახასიათებს განსაზღვრული ორგანიზმები, რომლებიც იმ დროს ჭარბად იყვნენ. ყოველი ერა რამდენიმე პერიოდად იყოფა, პერიოდები კი — ხანებად და საუკუნეებად. დედამიწისა და სიცოცხლის ისტორიის ქრონოლოგიას 121 — 122 გვ. გაეცნობით.

მეცნიერებმა დაადგინეს, რა გეოლოგიური მოვლენები და ცვლილებები ხდებოდა ცოცხალი ბუნების განვითარებისას ამა თუ იმ ერასა, პერიოდსა თუ ხანაში.

მეცნიერება უძველესი ქანების ასაკის, მაშასადამე, ამა თუ იმ ნამარხი ორგანიზმის არსებობის დროის განსაზღვრის რამდენიმე წესს იცნობს (იხ. გვ. 119). მაგალითად მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ დედამიწის უძველესი ქანების, არქაული ერის (ბერძნული სიტყვიდან „არქაიოს“ — უძველესი) ასაკი 3,5 მილიარდამდე წელს შეადგენს. სხვადასხვა წესით გამოთვალეს გეოლოგიურ ერათა და პერიოდთა ხანგრძლიობა.

ერა, რომელშიც ჩვენ ვცხოვრობთ, ყველაზე ახალია. ამ ერას კ ა ი ნ ო ზ ო უ რ ს — სიცოცხლის ახალ ერას უწოდებენ. მას წინ უსწრებდა მ ე ზ ო ზ ო უ რ ი — სიცოცხლის საშუალო ერა. ხოლო მეზოზოურს — პ ა ლ ე ო ზ ო უ რ ი — სიცოცხლის უძველესი ერა. კიდევ უფრო ადრე პ რ ო ტ ე რ ო ზ ო უ რ ი და ა რ ქ ა უ ლ ი ერები იყო.

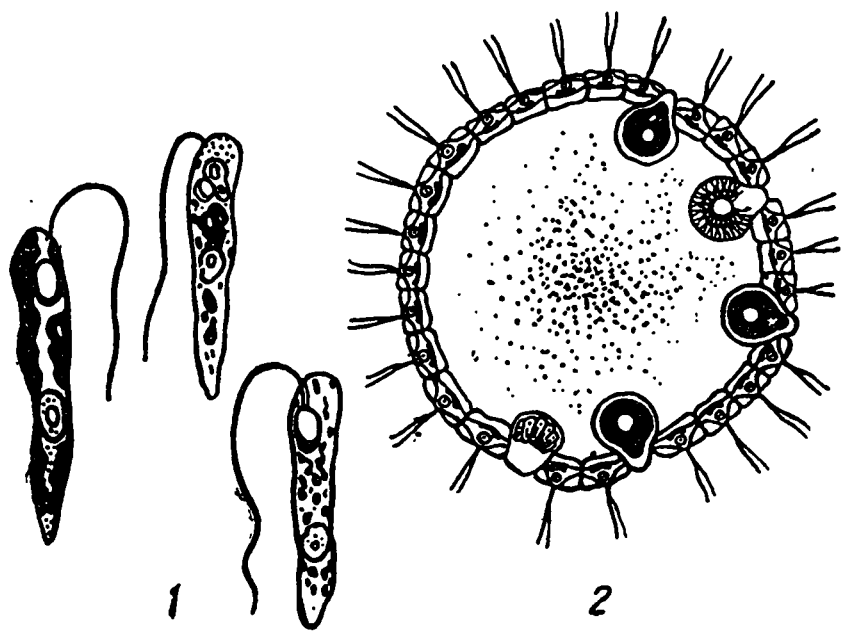
შორეული წარსულის ასაკობრივ გამოთვლას ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩვენი პლანეტის ისტორიის, მასზე სიცოცხლის განვითარებისა და ადამიანთა საზოგადოების ისტორიის გაგებისათვის. ასაკობრივ გამოთვლას დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისათვის, მათ შორის სასარგებლო წიაღისეულთა მეცნიერულად დასაბუთებული ძიებისათვის.

წამები კმარა წუთმზომი ისრის გადაადგილების შესამჩნევად, ორი-სამი დღე, რომ გავიგოთ რამდენად გაიზარდა ბალახი, სამი-ოთხი წელი — იმისთვის, რომ იგრძნო, როგორ დაკაცდა ყმაწვილი, მაგრამ ოკეანეებისა და კონტინენტების მოხაზულობათა ზოგი ცვლილების შესამჩნევად ათასწლეულებია საჭირო. ადამიანის სიცოცხლის დრო — ეს არის შეუგრძნობელი წამი დედამიწის ისტორიის გრანდიოზულ საათზე. ამიტომაც ადამიანებს ძველთაგან ეგონათ, რომ ოკეანეებისა და ხმელეთის მოხაზულობანი უცვლელი იყო და არც ადამიანის გარშემო არსებული ცხოველები და მცენარეები იცვლიდნენ სახეს. დედამიწაზე სიცოცხლის განვითარების კანონებისა და ისტორიის ცოდნა აუცილებელია ყველასთვის, იგი მეცნიერული მსოფლგაგების საძირკველს წარმოადგენს და ბუნების ძალთა დასამორჩილებელ გზას გვიკაფავს.

ზღვები და ოკეანეები სიცოცხლის წყაროა დედამიწაზე

არქაული ერის დასაწყისს 3,5 მლრდ წელი გვაშორებს. ამ ერის მანძილზე დაგროვილი დანალექი ქანების შრეებში არც ერთი ორგანიზმის ნაშთი არაა აღმოჩენილი. მაგრამ უდავოა, რომ მაშინ ცოცხალი არსებები უკვე იყვნენ: არქაული ერის ნალექებში მიაგნეს კირქვისა და ანტრაციტის მსგავსი ქანების გროვას, რაც მხოლოდ ცოცხალ არსებათა მოქმედების შედეგად შეიძლებოდა წარმოქმნილიყო.

გარდა ამისა, მომდევნო, პროტეროზოური ერის ქანებში წყალმცენარეებისა და ზღვის ნაირსახოვანი უხერხემლო ცხოველების ნაშთებია აღმოჩენილი. უეჭველია, რომ ეს მცენარეები და



შოლტიანები — ერთუჯრედიანთა ერთ-ერთი უძველესი და უმარტივესი წარმომადგენლები: 1 — ევგლენა; 2 — უჯრედების კოლონიისაგან შემდგარი შოლტიანი ვოლვოკსები, რომლებიც ერთუჯრედიანთაგან მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების წარმოშობას მოწმობენ.

ცხოველები გაჩნდნენ ცოცხალი ბუნების უფრო მარტივი წარმომადგენლებისგან, რომლებიც არქაულ ერაში უკვე დედამიწაზე იყვნენ დასახლებული. როგორი უნდა ყოფილიყვნენ დედამიწის ეს უძველესი ბინადარნი?

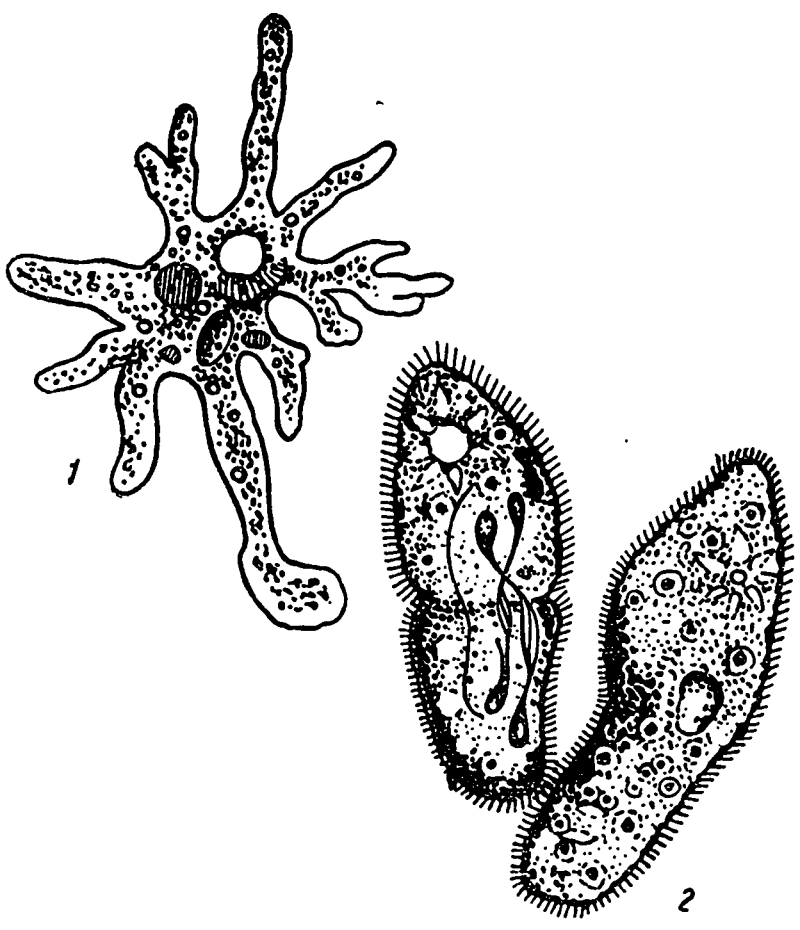
აკადემიკოს ა. ოპარინსა და სხვა მეცნიერებს მიაჩნიათ, რომ დედამიწის პირველი ცოცხალი არსებები წარმოადგენდნენ წვეთებს, ცოცხალი ნივთიერების კოშტებს, რომელთაც უჯრედოვანი აგებულება არ ჰქონდათ (იხ. სე, ტ. 4). ისინი არაორგანული ბუნებიდან აღმოცენდნენ განვითარების ხანგრძლივი და რთული პროცესის შედეგად. პირველი ორგანიზმები არც მცენარეები იყვნენ და არც ცხოველები. მათი სხეული რბილი იყო და მყიფე, სიკვდილის შემდეგ სწრაფად იშლებოდა. ის ქანები, რომლებშიაც პირველი არსებები უნდა გაქვავებულიყვნენ, უდიდესი წნევისა და გათბობის გამო ძლიერ იცვლებოდნენ. ამიტომაცაა, რომ უძველესი ორგანიზმების კვალი ან ნაშთი არ შეიძლებოდა დღემდე შემორჩენილიყო.

გავიდა მილიონობით წელი. პირველ არსებათა აგებულება უფრო და უფრო რთულდებოდა, სრულყოფილი ხდებოდა. ორგანიზმები თანდათან ეგუებოდნენ არსებობის მუდმივად ცვალებად პირობებს. განვითარების ერთ-ერთ საფეხურზე ცოცხალ არსებებს უჯრედული აგებულება წარმოექმნათ. ეს პრიმიტიული, უმცირესი ორგანიზმები — მ ი კ რ ო ბ ე ბ ი — დღესაც უამრავია დედამიწაზე.

განვითარების პროცესში ზოგიერთმა უძველესმა ერთუჯრედიანმა არსებამ სინათლის ენერგიის შთანთქმის უნარი გამოიმუშავა. ამ ენერგიის ხარჯზე შლიდა ის ნახშირორჟანგს და განთავისუფლებულ ნახშირბადს თავისი სხეულის ასაგებად იყენებდა.

ასე აღმოცენდა უმარტივესი მცენარეები — მ ო ლ უ რ ჯ ო-მ ო მ წ ვ ა ნ ო წ ყ ა ლ მ ც ე ნ ა რ ე ე ბ ი, რომელთა ნაშთები უძველეს ნალექებშია აღმოჩენილი.

ლაგუნების თბილ წყლებში ურიცხვი ერთუჯრედიანი ორგანიზმი—შოლტიანი ბინადრობდა. მათ კარგად ჰქონდათ შეთავსებული მცენარეული და ცხოველური კვების წესები. შოლტიანთა წარმომადგენელს — მწვანე ევგლენას — თქვენ ალბათ იცნობთ. შოლტიანებისაგან წარმოიშვნენ ნამდვილი მცენარეული ორგანიზმების სხვადასხვა სახეები: მ რ ა ვ ა ლ უ ჯ რ ე დ ი ა ნ ი წ ყ ა ლ მ ც ე ნ ა რ ე ე ბ ი — წითელი, მურა და მწვანე, აგრეთვე ს ო კ ო ე ბ ი.



მარტივი ცხოველური ორგანიზმები: 1 — ამება, ძალზე ახლოს დგას საერთოდ ყველა ცხოველის წინაპრებთან; 2 — ინფუზორია-ფოსტალა—უფრო რთული ერთუჯრედიანი ცხოველი.

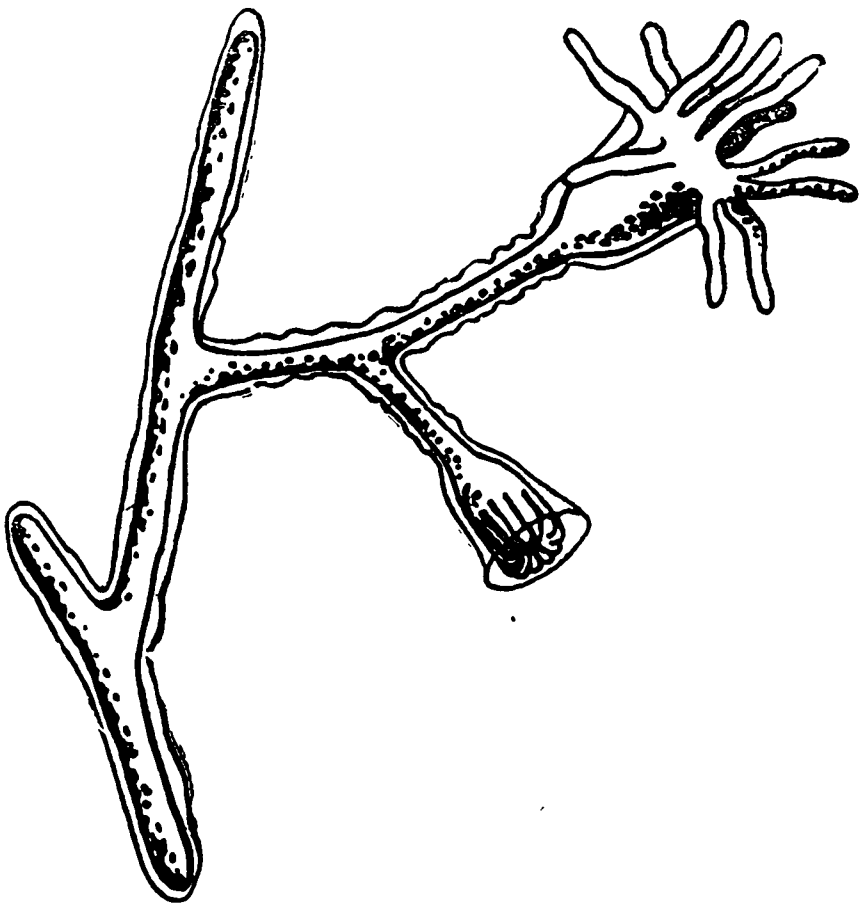
დანარჩენმა პირველყოფილმა არსებებმა დროთა განმავლობაში მცენარეების მიერ წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებებით კვების უნარი შეიძინეს და დასაბამი მისცეს ცხოველთა სამყაროს. ცხოველების წინაპრებად ამების მსგავსი ერთუჯრედიანები მიაჩნიათ. მათგან წარმოიქმნენ ფორამინიფერები, მიკროსკოპული სიდიდის კაჟის გამჭვირვალე ჩონჩხებიანი რადიოლარიები, აგრეთვე ინფუზორიები.

მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების წარმოშობა ღრმად საიდუმლოებითაა მოცული. შეიძლება ისინი ერთუჯრედიანი ცხოველების კოლონიისაგან იყვნენ წარმოშობილი, იმის გამო, რომ უჯრედებმა სხვადასხვა ფუნქციების შესრულება დაიწყეს, მაგალითად, კვების, მოძრაობის, გამრავლების, დაცვის (საფარი), გამოყოფისა და სხვ. მაგრამ გარდამავალი სტადიები არ ჩანს.

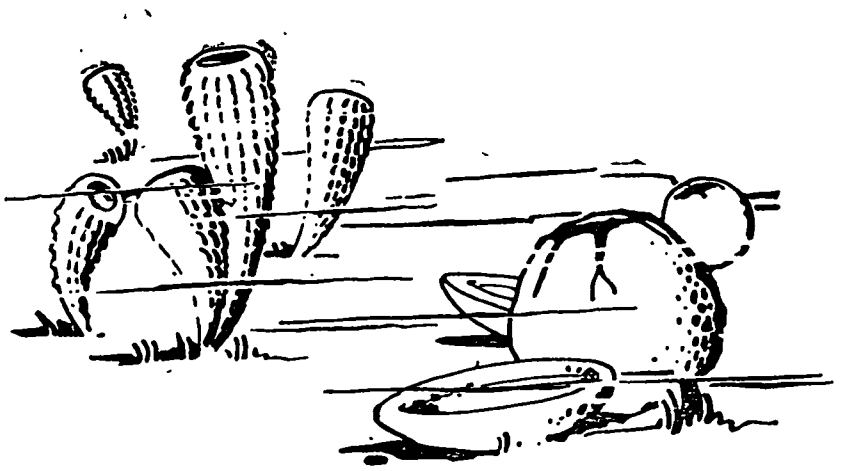
მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების გაჩენა თავისი მნიშვნელობით ცოცხალ არსებათა განვითარების ისტორიის განსაკუთრებული ეტაპია. ახლოლდ მისი მეოხებით გახდა შესაძლებელი შემდგომი წინსვლა: დიდი და რთული ორგანიზმების წარმოშობა.

უძველესი მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების გარდაქმნა-განვითარება პირობების შესაბამისად სხვადასხვანაირად მიმდინარეობდა: ზოგიერთები ნაკლებად მოძრავი გახდნენ, დაეშვნენ ფსკერზე და მიეკვრნენ მას. ხოლო სხვებმა შეინარჩუნეს და უფრო განივითარეს მოძრაობის უნარი.

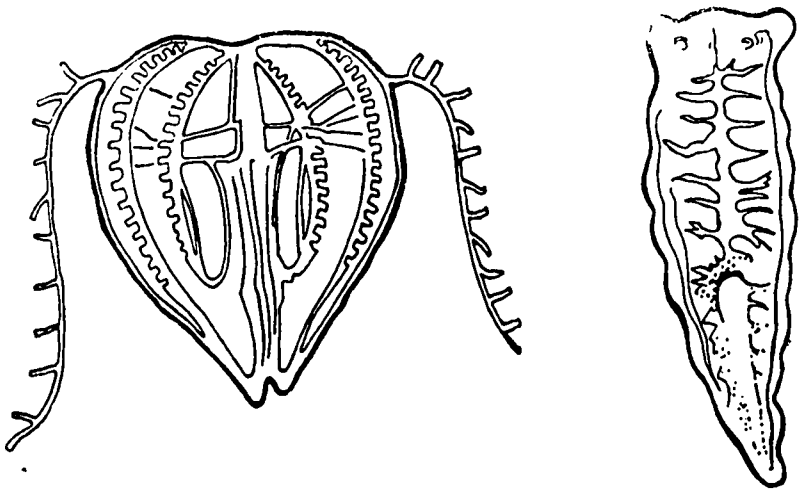
პირველი, ყველაზე უფრო მარტივი მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები ღრუბლები, არქეოციატები (ღრუბლების მსგავსი, მაგრამ უფრო რთული ორგანიზმები), ნაწლავღრუიანები იყვნენ. ნაწლავღრუიანი ცხოველების — გაჭიმული მედუზების მსგავს სავარცხლიანების ჯგუფებს შორის ჭიების დიდი ჯგუფის მომავალი წინაპრებიც იყვნენ. სავარცხლიანთა ერთმა ნაწილმა ცურვის მაგიერ თანდათან ფსკერზე ცოცვა დაიწყო. ცხოვრების წესის ამ ცვლილებამ კვალი დაატყო მათ აგებულებას: სხეული გაუბრტყელდათ, ზურგსა და მუცლის მხარეს შორის სხვაობა გაჩნდა, გამოიყო თავი, განვითარდა მოძრაობის აპარატი კანისა და კუნთების პარკის სახით, წარმოიქმნა სასუნთქი ორგანოები, ჩამოყალიბდა მოძრაობის, გამოყოფისა და სისხლის მიმოქცევის სისტემები. საინტერესოა, რომ ცხოველთა უმეტესობის და ადამიანის სისხლსაც ახასიათებს მარილიანობა, რაც ზღვის წყლის მაიონიანობას უახლოვდება. უძველეს ცხოველთა სამშობლო ხომ ზღვები და ოკეანეები იყო. ყველაზე უმარტივეს ჭიებს რბილი საფარი ჰქონდათ და ნამარხის სახით არ შემორჩენილან. ჩვენამდე მხოლოდ უმაღლესმა — რგოლოვანმა ჭიებმა მოაღწიეს. ისინი მყარი ქიტინით (მკვრივი ნივთიერებით, რომელიც ხშირად კირს შეიცავს) და ჯაგ-



პიდროიდული პოლიპი — დაბალი მრავალუჯრედიანი ცხოველების—ნაწლავღრუიანების წარმომადგენელი. მისი სხეული უჯრედების ორი ფენისაგან შედგება.



ღრუბლები — უძველესი და უმარტივესი მრავალუჯრედიანები. მათ სხეულს ქსოვილები და ორგანოები არა აქვს.



სავარცხლიანა — ძალზე განვითარებული ნაწლავღრუიანებისა და მათი შთამომავლების წარმომადგენელი — მარტივი ბრტყელი ჰია. ბრტყელი მცოცავი სავარცხლიანებისაგან შემდეგ უმდაბლესი ჰიები წარმოიშვნენ.

რით არიან ხოლმე დაფარული, ან ცხოველის სხეული ერთიანად კირიან მილაკებშია მოთავსებული. უძველესი რგოლოვანი ჭიებისაგან ფ ე ხ თ ს ა ხ ს რ ი ა ნ ე ბ ი წარმოიშვნენ. ამ ცხოველების გრძელსახსრებიან ფეხებს უკვე საკმაოდ რთული მოძრაობის შესრულება შეეძლოთ, მათი თავის ტვინი და მთელი ნერვული სისტემა გართულდა. ცხოველთა სამყაროში სრულყოფილი თვალები პირველად ფეხთსახსრიანებს გაუჩნდათ. ასეთები იყვნენ უძველეს ოკეანეთა პირველი ბინადარნი.

ამრიგად, არქაულ და პროტეროზოურ ერებში სიცოცხლე ძირითადად წყალში არსებობდა და იქ ვითარდებოდა.

ᲩᲕᲔᲜᲘ ᲞᲚᲐᲜᲔᲢᲘᲡ ᲣᲫᲕᲔᲚᲔᲡᲘ ᲑᲘᲜᲐᲓᲐᲠᲜᲘ

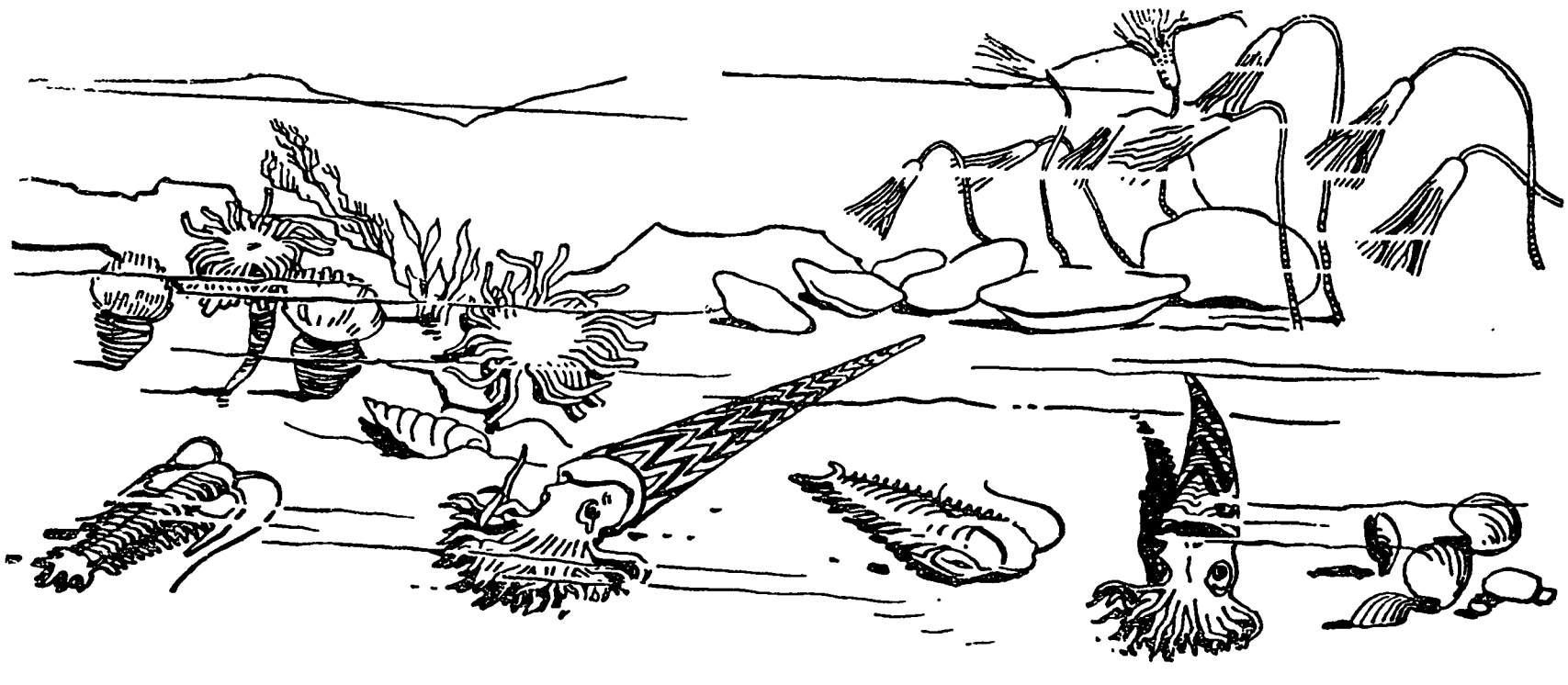
პალეოზოური ერა 570 მლნ წლის წინ დაიწყო. ამ ერიდან დედამიწის ქერქში აშკარა და მრავალრიცხოვანი ნაშთი და ნაკვალევი დარჩა.

დედამიწის ქვის მატიანე საშუალებას გვაძლევს აღვადგინოთ დედამიწის ასეთი შორეული დროის სიცოცხლის საკმაოდ სრული სურათი.

ცა მოქუფრულია. წამდაუწუმ გრგვინავს მეხი და კრთება თვალისმომჭრელი ელვა; ასხამს საოცრად ძლიერი კოკისპირული წვიმა. ხოლო როცა მზის ოქროსფერი სხივები მძლავრად შემოჯარულ ღრუბლებს კვეთავენ, თვალუწვდენელი ზღვები ლურჯად, უსიცოცხლო ხმელეთის ზოლი კი აგურისფრად იღებება. ხმელეთზე ერთი მწვანე ლაქაც კი არსადაა.

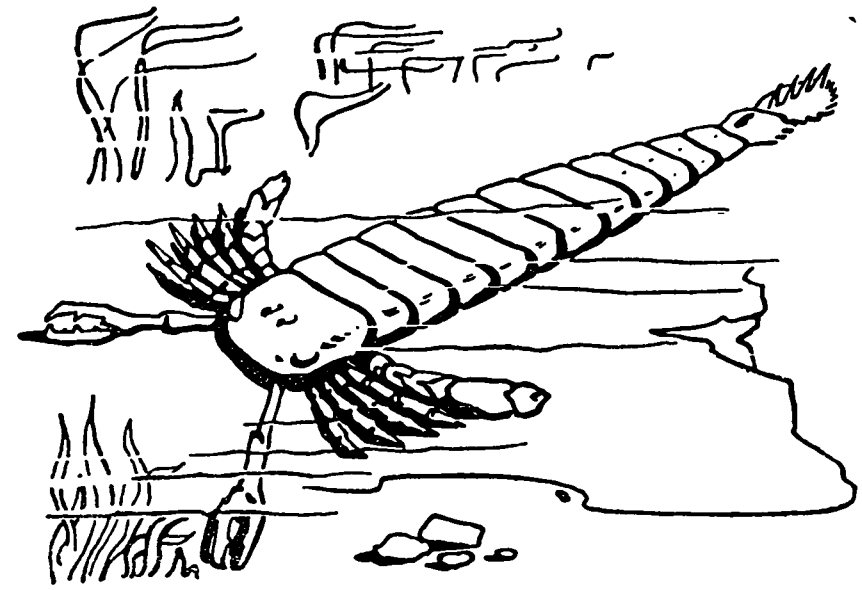
მაგრამ ზღვის წყალში, რომელშიც მზის სხივებმა გაატანეს და გაათბეს, სიცოცხლე ჩქეფს. აქ ათასგვარი ცხოველისა და მცენარის ნაირფერი სამყაროა.

ნათელი ფერის ღ რ უ ბ ლ ე ბ ი და მ ა რ ჯ ნ ე ბ ი წყალქვეშა „ტყეებად“ ქცეულან. ხ ა ვ ს ც ხ ო ვ ე ლ ე ბ ს ფენოვანი ქუდებითა და ტოტებით კლდეები დაუფარავთ, აქვეა ღრუბლების მონათესავე — ა რ ქ ე ო ც ი ა ტ ე ბ ი, ანუ „უძველესი კათხები“ და უამრავი სხვადასხვა წყალმცენარე. ფსკერზე ფუთფუთებენ და ზანტად დაცურავენ ტ რ ი ლ ო ბ ი ტ ე ბ ი. ეს საოცარი არსებანი მრავალი საცურაო ფეხით მიაპობენ წყალს, გარეგნუ-



სილურული ზღვის ფსკერზე.

ლად ცოტათი გიგანტურ ნესტის ჭიებს მოგვაგონებენ ტრილობიტები ფსკერზე მცხოვრები მცირე ცხოველებითა და მათი ნარჩენებით იკვებებიან. უმნიშვნელო საფრთხისთანავე მარდად ეფლობიან ლამში, რგოლად იკვრებიან და მტერს ქიტინის ჯავშანს უშვერენ. საფრთხეს კი რა გამოლევს. 80 სმ სიგრძის ყველაზე დიდი ტრილობიტებიც კი იძულებული იყვნენ მორიდებოდნენ დღევანდელი რვაფეხას წინაპრებს — თავთფეხიანებს. თავთფეხიანები ხან მილაკებივით გაჭიმულ, კონუსისებურ, ხან სპირალურად დახვეულ ნიჟარებში ყველასთვის ცნობილი გუბურის მოლუსკებივით იმალებიან. აი, მედუზებიც: მათი გამჭვირვალე ქოლგები აუჩქარებლად და რიტმულად ფეთქავენ. ზღვის ფსკერის კლდოვან შვერილებს პატარა კირიანი ღეროებით მიჰკვრიან პაწაწკინტელა და გიგანტური ზღვის შროშნები. ისინი საცეცებს კრთომით არხევენ და საკვებს იჭერენ. პალეოზოურ ზღვებში დასახლებული ზღვის შროშნების, ზღვის ზღარბების, ვარსკვლავების და ოფიურების, ანუ გველკუდების და სხვა ეკალკანიანების წინაპრებს ჩვენ მხოლოდ გონებით თუ წარმოვიდგენთ. ისინი, ალბათ, უძველესი ჭიისებრი ცხოველები იყვნენ, რომელთაც არც შინაგანი და არც გარეგანი ჩონჩხი არ გააჩნდათ.



თანამედროვე მახვილკუდას მსგავსი კიბომორიელი საშიში მტაცებელი იყო, სიგრძით 3 მ აღწევდა.

ხმელეთის პიონერები

წყალი და ხმელეთი ის ორი გარემოა, სადაც ვითარდებოდა სიცოცხლე, უმდაბლესი ორგანიზმებიდან წარმოიშვებოდა უმაღლესი ორგანიზმები. ჩვენ შეგვიძლია მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროს ისტორიაში თვალი გავადევნოთ წყლის გარემოდან ხმელეთზე ორგანიზმის თანდათანობით გადასვლას, რაც მის მიერ სათანადო უნარის შეძენის შედეგად ხორციელდებოდა.

მცენარეები და ცხოველები ხმელეთზე მკვიდრად შუა პალეოზოურ ერაში დასახლდნენ. ეს მოვლენა რთული და დახლართული გზებით მიმდინარეობდა. იმ დროისათვის ხმელეთის მტკნარ წყლებში უკვე ბინადრობდა უამრავი ორგანიზმი: მცენარეთაგან — მწვანე და მოლურჯო-მომწვანო წყალმცენარეები, ბაქტერიები, უმდაბლესი სოკოები, ცხოველთაგან — ერთუჯრედიანი ფესვთფეხიანები, შოლტიანები, წამწამოვანი ინფუზორიები, ათასნაირი უხერხემლოები — ნაწლავღრუიანები და ჭიები.

მტკნარი წყლების მცხოვრებლებს სამართლიანად შეგვიძლია ხმელეთზე სიცოცხლის პიონერები ვუწოდოთ. მაშინ დედამიწაზე სამი დიდი კონტინენტი არსებობდა. მათი მოხაზულობა დღევანდელს არ ჰგავდა. ერთი უზარმაზარი კონტინენტი დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე დღევანდელი ჩრდილოეთ ამერიკის შუა ტერიტორიიდან ურალამდე იყო გადაჭიმული. უფრო შორს, აღმოსავლეთით კი იყო მეორე, მასზე პატარა კონტინენტი, რომელსაც აღმოსავლეთ ციმბირი, შორეული აღმოსავლეთი, ჩინეთის ნაწილი და მონღოლეთი ეჭირა. სამხრეთით — აფრიკის რაიონში — მესამე კონტინენტი (გონდვანა) მდებარეობდა. ჰავა თბილი იყო. სილურულ პერიოდში მთათწარმომშობი ძვრების შედეგად სკანდინავიის, შუა აზიის (ტიან-შანი), ციმბირის (საიანები) მთები წარმოიქმნა. ამან კონტინენტების აწევა და ზღვათა გამეჩეჩიანება, ყურეების, ლაგუნების წარმოშობა გამოიწვია. ზოგიერთ ზღვას ამ ზღვაში ჩამავალი მდინარეები ამტკნარებდა, ზოგიერთი კი მარილიანი ხდებოდა ანდა მთლად შრებოდა.

ზღვისა და სხვა წყალსატევების სწორედ ამ გაუჩინარებულ, გამტკნარებულ ადგილებში თვითონ ბუნება აიძულებდა წყლის მცენარეების ზოგიერთ სახეობას (მწვანე წყალმცენარეებს) უწყლო

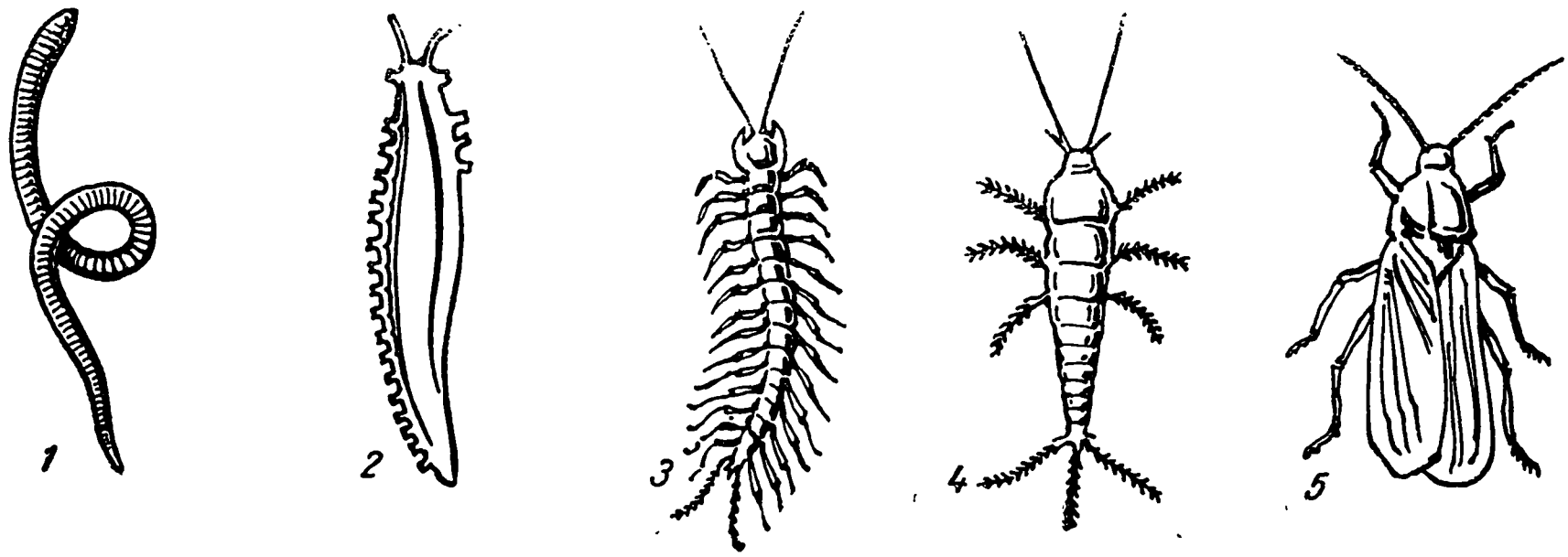
გარემოში სიცოცხლეს შეგუებოდა. წყალმარჩხობისა და გვალვის დროს ის წყალმცენარეები არ იხოცებოდნენ, რომელთაც ფესვები უკეთესად ჰქონდათ განვითარებული. გადიოდა ათასწლეულები და მცენარეები თანდათან ხმელეთის სანაპირო ზოლში მკვიდრდებოდნენ, რითაც დასაბამი მისცეს მცენარეთა სამყაროს.

ხმელეთის მცენარეთა სხეული ღეროდ, ფოთლებად და ფესვებად იყო დანაწევრებული. ფესვები საჭიროა ნიადაგში გამაგრებისა და იქიდან წყლისა და მარილების შესაწოვად (წყალმცენარეებს ფესვები არ სჭირდებათ — ისინი მარილებს პირდაპირ წყლიდან შეიწოვენ); ფოთოლი აუცილებელია, რადგან მასში ბევრი ქლოროფილია დაგროვილი, ურომლისოდ შეუძლებელია ფოტოსინთეზი, ხოლო ღერო — ფოთლების დამაგრებისა და ფესვებთან მათი დაკავშირებისათვის. ხმელეთის პირველი მცენარეები ზღვათა და სხვა წყალსატევების ნაპირებზე იზრდებოდნენ. აგეთავსებული სპორების საშუალებით მრავლდებოდნენ. ზოგიერთი პსილოფიტი ხმელეთის ნამდვილი მაცხოვრებელი გახდა და მნიშვნელოვან სიდიდესაც მიაღწია (3 მ სიმაღლეში). პსილოფიტების არსებობა ხანმოკლე აღმოჩნდა. მათგან წარმოიშვნენ უფრო რთული აგებულების შვიტასებრი, ლიკოპოდიუმისებრი და გვიმრისებრი მცენარეები.

დაახლოებით ერთსა და იმავე დროს პსილოფიტებთან ერთად ხმელეთზე აღმოცენდნენ წყალმცენარეებთან ახლოს მდგომი ორგანიზმები — ხავსები და სოკოები.

მცენარეების კვალდაკვალ ცხოველებმაც დაიწყეს ხმელეთზე დასახლება — ჯერ უხერხემლოებმა, შემდეგ ხერხემლიანებმაც.

როგორც ჩანს, წყლიდან პირველად ამოვიდნენ რგოლოვანი ჭიები (დღევანდელი ჭიაყელას წინაპრები), მოლუსკები, აგრეთვე, ობობას, მრა-



რგოლოვანი ჭიებისაგან წარმოიშვნენ ხმელეთის ფეხთსახსრიანები მათი უმაღლესი წარმომადგენლების — ფრთიანი მწერების ჩათვლით: 1 — რგოლოვანი ჭია; 2—პერიპატუსი; 3 — მრავალფეხა; 4 — უფრთო მწერი; 5 — ფრთიანი მწერი.

ბულებით ისინი ხავსს, ლიკოპოდიუმს და ნაწილობრივ წყალმცენარეებს მოგვაგონებენ. მათ პსილოფიტები, ე. ი. „ტიტველი“ მცენარეები უწოდეს, რადგანაც ფოთლები არ გააჩნდათ. წყალმცენარეების მსგავსად მათი სხეული ჯერ კიდევ არ იყო დანაწევრებული ძირითად ორგანოებად ფესვების ნაცვლად მიწისქვეშა ერთუჯრედიანი წანაზარდები — რიზოიდები ჰქონდათ. პსილოფიტები ტოტების ბოლოში — სპორანგიებში მოთავსებული სპორების საშუალებით მრავლდებოდნენ. ზოგიერთი პსილოფიტი ხმელეთის ნამდვილი მაცხოვრებელი გახდა და მნიშვნელოვან სიდიდესაც მიაღწია (3 მ სიმაღლეში). პსილოფიტების არსებობა ხანმოკლე აღმოჩნდა. მათგან წარმოიშვნენ უფრო რთული აგებულების შვიტასებრი, ლიკოპოდიუმისებრი და გვიმრისებრი მცენარეები.

დაახლოებით ერთსა და იმავე დროს პსილოფიტებთან ერთად ხმელეთზე აღმოცენდნენ წყალმცენარეებთან ახლოს მდგომი ორგანიზმები — ხავსები და სოკოები.

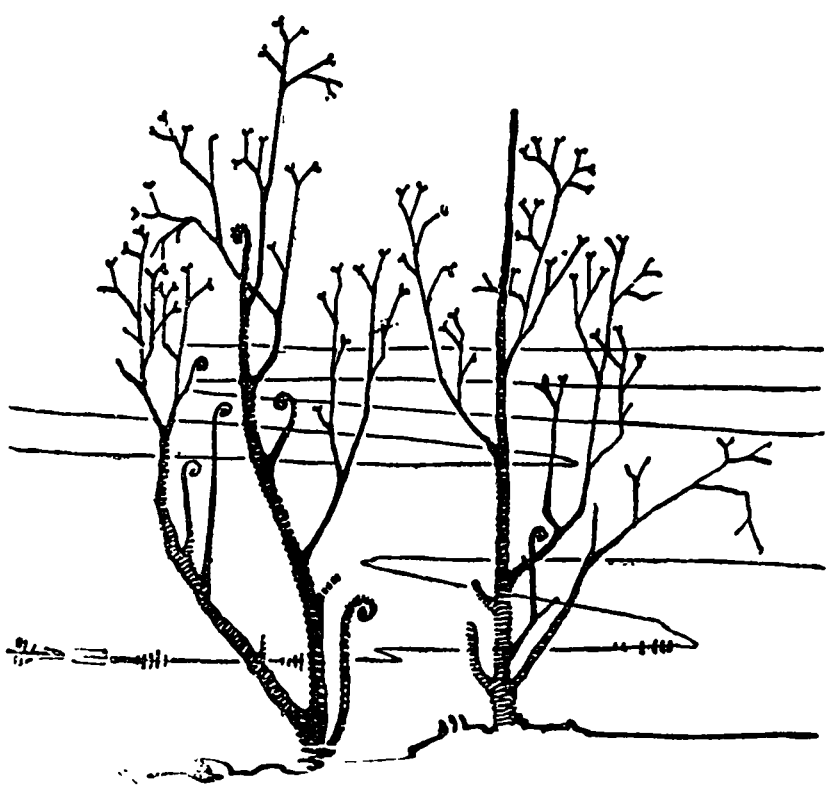
მცენარეების კვალდაკვალ ცხოველებმაც დაიწყეს ხმელეთზე დასახლება — ჯერ უხერხემლოებმა, შემდეგ ხერხემლიანებმაც.

როგორც ჩანს, წყლიდან პირველად ამოვიდნენ რგოლოვანი ჭიები (დღევანდელი ჭიაყელას წინაპრები), მოლუსკები, აგრეთვე, ობობას, მრავალფეხასა და მწერების წინაპრები—ცხოველებისა, რომლებიც მთელ სხეულში მოდებული მილაკების რთული სისტემის — ტრაქეების საშუალებით სუნთქავენ მოწიფულობისას. იმდროინდელ უხერხემლოთაგან ზოგიერთები, მაგალითად, კიბომორიელები ხმელეთის ყველაზე დიდ ცხოველებს წარმოადგენდნენ. მათი სიგრძე 3 მ აღწევდა.

წყალმარჩხი ზღვების ბინადართა შორის ორდოვიკულ პერიოდში გაჩნდნენ პირველი ხერ-

ხ ე მ ლ ი ა ნ ე ბ ი — ჯავშნიანი თევზები, რომელთაც შინაგანი ხრტილოვანი ჩონჩხი ჰქონდათ.

თევზების წარმოშობა ცხოველთა სამყაროს ისტორიის ერთ-ერთი დიდი გამოცანაა. ყველაზე ძველი პერიოდის თევზები აღმოაჩინეს ზღვების ნა-



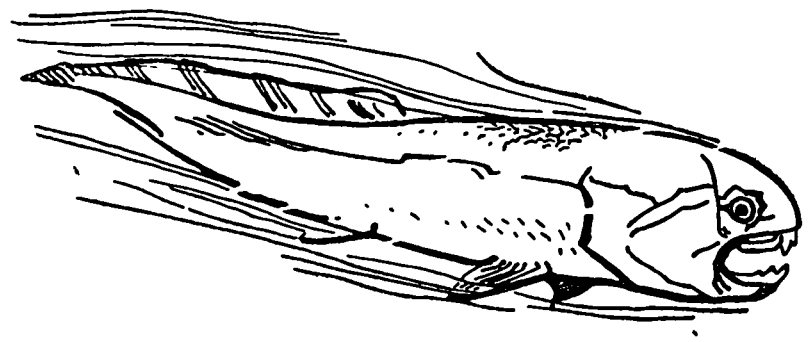
პსილოფიტებს — ხმელეთის უძველეს მცენარეებს — ჯერ კიდევ არ ჰქონდა ფესვები და ფოთლები.

ლექებში, შემდეგ კი კონტინენტურ — ტბების და მდინარეების — ნალექებში. შესაძლოა, მოძრაობის და შეგუების დიდმა უნარმა მისცა საშუალება თევზებს, ზღვაში გაჩენისთანავე ხმელეთის მტკნარ წყლებში გადმოსახლებულიყვნენ.

უძველესი ჯავშნიანი თევზების სხეულს ძვლიანი ჩონჩხის ნაცვლად ჰქონდა ხრტილოვანი ჩონჩხი, გარედან კი დაფარული იყო უძრავი ძვლოვანი ჯავშნით, რომელიც შედგებოდა წინა მხარეს წამსხვილებული ფენებისაგან. ასეთ მძიმე ძვლოვან პარკში მოქცეული თევზები ნაკლებად მოძრავნი იყვნენ, ხოლო რადგან მათ ნამდვილი ყბები არ ჰქონდათ, იძულებული ხდებოდნენ, ძირითადად ფსკერის წვრილი ცხოველებით გამოეკვებათ თავი.

ჯავშნიანი თევზების ახლო შტოსაგან ძ ვ ლ ი ს ჩ ო ნ ჩ ხ ი ა ნ ი თევზები წარმოიშვნენ. მათგან კი მოგვიანებით ძ ვ ლ ი ა ნ ი, ო რ გ ვ ა რ ა დ მ ს უ ნ თ ქ ა ვ ი და მაჯაფარფლიანი თევზები. დევონური პერიოდის დასასრულს ყველაზე განვითარებული ცხოველები ძვლიანი თევზები იყვნენ. თევზების გაჩენა დიდი მოვლენაა დედამიწის სიცოცხლის ისტორიაში. ამფიბიები, ფრინველები, ცხოველები და ბოლოს ადამიანებიც ხომ მათგან წარმოიშვნენ თანამიმდევრული და ხანგრძლივი გაბვითარების შედეგად.

დ ე ვ ო ნ უ რ ი პერიოდის წყალსატევებში (ეს პერიოდი 400 მლნ წლის წინ დაიწყო) წყალი თბილი იყო და იქაური მობინადრენი თავს კარგად გრძნობდნენ, რა თქმა უნდა, თუ არ გავითვალისწინებთ საფრთხეს, რომელიც მათ ყოველი მხრიდან ელოდათ. დევონური პერიოდის ზღვა ნამდვილ სამოთხეს წარმოადგენდა თევზებისათვის: ისინი ბლომად იყვნენ, ამასთან ზოგი მათგანი უზარმაზარი სიდიდისა გახლდათ. მაგალითად, გიგანტი დ ი ნ ი ქ ტ ი ს ი ს სიგრძე დაახლოებით 10 მეტრს უდრიდა. ამ ძლიერ მტაცებელს კბილების უქონლობაც კი არ უშლიდა ხელს, რომ თავისი მჭრელი ყბებით გასწორებოდა დიდ ცხოველებს. გაჩნდნენ ისეთი ჯავშნიანი თევზებიც, რომელთაც კუდი და სხეულის უკანა ნაწილი შეჯავშნული არ ჰქონდათ. ასეთი თევზებისათვის თავდასხმაც უფრო ადვილი იყო და თავდაცვაც. მაგრამ დევონური პერიოდის ზღვები არა მარტო ივსებოდა ახალი ორგანიზმებით. დაიწყო სხვადასხვა ტრილობიტების, კიბომორიელებისა და კანეკლიანების გადაშენება. უხერხემლოთა შორის გაჩნდნენ ა მ ო ნ ი ტ ე ბ ი — ოთხლაყუჩიანი თავთფეხიანი მოლუსკები, რომელთაც სპირალურად დახვეული მრავალკამერიანი ნიჟარები ჰქონდათ.



დინიქტისი — გიგანტური ჯავშნიანი თევზი, დევონური პერიოდის ყველაზე საშიში მტაცებელი.

დევონურ პერიოდში უკვე არსებობდნენ პირველი უძველესი ზ ვ ი გ ე ნ ი ს ე ბ რ ე ბ ი, პირველი ს ხ ი ვ ფ ა რ ფ ლ ი ა ნ ი, ო რ გ ვ ა რ ა დ მ ს უ ნ თ ქ ა ვ ი და პროგრესის თვალსაზრისით

ყველაზე „დიდი იმედის მომცემი“ — მაჯაფარფლიანი თევზებიც.

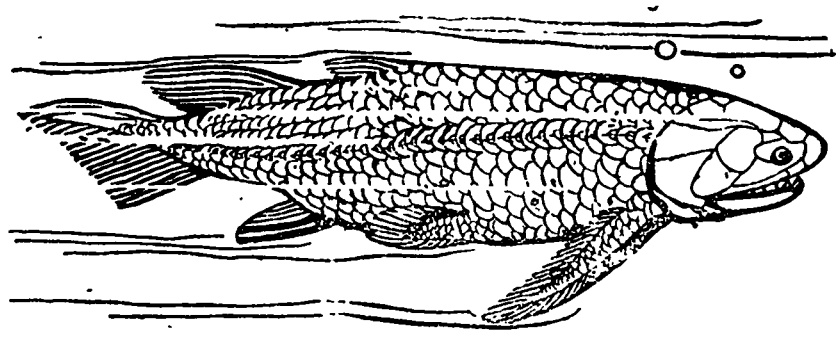
ამ დროისათვის ხმელეთზე დიდი ცვლილებები მოხდა: მატერიკებმა აწევა იწყეს და ძათი ფართობი საკმაოდ გაიზარდა. გაჩნდა მრავალი ტბა და მდინარე, დაიწყო ხმელეთის მცენარეებისა და ცხოველების სწრაფი განვითარება. წყლებით დაფარული და დაჭაობებული მატერიკების გაშლილი სანაპიროები უხვი მცენარეულით დაიფარა.

დევონური პერიოდის დასასრულს დედამიწაზე გვიმრის, შვიტისა და ლიკოპოდიუნების ტყეები გვხვდებოდა. ზოგი მცენარე ბუჩქს წააგავდა, ზოგიერთი — დიდ ხეს. ამ პირველყოფილ ტყეებში უკვე ცხოვრობდნენ მწერები და ობობას უძველესი წინაპრები.

სწორედ ამ დროს მოხდა ფრიად მნიშვნელოვანი მოვლენა ცხოველთა სამყაროს განვითარების ისტორიაში: დევონური პერიოდის მაჯაფარფლიანი თევზები თანდათან პირველ ოთხფეხა, ფილტვებით მსუნთქავ ცხოველებად—სტეგოცეფალებად გარდაიქმნენ. ისინი წყალხმელეთა ცხოველებს, ანუ ხმელეთის ყველაზე პრიმიტიულ ხერხემლიანებს — ამფიბიებს მიეკუთვნებიან. მაჯაფარფლიანი თევზები დამშრალ მდინარეებსა და ტბებში წარმოიშვნენ. აქ შეიძლებოდა ისეთი თევზები განვითარებულიყვნენ, რომლებიც უკვე დრეკადი ფარფლებით გადაადგილებას და ჰაერის „შთანთქმას“ იწყებდნენ. მაჯაფარფლიანებს ნამდვილი „თევზის“ ლაყუჩების გარდა ფილტვების მსგავსი მოწყობილობაც განუვითარდათ. უშუალოდ ჰაერიდან ჟანგბადის შეთვისების უნარი ძალიან ეხმარებოდა მათ აუზებში წყლის ამოშრობის დროს. ასეთი თევზები სუნთქავდნენ ხან ლაყუჩებით, ხან კი კუჭ-ნაწლავის წინა მხარის წანაზარდებით, რომელთა კედლებიც სისხლძარღვებით **იყო სავსე.**

ფიქრობდნენ, რომ მაჯაფარფლიანი თევზები დაახლოებით 70 მლნ წლის წინ, ცარცის პერიოდში, გადაშენდნენ. მაგრამ 1938 წ. ინდოეთის ოკეანეში, სამხრეთ აფრიკის ნაპირებთან, მეთევზეებმა ნიჩბის მსგავსი არაჩვეულებრივი, ფარფლებიანი თევზი დაიჭირეს. ამ თევზს ლატიმერია უწოდეს. 1952 წ. ინდოეთის ოკეანეში, კომოროს არქიპელაგის ნაპირებთან, კიდევ ერთი ლატიმერია დაიჭირეს. ეს თევზები აგებულებით უახლოვდებოდნენ უძველეს მაჯაფარფლიან თევზებს — ცელაკანტებს, რომლებიც 60 მლნ წლის წინ ბინადრობდნენ ზღვებში. სხვა თევზებისაგან განსხვავებით, რომლებიც კუდის მოქნილი ნაწილის საშუალებით დაცურავენ, მაჯაფარფლიანი თევზების გადაადგილების ძირითადი ორგანოები მკერდის ნიჩბისებური ფარფლებია. ამ თევზების განვითარება დევონურსა და ქვანახშირის პერიოდებს მიეკუთვნება. მაგრამ მათი განსაკუთრებული მნიშვნელობა ხმელეთის სამყაროს ევოლუციისათვის დევონურ პერიოდშივე გამომჟღავნდა, როცა ამ თევზებიდან ამფიბიები წარმოიშვნენ.

კიდურების განვითარებამ მაჯაფარფლიან თევზებს საშუალება მისცა გამშრალი წყალსატევებიდან წყლიანი ადგილებისათვის მიეღწიათ. ხმელეთზე ცოცვის დროს ისინი ჰაერით სუნთქავდნენ და ამის გამო არ იღუპებოდნენ. ჩვეულებრივი თევზე-



დევონური პერიოდის მაჯაფარფლიანი თევზი — ხმელეთის ხერხემლიანთა უახლოესი წინაპარი.

ბისათვის არახელსაყრელი პირობების გავლენით მაჯაფარფლიან თევზებს მკერდისა და მუცლის ფარფლებისაგან თანდათანობით განუვითარდათ საკმაოდ არასრულყოფილი და სუსტი ოთხი ფეხი; ფეხები ძვლის ხუთსხივიან ფარფლ-თათებს ჰგავდა. ამიტომაა, რომ ხმელეთის ყველა ხერხემლიან ცხოველს ოთხი ხუთთითა კიდური აქვს. შემდეგ კი ყველაფერი სწრაფად წარიმართა. ცხოველები თევზის დამახასიათებელ კუდს თანდათან კარგავდნენ და იქცეოდნენ სტეგოცეფალებად, ანუ თავჯავშნიან ამფიბიებად, რომლებსაც შეეძლოთ წყალშიც ეცხოვრათ და ხმელეთზეც. ცხოველების ლორწოიან კანს გამოშრობისგან არაფერი იცავდა. ამიტომ სტეგოცეფალების გამრავლება და სიცოცხლის პირველი სტადიები წყალში მიმდინარეობდა; იქ მატლების სახით იყვნენ და (რო-

გორც თქვენთვის ცნობილი თავკომბალები) ლაყუჩებით სუნთქავდნენ.

უძველეს სტეგოცეფალს — იხტიოსტეგს ჰქონდა მაღალი და თევზის მსგავსად მომრგვალებული თავის ქალა. აგრეთვე გვერდითი ხაზის ორგანო, რომელიც დახშულ არხში იყო მოთავსებული და გარემოს თავის ქალის ძვლის სარქველში არსებული ნახვრეტებით უკავშირდებოდა. მისი კბილების, ხერხემლისა და ქერცლით დაფარული კუდის აგებულება თევზის ამავე ორგანოთა აგებულებას ჰგავდა. მაგრამ იხტიოსტეგებს უკვე ჰქონდათ ფარფლისმაგვარი თათები, რომელთა საშუალებით ხმელეთზე გადაადგილება შეეძლოთ. ეს ცხოველები მხოლოდ ფილტვებით სუნთქავდნენ, თუმცა ლაყუჩების ნარჩენებიც ჰქონდათ. იხტიოსტეგები სიცოცხლის უმეტეს ნაწილს წყალში ატარებდნენ, იქ თევზებსა და ჭიებს იჭერდნენ, ხმელეთზე კი მწერებს. ხმელეთზე ან წყალსატევის ფსკერზე იხტიოსტეგები თავიანთ წინაპარ თევზებზე გაცილებით უფრო მოძრავნი იყვნენ. გარდა ამისა, უფრო გაურთულდათ გულის აგებულება, სმენის ორგანოები და ნერვული სისტემა.

დროის მიხედვით შემდეგი — ქვანახშირის (კარბონული) პერიოდი, რომელიც დაახლოებით 320 მლნ წლის წინ დაიწყო, ამფიბიების „სამეფოს“ წარმოადგენდა. ამ დროისათვის მათ უკვე ნამდვილი სიარულისათვის გამოსადეგი კიდურები განუვითარდათ. ზოგი ამფიბია თევზით იკვებებოდა, ზოგი მწერებსა და ჭიებს არჩევდა, ზოგიერთი მწერი კი იმ დროს, როგორც ინგლისელი მწერლის ჰ. უელსის საინტერესო რომანში „ღმერთების საზრდოშია“ გადმოცემული, უზარმაზარი ტანისა იყო. ბაყაყისმაგვარი არსებები სიდიდით ბეჰემოტს უტოლდებოდნენ. ჭრიჭინების გაშლილი ფრთები ერთ მეტრს უდრიდა. უსიერი ტყეებისა და ჭაობების ბინდში უზარმაზარი ხოჭოები, ბაღლინჯოები და სხვადასხვანაირი ობობები დაცოცავდნენ.

ეს იყო გოლიათი ხეების და 4 მ-მდე სიგრძის გიგანტური ამფიბიების უცნაური, საზარელი სამყარო.

სტეგოცეფალებს სხვადასხვანაირი გარეგნობა ჰქონდათ — ზოგი წყლის გველებს, ზოგიც ხვლიკებსა და ნიანგებს წააგავდა.

ხმელეთი საოცარი მცენარეებით იყო დაფარული. უშველებელი ხეები — 50 მ სიმაღლისა და 3 მ-ზე მეტი დიამეტრის ხისმაგვარი გვიმრები, ლიკოპოდიუმები და შვიტები უღრან ტყეებად იზრდებოდნენ. ხეების ფოთლებიდან წყალი განუწყვეტელ წვიმასავით წვეთავდა. ტოტებს ხავსის სქელი ქუდები ეხურათ. ჰავა იყო ძალზე თბილი და ტენიანი. ყველაფერს სინესტე შესდგომოდა, სქელი ხისლი მთელი დღეები იდგა ჩაშავებულ, ზეთოვან, აშმორებულ წყალში ფესვებჩამალულ ხეებს შორის. ამ დაბურულ, დანესტიანებულ მდუმარე ტყეში კვირეების მანძილზე ვერ ატანდა მზე, ცრიდა თბილი წვიმა.

სახელწოდება „კარბონი“ (ლათინურად „კარბონ“ — ქვანახშირი) ამ პერიოდმა ქვანახშირის უზარმაზარი აუზების წარმოქმნასთან დაკავშირებით მიიღო.

უძველესი ხვლიკები

კარბონული პერიოდის მეორე ნახევრიდან ამოწევას იწყებს მაღალი მთები: აპალაჩები, ანდები, ურალი, ალტაი, ტიან-შანი. ჰავა უფრო გრილი და მშრალი ხდება. ქვანახშირის პერიოდის თვალუწვდენელი ნესტიანი ტყეები თანდათან ქრება, პლანეტის დიდ სივრცეებს კი ტრამალები და ქვიშიანი უდაბნოები იკავებენ. ეს განსაკუთრებით პალეოზოური ერის ბოლო — პ ე რ მ უ ლ პერიოდში შეიმჩნევა.

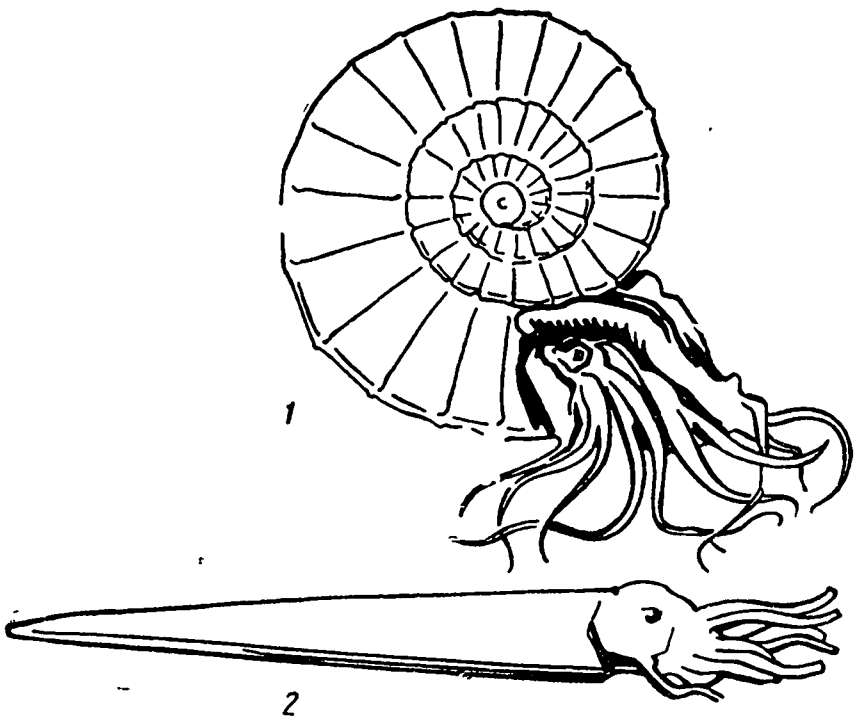
ამ პერიოდის დასაწყისში ამოწყდა კიბომორიელები, ტრილობიტები, მრავალი ოთხსხივიანი მარჯანი, ძველი ზღვის შროშნები და ზღარბები, მხართფეხიანები. ნელ-ნელა ქრება ამფიბიების სამყარო. ზღვებში ძვლიანი თევზები და ამონიტები მრავლდებიან. ხმელეთზე ადრინდელ მცენარეებს ზომიერ ჰავას შეგუებული ახალი მცენარეულობა ცვლის. ჩნდება შ ი შ ვ ე ლ თ ე ს ლ ი ა ნ ე ბ ი ს — წ ი წ ვ ი ა ნ ე ბ ი ს ა და კ ო რ დ ა ი ტ ე ბ ი ს, ხოლო უფრო თბილ ადგილებში — გ ვ ი მ რ ე ბ ი ს და გ ი ნ კ გ ო ვ ა ნ ე ბ ი ს ტყეები.

სასიცოცხლო გარემოს ამ ძირეულმა ცვლილებებმა ცხოველთა, უპირველეს ყოვლისა, ხერხემლიანების განვითარებაზე მოახდინეს გავლენა. უდაბნოთა ყვითელ ქვიშებში მწვანე ოაზისებად გამოიყურებოდნენ დაუმშრალი ჭაობები, სადაც უკანასკნელი სტეგოცეფალები შეხიზნულიყვნენ.

ზოგიერთი მათგანი თანდათან ეგუებოდა ახალ პირობებს: გაჩნდნენ ისეთი ცხოველებიც, რომელთა შიშველი კანი თანდათან მაგარი ფარებით იმოსებოდა. ეს ფარები მათ წყლის დაკარგვისაგან იცავდა. ზოგიერთი ამფიბია უკვე იმდენად შეიცვალა, რომ კვერცხებს წყლის მაგიერ ქვიშაში ან ლპობადი მცენარეების გროვაში ფლავდა. ესენი უკვე პირველი ქვეწარმავლები იყვნენ.

ამფიბიების მსგავსად სხეულის მუდმივი ტემპერატურა არც ქვეწარმავლებს გააჩნდათ და მზის ჩასვლასთან ერთად გაცივებულ ჰაერზე „იყინებოდნენ“, მათი სიცოცხლისუნარიანობა სუსტდებოდა. გარჭოვანებული კანის საფარი ქვეწარმავლების სხეულს გამოშრობისაგან კარგად იცავდა. ისინი ხმელეთზე დებდნენ მსხვილ კვერცხებს, რომლებშიც საკვების დიდი მარაგი იყო. ჩანასახი სავსებით ჩამოუყალიბებელ ხმელეთის ცხოველად ვითარდებოდა წყლის მატლის სტადიის გაუვლელად. ქვეწარმავლების ჩონჩხი, კუნთები და სისხლძარღვებისა და ნერვული სისტემები უფრო სრულყოფილი იყო, ვიდრე ამფიბიებისა. ამიტომაც ქვეწარმავლები პერმული პერიოდის მშრალი ჰავის დროს ცხოველთა სამყაროში მაშინვე პირველ ადგილს იჭერენ, სახლდებიან ხმელეთის მრავალ ადგილას და შედარებით მოკლე დროში (რამდენიმე მლნ წელი) აგებულების თვალსაზრისით სრულყოფილნი ხდებიან. პერმული პერიოდის ქვეწარმავლებმა მომავალი (მეზოზოური) ერის ქვეწარმავლებისა და ძუძუმწოვრების უახლოეს წინაპართა მრავალ ჯგუფს მისცეს დასაბამი. ამიტომაც პერმული პერიოდი ხმელეთის ხერხემლიანთა ისტორიის განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანი საფეხურია: ამ დროიდან მოყოლებული ისინი პლანეტაზე „გაბატონებულ“ ცხოველებად იქცნენ.

პერმული პერიოდის ქვეწარმავლები სხვადასხვანაირად ცხოვრობდნენ. ჩრდილოეთ ამერიკის დაბლობებზე 80 სმ სიგრძის ცხოველი სეიმურია ბინადრობდა. მის აგებულებაში ქვეწარმავლის ნიშნებიც არის და ამფიბიისაც. მასვე ენათესავებიან სსრკ ევროპული ნაწილის პერმულ ნალექებში ნაპოვნი უძველესი ქვეწარმავლები ლანტანოზუხი და კოტლასია. ამ ცხოველებს, ამფიბიების მსგავსად, კეფის კენტი პოჭოჭიკი, სტეგოცეფალისნაირი კბილები, მრავალრიცხოვანი ნეკნი (კისრიდან კუდამდე) და მოკლე, მასიური კიდურები ჰქონდათ. მაგრამ არა ნაკლებ გამოკვეთილი იყო ქვეწარმავლის ნიშნები: თავის ქალისა და მალების რიგი, ძვლების აგებულება, ტყავის ძვლად ქცევა და სხვ. ანატომიურად ასე „გაორებულ“ ნიშნებიანმა ცხოველებმა პალეონტოლოგები დააბნიეს: ძნელი



თავთფეხიანი მოლუსკები: 1 — ამონიტი, 2 — ბელემნიტი.

იყო მიეკუთვნებინათ ისინი ცხოველთა სამყაროს რომელიმე ჯგუფისათვის. ბოლოს აღმოჩნდა, რომ ისინი შუალედურ ჯგუფს მიეკუთვნებოდნენ და ბაყაყხვლიკები უწოდეს.

დედამიწის მატიანის ქვის ფურცლები საკმაო მასალას იძლევა იმისათვის, რომ ჩვენი პლანეტის პერმული ხანის ბუნება წარმოვიდგინოთ. ქვიანი უდაბნოები ვეება გვიმრებისა და შიშველთესლიანი მცენარეების დიდ ტევრებს ეჭირა. ამომშრალი ჭაობების დამსკდარ მიდამოებს სიგილარიებისა და ლეპიდოდენდრების გიგანტური ტყეები შემორტყმოდა. ქვიშის ღრუბლები საზარელი სტვენით მიქროდნენ და შორით ისმოდა დამსხვრეულ ხეთა ტკაცანი. ხეების დატოტვილ ფესვებს კი შეფარებოდნენ დიდლოყება ხვლიკები — პარეიაზავრები — ბეჰემოტისებური ზანტი არსებები, რომელთაც ძვლის ფირფიტების ჯავშანი იცავდა და დინგზე ძვლოვანი წანაზარდები უჭირავდა. მათ სუსტ ყბებს მხოლოდ რბილი მცენარეების დაღეჭვა შეეძლო. ტყის ტევრებიდან პარეიაზავრების ჯოგს გიგანტური (3 მ სიგრძის) მტაცებლები — მახვილდრუნჩა, უზარმაზარეშვებიანი ინოს-

ტრანცევიები ეპარებოდნენ. ისინი პარეიაზავრების ყველაზე საშიში მტრები იყვნენ. აგერ დიცინოდონტი, ანუ ორეშვიანი. იგი საშინელი შესახედაობისაა, სინამდვილეში კი არც ისე საშიშია, თუმცა ზედა ყბაში ორი უზარმაზარი ეშვი და კუს ბაკნისებური რქოვანი საფარველი აქვს. ქვეწარმავლები საოცრად სხვადასხვაგვარნი იყვნენ: ზოგი მგელს, ზოგი აფთარს, კვერნას ან მღრღნელს წააგავდა. მაგრამ ეს მხოლოდ გარეგნული მსგავსება იყო: ძუძუმწოვრები დედამიწაზე ჯერ კიდევ არ გაჩენილიყვნენ. ძუძუმწოვრებთან გარეგნული მსგავსების გამო ამ ცხოველებს მხეცისებრი ქვეწარმავლები ეწოდათ.

მათ შორის იყვნენ მხეცისკბილიანები, ანუ ტერიოდონტები, ცხოველები, რომლებიც სხვებზე უფრო ახლოს იდგნენ ყველაზე ადრინდელ ძუძუმწოვრებთან. ტერიოდონტების კბილები, ისევე როგორც ძუძუმწოვრებისა. უკვე ფორმის მიხედვით განირჩეოდა. მათ ეშვები, საჭრელი და ბორცვიანი საძირე კბილები ჰქონდათ. ქვედა ყბა შედგებოდა კბილის ერთი ძვლისაგან და არა რამდენიმესაგან, როგორც თევზის. ამფიბიის, ტიპიური ქვეწარმავლების ქვედა ყბა. მაგრამ ყველაზე უფრო მათ ძუძუმწოვრებთან ისეთი ნიშნები აახლოებს, როგორიცაა განვითარება მეორადი ძვლოვანი სასისა, რომელმაც ცხვირი და ყელი პირის ღრუსაგან გამოყო. საკვების აღებისა და გადაყლაპვის გარდა, როგორც ეს უმდაბლეს ხერხემლიანებს სჩვევიათ, ამ ცხოველებს მისი დაღეჭვაც შეეძლოთ. ასევე ბეჭის, მენჯის აგებულება და სხეულის კიდევ სხვა თავისებურებანი ტერიოდონტებს აახლოებდა ძუძუმწოვრებთან, რომელთა წინაპრებიც თვითონ იყვნენ.

ხვლიკების „სამეფო“

დედამიწის ისტორიის ახალი—მეზოზოური, ანუ სიცოცხლის საშუალო ერა ტრიასული პერიოდით იწყება. ამ პერიოდში ჩვენი პლანეტა მრავალი მოვლენის მოწმე იყო. ერთმანეთს ენაცვლებოდნენ მშრალი და ტენიანი პერიოდები, ზოგჯერ ბობოქრობდნენ ვულკანები.

მეზოზოური ერის დასაწყისში ხმელეთს უზარმაზარი ფართობი ეჭირა, მაგრამ მის შუა პერიოდში ზღვებმა ნაპირები გადალახეს და დედამიწის ვრცელი ტერიტორიები დაფარეს. მეზოზოური ერის დასასრულს კი მძლავრი მთათწარმომშობი მოვლენები დაიწყო და მატერიკები კვლავ გაიზარდნენ. გარემოს შეცვლამ დიდი ზეგავლენა მოახდინა ცხოველებისა და მცენარეების განვითარებაზე.

მეზოზოური ერის ზღვებს პალეოზოურ ერაში მომრავლებული ორგანიზმების მრავალი ჯგუფი ჩამოაკლდა. ოთხსხივიანი მარჯნები შვიდსხივიანებმა შეცვალეს, ტრილობიტები გაწყდნენ. მხართფეხიანების ნაცვლად ორსაგდულიანი მოლუსკები გაჩნდნენ: ზღვაში ძლიერ მომრავლდნენ თავთფეხიანი მოლუსკები—ამონიტები და ბელემნიტები, ხმელეთზე კი ქვეწარმავლები „ბატონობდნენ“. ისინი ზღვაში და ჰაერზე ცხოვრებასაც შეეგუენ.

მეზოზოურ ერაში გაჩნდა მცენარეული და ცხოველთა სამყაროს ყველა უმაღლესი წარმომადგენელი: ყვავილოვანი მცენარეები, ორფრთიანი და სიფრიფანაფრთიანი მწერები, ძვლიანი თევზები, ფრინველები და ძუძუმწოვრებიც.

ტრიასული პერიოდის უკანასკნელი ჯავშანთავიანი ამფიბიების ზომა დაახლოებით 5 მეტრი გახდა. ეს საშიში მტაცებლები მთელ თავის სიცოცხლეს წყალში ატარებდნენ. ამ გიგანტების რიცხვს განეკუთვნება მასტოდონოზავრი. მასტოდონოზავრის ერთმეტრიანი თავის ქალა თითქმის მისი სხეულის მესამედს შეადგენდა.

მეზოზოური ერის სასიცოცხლო პირობები ხელს უწყობდა ქვეწარმავალთა ახალი სახეობების განვითარებას. მრავალმა მათგანმა კვლავ წყალში ცხოვრება დაიწყო. თავდაპირველად საკვებით მდიდარი სანაპიროები აითვისეს, ხოლო შემდეგ მათმა შთამომავლებმა ხმელეთთან სულ გაწყვიტეს კავშირი და ზღვაში დასახლდნენ. ხმელეთზე გაჩნდა ბევრი ორფეხა არქოზავრი. ორ ფეხზე სიარული არქოზავრებს საშუალებას აძლევდა მაღალ მცენარეებს შორის ცხოვრებას კარგად შეგუებოდნენ: ამართული სიარულის დროს ისინი კიდევ უფრო შორი მანძილიდან და უფრო გარკვევით ამჩნევდნენ მტერს თუ საკბილოს.

იურულ და ცარცულ პერიოდებში მატერიკების დიდი ნაწილი ზღვაში ჩაიძირა და პლანეტის

უზარმაზარი სივრცეები წყალმა დაფარა. ჰავა რბილი, ზომიერი და თბილი იყო. დედამიწაზე აცივების არავითარი ნიშანი არ ჩანდა.

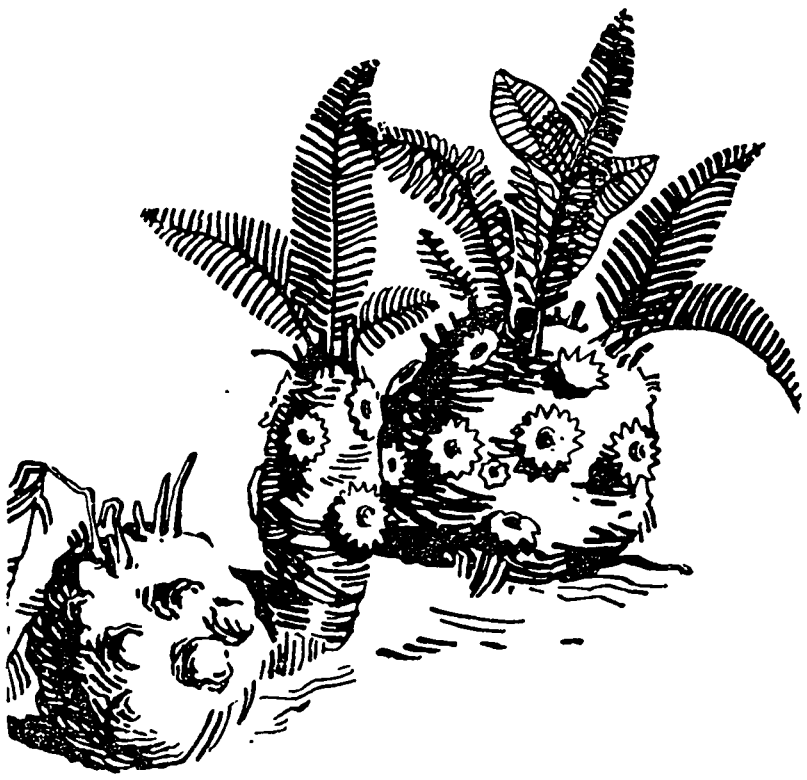
ოკეანეებსა და ზღვებში მომრავლდნენ უხერხემლოები, ბინადრობდნენ მრავალნაირი თევზები. მეზოზოური ზვიგენები აგებულებით თანამედროვე ზვიგენებს ჰგავდნენ.

იაპონიის კუნძულებიდან დიდი ბრიტანეთის კუნძულებამდე, ახალი ციმბირის კუნძულებიდან სამხრეთ აფრიკისა და ავსტრალიის კუნძულებამდე უზარმაზარ სივრცეებზე ერთფეროვანი ფლორა იყო. ეს აიხსნება ხმელეთზე შექმნილი კლიმატური პირობებით: საკმაოდ დიდი ტენიანობითა და ტემპერატურით. ვრცელი ფართობები ეჭირა ტყეებს, უძველესი წიწვიანების, გინკგოვანების, ბენეტიტებისა და საგოვანების რაყებს წვრილი გვიმრების, ხავსების, შვიტებისა და ლიკოპოდიუმების ქვეტყეებთან ერთად.

იურული პერიოდიდან მოყოლებული ქვეწარმავლები ძლიერ მომრავლდნენ და გამრავალფეროვანდნენ. ისინი ზღვის, ხმელეთისა და ჰაერის ნამდვილი „მბრძანებლები“ ხდებიან. ამას გარდა ჩნდება ქვეწარმავლების ახალი რაზმები, მათ შორის გვხვდება მდინარის ნიანგი, კუ და ხვლიკი.

იურულ პერიოდში დაიწყო ქვეწარმავლების შესანიშნავი ჯგუფის — დინოზავრების მომრავლება. ბუნების არქივის „საბუთები“ საშუალებას გვაძლევენ წარმოვიდგინოთ იურული პერიოდის ბუნება: ვრცელ ჭაობებში ძირთან გაფართოებული ჭაობის გიგანტური კვიპაროსების ტოტების ქვეშ ბინდია. მშრალ ნიადაგზე ბუსუსიანი მაგნოლიის ტყეები ჩანს. მშრალ ადგილებში მოხდენილი, მოყვითალო-მომწვანო, შვიდმეტრიანი ტყავისებური ფოთლებით შემოსილი საგოურები დასახლებულა. მათი საკვირველი ფოთლები ზღაპრულ ფრინველთა ნაკრტენებს წააგავს. კასრივით მრგვალ საგოურებს ფოთლები ზევით აუშვერიათ და მოყვანილობით გიგანტურ ანანასს ჰგვანან. გაშლილა გინკგოს ტყეებიც. ამ მცენარეებს ძალზე მოძრავი ფოთლები აქვთ, მზესთან ერთად ბრუნავენ და მას უზარმაზარი მარაოებივით უსწორდებიან. ჩვენამდე გინკგოს ერთადერთმა ჯიშმა მოაღწია. ახლა ამ ლამაზ ხეებს იაპონიასა და ჩინეთში, როგორც დეკორატიულ მცენარეებს, ისე უვლიან.

მზის ამოსვლისთანავე ცოცხლდება ღამით გაჭვავებული ქვეწარმავალთა სამყარო, მათ შორის დედამიწის „ბატონ-პატრონები“ — დინოზავრები. ისმის გიგანტების მძიმე ნაბიჯების ხმა. აგერ რვა ეტრამდე სიმაღლის საზარელი არსება ხმაურით სვამს წყალს. ეს დიპლოდოკია. დიპლოდოკს ჩიტის მსგავსი, მომცრო თავი და ერთი ბეწო ტვინი აქვს. ასეთი ტვინი გაჭირვებით „ემსახურება“



საგოვანები, მოკლე ბოლქვისებურღეროიანი შიშველთესლიანი მცენარეები — ძლიერ იყო გავრცელებული მეზოზოურ ერაში და ალბათ მრავალი მცენარეჭამია ქვეწარმავლის საკვებს წარმოადგენდა.

უზარმაზარ სხეულს. ამიტომ ბუნებამ მეორე ტვინი — გავის ძვლის ტვინი — დაახმარა. ეს მეორე ტვინი სიდიდით მნიშვნელოვნად აღემატებოდა თავის ტვინს.

დინოზავრები ხვლიკმენჯიანებისა და ფრთოსანმენჯიანების ორ სხვადასხვა დიდ რიგს შეადგენდნენ. ხვლიკმენჯიანები ცხოველთა სამყაროს უდიდესი გოლიათები იყვნენ. მათ ძალიან გრძელი კისერი, კუდი და სპილოზე საგრძნობლად დიდი ტანი ჰქონდათ. ბრონტოზავრების, დიპლოდოკების და ბრაქიოზავრების სიგრძე 35 მ აღწევდა. სიმაღლე ზოგჯერ 9 მ, წონა კი 60 ტ უდრიდა. ისინი ოთხ ფეხზე იდგნენ, შეეძლოთ კისრის მაღლა აწე-

ვაც, ცხოვრობდნენ ზღვებისა და დიდი ტბების სანაპიროებზე, იკვებებოდნენ მცენარეულით.

იურულ პერიოდში გაჩნდნენ ორფეხზე მოსიარულე და მორბენალი მტაცებელი ხვლიკები — კარნოზავრები, რომელთაც წინა კიდურები მოკლე ჰქონდათ. მათი წონა 5 — 7 ტონას აღწევდა, ხოლო სიმაღლე 6 — 8 მეტრს.

მეზოზოური ერის ზღვებში დელფინებისმაგვარი რვამეტრიანი თევზხვლიკები — იხტიოზავრები ცხოვრობდნენ. ამ ცხოველებს ზურგის ფარფლები, ფარფლ-თათები და თევზის კუდი ჰქონდათ, ცურავდნენ საუცხოოდ. იხტიოზავრებს ნაპირზე გამოსვლა არ შეეძლოთ და ცოცხალ ნაშიერს პირდაპირ ზღვაში ბადებდნენ.

იხტიოზავრების მუდმივი მეტოქეები თევზების გუნდის გაჩანაგებაში იყვნენ პლეზიოზავრები, რომელთაც ორი წყვილი ფარფლ-თათი, გრძელი კისერი, ბასრი კბილები, პატარა თავი, უფარფლო კუდი და მოკლე, კასრისებური სხეული ჰქონდათ. ცურვის ძირითადი ორგანო უზარმაზარი, მძლავრი ფარფლ-თათები იყო. იხტიოზავრებთან შედარებით სხეულისა და კიდურების ცურვისთვის შეუსაბამო მოყვანილობა პლეზიოზავრებს აიძულებდა ნაპირებთან ახლოს ან ყურეებში ყოფილიყვნენ, იქ, სადაც ისინი ქარიშხლებისაგან დაცული იქნებოდნენ. პლეზიოზავრების სიგრძე გრძელი კისრისა და კუდის ჩათვლით 16 მ აღწევდა.

ჰაერში დაქროდნენ მფრინავი ხვლიკები — პტეროზავრები, ანუ ფრთიანხვლიკები. ისინი ორი ძირითადი ტიპისა იყვნენ: ერთ ტიპს განეკუთვნებოდა რამფორინხები, რომელთაც წაგრძელებული ვიწრო ფრთები, გრძელი კუდი-საჭე და ლივლივით ფრენის უნარი ჰქონდათ, მეორეს — ფართოფრთებიანი და მოკლეკუდიანი, შედარებით მცირე — პტეროდაქტილები. ესენი ვეება პეპლებივით დაფრინავდნენ. მფრინავი ხვლიკების ფრთები სხეულის გვერდითი კანის ნაჭისაგან იყო წარმოქმნილი და წინა კიდურის მეოთხე გრძელ თითს ეყრდნობოდა. პტეროზავრებს ღრუიანი ძვლები ჰქონდათ, რაც სხეულის წონას უმსუბუქებდათ და ფრენაში ეხმარებოდათ. ასევეა აგებული თანამედროვე ფრინველების ჩონჩხიც.

ფრინველების, ძუძუმწოვრების, ყვავილოვანი მცენარეების წარმოშობა და ხვლიკების დიდი გადაშენება

მფრინავი ხვლიკები და ფრინველები საერთო წინაპრებისაგან წარმოიშვნენ. თუ რას წარმოადგენდნენ ისინი, ჩვენ შეგვიძლია მხოლოდ ვივარაუდოთ. ყოველ შემთხვევაში, ამ ქვეწარმავალი ცხოველების წინა და უკანა კიდურები თანდათან იფარებოდა ნაკრტენებით, რომლებიც კანის ქერცლის დაგრძელებისა და დანაწევრების შედეგად წარმოიქმნა. ნაკრტენები ფრინველთა წინაპრებს საშუალებას აძლევდა ჯერ ტოტიდან ტოტზე, შემდეგ ერთი ხიდან მეორეზე გადამხტარიყვნენ.

ფრინველებისა და ქვეწარმავლების ნათესაობა განსაკუთრებით უძველეს იურულ ფრინველებში — არქეოპტერიქსებში შეიმჩნევა. ისინი ყურეების, მდინარეების, ტბების, ჭაობების ნაპირებზე არაუკარიების, საგოურებისა და ბენეტიტების ბარდებში ბინადრობდნენ. არქეოპტერიქსები სიდიდით მტრედებს არ აღემატებოდნენ. მათ ხვლიკის კუდივით გრძელი, ძალზე მოქნილი, მაგრამ ნაკრტენებით დაფარული კუდები ჰქონდათ. კუდის ყოველი მალის საპირისპიროდ წყვილი ნაკრტენი იყო ჩასმული. ცხოველის მთელ სხეულსა და ფეხებს ნაკრტენები ფარავდა.

მიუხედავად იმისა, რომ არქეოპტერიქსები ფრინველებს ეკუთვნიან, მათ შემორჩათ ქვეწარმავალი წინაპრებისაგან მემკვიდრეობით გადმოყოლილი ნიშნებიც: სუსტი მკერდის ძვალი, რომელზეც საფრენი კუნთები იყო მიკრული, თანამედროვე ნიანგებისმაგვარი მუცლის წიბოები, 18 — 20 მალისაგან შემდგარი გრძელი კუდი კბილები. არქეოპტერიქსებს ფრთებზე ბრჭყალებიანი სამი თითი ჰქონდათ. ისინი ხის ტოტებზე დაძვრებოდნენ, ფრენით ცუდად ფრენდნენ, სამაგიეროდ შეეძლოთ დიდ მანძილზე გადამხტარიყვნენ.

პირველი ძუძუმწოვრები იურულ პერიოდში გაჩნდნენ. მათი განვითარების დასაწყისი დღემდე ცუდად არის შესწავლილი. მეცნიერთათვის გამოცანად რჩება კითხვა, რატომ შემორჩათ ძუძუმწოვრებს ამფიბიების დამახასიათებელი ნიშნები მაშინ, როცა ქვეწარმავლებს ისინი გაუქრა, მაგალითად, ტყავის ჯირკვლების სიმრავლე, აორტის მარცხენა რკალი და სხვ. ამჟამად დადგენილია, რომ ძუძუმწოვრები მხეცისკბილიანი ქვეწარ-

მავლების — ტ ე რ ი ო დ ო ნ ტ ე ბ ი ს ა გ ა ნ წარმოიშვნენ. მეცნიერებმა შეისწავლეს ტერიოდონტების განვითარების გზები და აღმოაჩინეს თვისებები, რომლებიც მხოლოდ ძუძუმწოვრებს აქვთ.

ასეთი თვისებები განსაკუთრებით სამხრეთ აფრიკის ტერიოდონტებს ახასიათებდა: ჩონჩხის აგებულებით, ცხოვრების წესით დღევანდელი ძუძუმწოვრებისაგან ისინი ნაკლებად განსხვავდებოდნენ. მეორადი ძვლოვანი სასა მათ ჭამის დროს განუწყვეტელი სუნთქვის, ხოლო რთული კბილები საკვების კარგად დაღეჭვის საშუალებას აძლევდა. ტერიოდონტები ძუძუმწოვრების მსგავსად ვერტიკალურად გამართულ ფეხებზე იდგნენ. ჩვენ შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ ეს ცხოველები უკვე თბილსისხლიანები იყვნენ და შვილებს ძუძუს აწოვებდნენ.

ძუძუმწოვრების გაჩენა განპირობებულია ჩანასახურ განვითარებაში მომხდარი ცვლილებებით: კვერცხის დადების ნაცვლად (კვერცხს უმთავრესად მზის სხივები ათბობდა) დედის საშოში ჩანასახის განვითარებითა და ცოცხალი ნაშიერის დაბადებით.

ძუძუმწოვართა წინაპრების სხეული, როგორც ჩანს, ქერცლითა და თმებით იყო დაფარული. ეს შეუმჩნეველი, მომცრო ტანის ქვეწარმავლები იყვნენ, ცხოვრობდნენ ფარულად. მათ დასაბამი მისცეს ყველაზე პროგრესულ ხერხემლიანებს — ძუძუმწოვრებს, რომლებმაც მეზოზოური ერის „მეუფენი“ — დინოზავრები შეცვალეს.

ხმელეთზეც, თითქოს ისიც ახალი ერის დაწყებისათვის ემზადებოდაო, იცვლებოდნენ მცენარეები. ჯერ კიდევ ცარცული პერიოდის დასაწყისში ჩნდებიან პირველი ყ ვ ა ვ ი ლ ო ვ ა ნ ი მცენარეები, ხოლო მის დასასრულს ახალი მცენარეულობა ძველს აძევებს.

როგორ წარმოიშვნენ ყვავილოვანი მცენარეები, ჯერ კიდევ სავსებით არაა გამორკვეული: შესაძლოა ისინი შიშველთესლიანების რომელიღაც ჯგუფებიდან განვითარდნენ მზის განსაკუთრებულად ინტენსიური გამოსხივების ადგილებზე, მდინარეების დაბლობთა გასწვრივ მდებარე ნახევარუდაბნოების დ ე რ ე ფ ნ უ ლ ტყეებში. შეიძლებოდა აგრეთვე შემდგომ ხანებში ოკეანის მიერ დაფარულ და ჩვენთვის უცნობ ხმელეთის უბნებზეც აღმოცენებულიყვნენ.

წიწვიანი მცენარეებიდან იმ დროს გვხვდებოდა ფიჭვი, ნაძვი, კედარი, გიგანტური მამონტისა და წითელი ხეები, არაუკარიები.

პლანეტის მცენარეულ სამყაროში მომხდარი ცვლილებები უდიდესი მნიშვნელობის მოვლენას წარმოადგენს. ეს რომ არ მომხდარიყო, ცხოველ-



შიშველთესლიანი ბენეტიტის გირჩა („ყვავილი“) (1) ძლიერ მოგვაგონებს მაგნოლიის ყვავილს, თუ მას ფურცლებს (2) მოვაცლით. ეს კი იმაზე მეტყველებს, რომ ფარულთესლიანი მცენარეები შიშველთესლიანებისაგან არიან წარმოშობილი. 3 — მაგნოლიის ყვავილი.

თა სამყაროს ევოლუციაც შეფერხდებოდა. ყვავილოვანი მცენარეების აღმოცენებამ უზრუნველყო ცხოველთა ისეთი უმაღლესი კლასების სწრაფი განვითარება, როგორიცაა: მწერები, ფრინველები, ძუძუმწოვრები. გაიზარდა „საკვები“ ბაზა და საზრდოც მრავალფეროვანი გახდა.

თავის მხრივ ცხოველებმაც — მწერებმა, ფრინველებმა და ძუძუმწოვრებმა — დიდი როლი შეასრულეს ყვავილოვან მცენარეთა განვითარებაში, ხელს უწყობდნენ ყვავილების ჯვარედინ დამტვერვას და ნაყოფებისა და თესლების გავრცელებას.

წარმოვიდგინოთ სიცოცხლის სურათი დედამიწაზე ცარცული პერიოდის დასასრულს. დღის სულისშემხუთველი ხვატი განელდა და საღამოს ბინდს ორ ფეხზე მდგომი გიგანტური არსება გამოეყო. ცხოველს ორმეტრიანი თავი და პატარა განუვითარებელი „ხელები“ აქვს, ზედ ორ-ორი

თითი. „ხელები“ იმდენად პატარაა, რომ დრუნჩამდე ვერ სწვდება, არც ნადავლის დაჭერა შეუძლია. ისინი უზარმაზარი სხეულის რაღაც გაუგებარი დანართებია. ცხოველის მუდამ დაკრეჭილ ხახაში ოცდახუთსანტიმეტრიანი უამრავი კბილია მოთავსებული. სხეულის ქვედა ნაწილი მასიურია, გვერდებზე შებრტყელებული. ამ გიგანტური მტაცებლის გარეგნობას ფრინველის რაღაც ნიშნებიც ემჩნევა. მისი დრუნჩი და სამი საზარელბრჭყალიანი უზარმაზარი ფეხი ახლახან სულამორთმეული მსხვერპლის სისხლითაა მოთხვრილი. ეს არის ყველა დროის უდიდესი მტაცებელი ტ ი რ ა ნ ო ზ ა ვ რ ი, ხვლიკი-ტირანი, ყოველი სულიერის რისხვა და მბრძანებელი ცარცულ პერიოდში. მისი სიგრძე 17 მ, სიმაღლე 9 მ, ხოლო წონა 10 ტონაზე მეტია. საღამოს ბინდში ძნელია ტირანოზავრის მსხვერპლის გარჩევა, მაგრამ, ეს უეჭველად მდინარის ყურეებსა და საფლობ ჭაობებში მობინადრე იხვნისკარტა დინოზავრთაგანია. წინა თათებზე მას აპკი აქვს, ხოლო უკანაზე — სამ-სამი ჩლიქი. თითქმის ყველა იხვნისკარტა დინოზავრის სხეულის აგებულება ერთნაირია, მაგრამ თავებისა განსხვავებულია. უ ზ ა უ რ ო ლ ო ფ ს „კეფაზე“ ძვლოვანი წანაზარდი აქვს, ხოლო მის მონათესავე პ ა რ ა ზ ა უ რ ო ლ ო ფ ს უცნაური ძვლის ქედი. ამ „სამკაულების“ დანიშნულება დღემდე უცნობია, მაგრამ, საფიქრებელია, რომ ისინი სუნთქვის განსაკუთრებულ უნართანაა დაკავშირებული. გიგანტური იხვნისკარტა დინოზავრები მშიშრები იყვნენ, თუმცა მათი სიგრძე 12 მეტრამდე აღწევდა, წონა — 20 ტონამდე.

ჯუნგლებიდან არაუკარიების ტყის პირას გავიდეთ. აქ უკანასკნელ პტეროდაქტილებსა და ყველაზე დიდ მფრინავ არსებებს, „ცოცხალ“ პლანერებს — პტერანოდონებს წავაწყდებით. მათი გაშლილი ფრთები 8 მ აღწევს. პტერანოდონების მეტრიანი უკბილო ნისკარტი მსხვერპლს აუცდენლად ხვდებოდა.

პატარა და შეუმჩნეველი, უმწეო ძუძუმწოვრები მაშინ თბილ, ნოტიო ტყეებში ცხოვრობდნენ და ტყის გიგანტების ფესვებთან გათხრილ სოროებში იმალებოდნენ.

მეზოზოური ერის დასასრულს სათითაოდ გადაშენდა დინოზავრების ყველა ჯგუფი და ქვეწარმავალთა ბევრი რაზმი. ხვლიკების გადაშენება გარემო პირობების: კლიმატის, რელიეფის, მათი კბილებისა და მომნელებელი სისტემისათვის ჩვეული მცენარეების შეცვლასთანაა დაკავშირებული, განპირობებულია აგრეთვე ბიოლოგიური მდგომარეობის შეცვლით—მცენარეებისა და ცხოველების ახალი ჯგუფების განვითარებით. მთელ ამ მიზეზებს, როგორც ჩანს, მათზე კეთილისმყოფელი ზემოქმედება არ მოუხდენია. ჩვენ ჯერ კიდევ არ ვიცით, რა იყო პლანეტის ყოფილ „მეფეთა“ მასიური განადგურების მიზეზი, მაგრამ ნათელია, რომ ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების ახალი სამყაროს პირველი დღის განთიადს ძალიან ცოტა გიგანტი ხვლიკი შეესწრო.

ახალი სიცოცხლის ერა

ორგანული სამყაროს განვითარების შემდეგი თვალსაჩინო საფეხური კაინოზოური ერა იყო. წინანდელი ხანის ხვლიკების სამყაროდან სიცოცხლის ახალ ერაში, რომელიც 70 მლნ წელი გრძელდებოდა, ქვეწარმავლების მცირერიცხოვანმა ჯგუფებმაღა გადმოაღწიეს, მაგალითად, ხვლიკებმა, გველებმა, ნიანგებმა, კუმ.

ახალი ერის მესამეული პერიოდის დასაწყისშივე წამყვანი ადგილი ძუძუმწოვრებმა დაიკავეს. დაიწყო ძუძუმწოვრების „საუკუნე“. ცხოველთა ამ კლასის ცვლილებათა პროცესი ძლიერ სწრაფად მიმდინარეობდა. კაინოზოური ერის დასაწყისშივე გაჩნდა დღევანდელი ძუძუმწოვრების ყველა ძირითადი ჯგუფი, მათ შორის მაიმუნებიც.

ცხოველთა ამ კლასის სწრაფი განვითარება განპირობებულია მუდმივ ცვალებად სასიცოცხლო პირობებისადმი შეგუების განსაკუთრებული უნარით.

კაინოზოურ ერაში წარმოიქმნა ალპები, კარპატები, პირენეები, ჰიმალაები და დანარჩენი მთები. დიდი ვულკანების მძლავრმა ამოფრქვევებმა შეძრა ჩვენი პლანეტა. ზღვები ხმელეთს უტევდნენ და შემდეგ პატარ-პატარა გამტკნარებულ აუზებად ნაწილდებოდნენ. დედამიწაზე უფრო მკვეთრად გამოხატული კლიმატური ზონები გაჩნდა.

ძუძუმწოვართა ევოლუციაში ყვავილოვანი მცენარეების განვითარებამაც მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა. მხოლოდ ყვავილოვან მცენარეებ-

თან დაკავშირებით იყო, მაგალითად, შესაძლებელი მაიმუნების გაჩენა და განვითარება. მათი ძირითადი საკვები ნაყოფები კენკრა და თესლებია.

უძველესი მესამეული პერიოდის ძუძუმწოვრების აღნაგობას ცხოველთა მრავალი, ერთმანეთისაგან განსხვავებული ჯგუფების ნიშნები აქვს. ძუძუმწოვართა უმარტივესი და უძველესი ჯგუფი იყო კვერცხისმდებლები, ანუ ერთგასავლიანები (როგორიცაა იხვნისკარტა), ჩანთოსნები (კენგურუ და სხვ.) და უძველესი მწერიჭამიები. კაინოზოური ერის დასაწყისშივე მწერიჭამიების ერთმა ნაწილმა მტაცებლური ცხოვრება დაიწყო. ისინი დღევანდელი მტაცებელი ცხოველების წინაპრები იყვნენ. მწერიჭამიების მეორე შტომ დასაბამი მისცა მცენარეჭამია ცხოველებს — ჩლიქოსანთა წინაპრებს.

უძველესი ჩლიქოსნებისაგან წარმოიშვნენ ჩვენამდე შემორჩენილი კენტჩლიქიანები — ტაპირები, მარტორქები, ცხენები, აგრეთვე სხვადასხვა წყვილჩლიქიანები — ღორები, ირმები და სხვ. მესამეული პერიოდის პირველ ნახევარში (პალეოგენურში) ცხოვრობდნენ უჩვეულო აგებულების ცხოველები: გიგანტური ბრონტოტერიები, რომელთაც დრუნჩის ბოლოში შურდულისმაგვარი რქები ჰქონდათ, გიგანტური მტაცებლები და სხვ.

ძუძუმწოვრები ხმელეთითაც სარგებლობდნენ და ზღვითაც. ისინი დაძვრებოდნენ ხეებზე, ფრინავდნენ (ღამურები), ცურავდნენ (ვეშაპები და მათი მონათესავეები). ხმელეთზე ძუძუმწოვრებს დინოზავრების სიდიდისათვის არ მიუღწევიათ, თუმცა მათ თავიანთი გიგანტებიც ჰყავდათ და ყველაზე მაღალ ცხოველად შეიძლება ურქო მარტორქა — ინდრიკოტერია მივიჩნიოთ. მისი სიმაღლე მხრებთან 5 მ აღწევდა. ცხოვრობდა აზიასა და ევროპაში 40 მლნ წლის წინათ.

სამხრეთ ამერიკასა და ავსტრალიაში, რომლებიც სხვა კონტინენტებს ადრე გამოეყვნენ, უძველესი ძუძუმწოვრები თავისი გზით ვითარდებოდნენ. ამ კონტინენტებზე ძუძუმწოვრებმა კარგა ხანს შემოინახეს უძველეს წინაპართა სახე. სამხრეთ ამერიკაში ჩანთოსნები და არასრულკბილიანები (ზარმაცები) იყვნენ გავრცელებული. ავსტრალიაში მხოლოდ ჩანთოსნები და ერთგასავლიანები — თანამედროვე ძუძუმწოვართაგან უმარტივესი ძუძუმწოვრები ცხოვრობდნენ.

კაინოზოური ერის მეორე ნახევარში ზღვებისა და კონტინენტების, აგრეთვე პლანეტის ზედაპირის რელიეფის მოხაზულობა უკვე სავსებით უახლოვდება დღევანდელს. პოლარული წრის არის ოლქებში თანდათან ცივი ჰავა დგება, მთიან რაიონებში წარმოიქმნება ყინვარები.

დიდი ცვლილებები მიმდინარეობს ხმელეთის მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროში: დღევანდელი ზომიერი სარტყელების ტერიტორიაზე ტროპიკულ და სუბტროპიკულ მცენარეებს ცვენადფოთლებიანი მცენარეები ცვლიან. ჩნდებიან პირველი მარცვლოვანები, ველებისა და ტყე-ველების თვალუწვდენელი სივრცეები.

სავანებში და ტყეების პირას გარეული ღორები, სამთითა ცხენები, ჟირაფები, ირმების, ანტილოპებისა და მასტოდონტების დიდი ჯოგები ბინადრობდნენ. გამოჩნდა მრავალი მტაცებელი — დიდი ხმალკბილიანი კატები, აფთრები და სხვ.

მესამეული პერიოდის დასასრულსა (ნეოგენურსა) და მეოთხეულ პერიოდში ტუნდრა და ტაიგა წარმოიქმნა. ძველი ეპოქის მცენარეულობა და ცხოველთა სამყარო დღემდე მხოლოდ ეკვატორულ ზოლში შემორჩა. ტროპიკული მარადმწვანე ტყე იმ უდიდესი უღრანი ტყეების ნაშთია (რელიქტი), რომელიც მესამეულ პერიოდში დედამიწას ფარავდა. იგი მხეცებისა და ფრინველების დიდი სამყაროს დასაწყისისა და აყვავების ცოცხალი მოწმეა.

მეოთხეული, ანუ ანთროპოგენური პერიოდი (ბერძნული სიტყვიდან „ანთროპოს“ — ადამიანი), რომელიც დაახლოებით მილიონი წლის წინ დაიწყო, მიუხედავად ხანმოკლეობისა, მდიდარია მოვლენებით. ამ დროს ჩამოყალიბდა თანამედროვე ფლორა და ფაუნა. ანთროპოგენური პერიოდის დასაწყისში ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს მაღალ განედებშიც კი თბილოდა; დღევანდელი ზომიერი და ცივი სარტყელების მცენარეთა და ცხოველთა სამყარო თანამედროვესაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდა. მაგალითად, ევრაზიაში ფართოდ იყო გავრცელებული უძველესი გიგანტური სპილოები, ორი მეტრი სიმაღლის ვეება მარტორქები — ელასმოტერიები, რომელთაც შუბლზე უზარმაზარი რქა ჰქონდათ,

ერთთითა ცხენები, აქლემები, ანტილოპები, სხვადასხვა მღრღნელები, მათ შორის გიგანტური თახვებისმაგვარი ტროგონტერიები.

მოგვიანებით გაჩნდნენ გამოქვაბულის აფთარი და დათვი, ვეება გრძელრქებიანი ბიზონები, დიდრქებიანი ირმები, ტროგონტერიული სპილოები და თანამედროვესაგან ნაკლებად განსხვავებული მგლები, მელიები, კურდღლები, კვერნები და სხვა ცხოველები.

ანთროპოგენური პერიოდის მეორე ნახევარში აცივდა, რის შედეგად ევროპის, აზიის, ჩრდილოეთ ამერიკის დიდი სივრცეები გაყინვარდა. ბევრი ძუძუმწოვარი ახალ პირობებს ვერ შეეგუა და გადაშენდა, სხვებმა სახე იცვალეს. ტროგონტერიული სპილოები მამონტებად იქცნენ, ბიზონები, ირმები, სამურავები კი დაჩიავდნენ. ყველაზე გავრცელებული ცხოველები იყვნენ ბეწვიანი სპილოები — მამონტები, ბეწვიანი მარტორქები, ჩრდილოეთის ირმები, ცხვარხარები, მგლები, თეთრი მელიები, ლემინგები და სხვა მღრღნელები.

როდესაც აცივება და გაყინვარება დამთავრდა, წარმოიქმნა მკაფიოდ გამიჯნული ზომიერი და არქტიკული ზონები თვითეულისათვის დამახასიათებელი ფლორითა და ფაუნით. ამ დროისათვის მამონტები, ბეწვიანი მარტორქები, გიგანტური ირმები გადაშენდნენ; წარმოიშვა თანამედროვე მცენარეთა და ცხოველთა სამყარო.

მეცნიერული მონაცემების საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დღევანდელი მცენარეებისა და ცხოველების ველური სახეობანი დედამიწაზე უკვე 20 ათასი წლის წინ არსებობდა.

მილიონი წლის წინ ადამიანის მსგავსი მაიმუნების განსაკუთრებული სახეობისაგან (ამ მაიმუნებმა ორ ფეხზე დაიწყეს სიარული) ადამიანის წინაპრები — პითეკანთროპები, ანუ მაიმუნადამიანები წარმოიშვნენ. 500 ათასი წლის წინ პითეკანთროპებისაგან პირველყოფილი ადამიანები (ნეანდერტალელები) წარმოიშვნენ; დაახლოებით 100 ათასი წლის წინ კი თანამედროვე ტიპის ადამიანები გაჩნდნენ (იხ. სე, ტ. 6).

მას შემდეგ, რაც ადამიანმა ცეცხლის **შენახვა,** შემდეგ მისი გაჩაღება, ქვის დამუშავება, ბრძილდისრის გაკეთება ისწავლა, თანდათან შორდებოდა თავის ცხოველ წინაპარს.

კაცობრიობის ისტორიისა და ორგანული სამყაროს განვითარების უმნიშვნელოვანესი ეტაპი ცხოველების მოშინაურება, მეცხოველეობისა და მიწათმოქმედების აღმოცენება იყო.

გარეული ცხოველების მოთვინიერება-მოშინაურებას ადამიანმა შედარებით გვიან მოჰკიდა ხელი. თითქმის მშვილდ-ისრის გამოგონებასთან ერთად, დაახლოებით 12 — 15 ათასი წლის წინ, დაიწყო შინაური ძაღლების შორეული წინაპრების — მგლებისა და ტურების — მოთვინიერება.

არსებობის მანძილზე ადამიანმა გარეული ცხოველების 40-მდე სახეობა მოათვინიერა და მოაშინაურა და მათგან ათასწლეულების განმავლობაში უამრავი სხვადასხვა ჯიში მიიღო. ზოგიერთი ცხოველი ისე გარდაქმნა, რომ გარეულ წინაპრებთან შედარებისას ძალზე გვიჭირს მათ შორის მსგავსების დანახვა და ნათესაური კავშირის დადგენა.

* * *

რას გვასწავლის სიცოცხლის ისტორიის დიდი მატიანე? მცენარეული და ცხოველთა სამყაროს მთელი სიმდიდრე იქმნებოდა თანდათან, საარსებო პირობების იმ თანამიმდევრული ცვლილებების შედეგად, რომელთაც სიცოცხლის ფორმების გართულება და სრულყოფა ახლდა თან. ბუნებრივი შერჩევა მხოლოდ იმ ორგანიზმებს ტოვებდა ცოცხლად, რომლებიც ცხოვრების პირობებს უკეთ ეგუებოდნენ.

მაშასადამე, სიცოცხლის განვითარება განუყრელად არის დაკავშირებული დედამიწის სახეცვლილებებთან. ატმოსფეროს შემადგენლობის, მზის გამოსხივების ინტენსიობისა და ხასიათის, ზღვებისა და კონტინენტების მოხაზულობის, ჰავის, ქანებისა და ნიადაგის ქიმიური შემადგენლობის შეცვლამ — ყველაფერმა ერთად განაპირობა ორგანული სამყაროს განვითარება. მაგრამ არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ თვითონ სიცოცხლე ჩასახვისთანავე ხდება ჩვენი პლანეტის არაცოცხალი ბუნების გარდამქმნელი.

ჩვენ დავრწმუნდით, რომ ორგანული სამყაროს განვითარება ძველ სახეობათა კვდომისა და ახლის გაჩენის პროცესია. ზოგიერთი ორგანიზმი

სულ ამოწყდა, დანარჩენებმა სახე შეიცვალეს და ამით დასაბამი მისცეს ახალ ფორმებს.

უფრო მეტად განვითარებული ცხოველები და მცენარეები თავიანთი აყვავების ეპოქამდე გაცილებით ადრე გაჩნდნენ (მაგალითად, კაინოზოურ ერაში გავრცელებული ყვავილოვანი მცენარეები, ფრინველები და ძუძუმწოვრები მეზოზოურ ერაში წარმოიშვნენ). მათ უფრო რთული აგებულება, გარემოს ცვალებად პირობებთან ჩქარი შეგუების მეტი უნარი გააჩნიათ. ეს თვისებები განსაკუთრებით ძუძუმწოვრებს, ფრინველებსა და მწერებს ემჩნევათ.

ორგანული სამყაროს განვითარების პირველი საფეხურები, პირველყოფილი ოკეანეებისა და ძატერიკების ცხოვრება ჩვენ ჯერ კიდევ არასაკმარისად გვაქვს შესწავლილი. მეცნიერებას ჯერჯერობით არც სხვა დანარჩენი საკითხები გაურკვევია. მაგრამ დედამიწის ცხოვრების ამ არასრულ მატიანესაც კი შეუძლია არაცოცხალი ბუნებიდან ცოცხალი ბუნების აღმოცენებისა და განვითარების დიდებული სურათი გადაგვიშალოს. ეს მატიანე სავსებით უარყოფს რელიგიურ სიცრუეს ღმერთის მიერ ცოცხალი არსებებისა და ადამიანის შექმნის შესახებ.

როგორ ადგენენ დედამიწისა და ქანების ასაკს

ცხენისა და ძაღლის ასაკი შეგვიძლია მათი კბილებით განვსაზღვროთ, ხისა — ღეროს სისქით, ანდა ზრდის წლიური რგოლებით. მაგრამ, როგორ გავიგოთ დედამიწისა და მთის ქანების ასაკი? უძველეს რელიგიურ ნაწარმოებთა კრებულის — ბიბლიის — მტკიცების მიხედვით დედამიწა ძალზე ახალგაზრდაა, იგი 7 ათას წელზე ოდნავ მეტი ხნისაა. ამ შეუსაბამო რიცხვს ბუნებისმეტყველება და ადამიანთა საზოგადოების ისტორია უარყოფს. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, არც ისე ადვილია სწორი პასუხის გაცემა კითხვაზე, რა ასაკისაა დედამიწა და როდის ხდებოდა ესა თუ ის გეოლოგიური მოვლენა. მეცნიერთა დიდი არმიის — გეოლოგების, ბიოლოგების, პალეონტოლოგების, ფიზიკოსების მრავალი წლის შეუპოვარი შრომა დასჭირდა დედამიწის ასაკის გამოანგარიშებას.

გეოლოგებმა და პალეონტოლოგებმა შეისწავლეს მიწის ქერქის დანალექი ქანები (ქვიშა, თიხა. კირქვა, მერგელი და სხვ.) ყველაზე ახალგაზრდა— ზედა შრეებიდან უძველეს — ქვედა შრეებამდე. მათში შემონახული ორგანიზმების ნაშთების მიხედვით დედამიწაზე სიცოცხლის ნამდვილი ისტორია აღადგინეს. მცენარეებისა და ცხოველების განვითარება სასიცოცხლო პირობების შეცვლასთან დაკავშირებით უმარტივესი ფორმებიდან რთულისაკენ, უმდაბლესიდან უმაღლესისაკენ მიემართებოდა. მეცნიერებმა დედამიწისა და სიცოცხლის ისტორიაში ხუთი ერა გამოჰყვეს. თვითეულ ერაში რამდენიმე პერიოდია, ხოლო პერიოდებში თავის მხრივ ეპოქები და საუკუნეები (იხ. გვ. 121).

ყოველი მომდევნო პერიოდი წინასაგან იმით განსხვავდება, რომ აქ უფრო განვითარებული მცენარეები და ცხოველები წარმოიშვება, ჰავის, ხმელეთისა და ზღვების მდებარეობა იცვლება.

გეოლოგიური ისტორიის ყველა ერასა, პერიოდსა და ეპოქაში განსაზღვრული ცხოველები და მცენარეები არსებობდნენ.

ორგანიზმების ნაშთების მიხედვით (მათ სახელმძღვანელო ნამარხებს უწოდებენ) საზღვრავენ მიწის ქერქის ნალექების შეფარდებით გეოლოგიურ ასაკს, ე. ი. აკვირდებიან, რა იყო უფრო ადრე და რა უფრო გვიან. პალეონტოლოგები ერთმანეთისაგან დიდი მანძილით დაშორებული შრეების ერთასაკოვნებას (თანადროულობას) ადგენენ და სხვადასხვა პერიოდის, ეპოქის უძველეს გეოგრაფიას (პალეოგეოგრაფიას) აღადგენენ. მაგალითად, თუ დედამიწის შრეებში ტრილობიტებს ნახულობენ, ამ შრეებს პალეოზოური ერის ზღვის ნალექებს აკუთვნებენ, ხოლო თუ დინოზავრის ნაშთებს ნახავენ, მათ შემცველ შრეებს მეზოზოური ერის კონტინენტურ ნალექებს მიაკუთვნებენ.

მაგრამ ამ წესით მაინც შეუძლებელია იმის გაგება, რამდენი წელი გრძელდებოდა გეოლოგიური ერები, პერიოდები, ეპოქები, ე. ი. მათი აბსო-

ლუტური გეოლოგიური ასაკის ათასობით ან მილიონი წლებით განსაზღვრა.

დედამიწის შრეების აბსოლუტური ასაკის გამოთვლას დიდი ხნის წინ ცდილობდნენ, მაგრამ მხოლოდ ბოლო წლებში, როცა ფიზიკამ და ქიმიამ დიდ წარმატებებს მიაღწიეს, შეძლეს შორეული წარსულის დროის ზუსტი გაზომვის მეთოდების დამუშავება.

ფიზიკოსებმა და ქიმიკოსებმა აღმოაჩინეს, რომ ზოგიერთი ელემენტის — ურანის, თორიუმის, რადიუმისა და სხვ. ატომები გამუდმებით იცვლებიან, „იშლებიან“ და სხვა ელემენტებს ქმნიან. ატომების გარდაქმნას, ანუ დაშლას რადიაცია, ე. ი. დამუხტული მცირე ნაწილაკების გამოსხივება ახლავს. ამიტომაც ასეთ ელემენტებს რადიოაქტიური, ხოლო მათ გარდაქმნას რადიოაქტიური დაშლა ეწოდება. რადიოაქტიური დაშლა თურმე მუდამ ერთი და იმავე სიჩქარით მიმდინარეობს. დიდი ტემპერატურა, მიწის წიაღის წნევა მასზე გავლენას არ ახდენს. მეცნიერებაში რადიოაქტიური დაშლის სიჩქარის განსაზღვრისათვის შემოღებულია დრო, რომელიც დასაწყისში მოცემული ელემენტის რაოდენობის ნახევრის დაშლას დასჭირდება. ამ დროს ნახევარდაშლის პერიოდი ეწოდება. ის ყველა ელემენტისათვის სხვადასხვაა. რუბიდიუმ-87 ნახევარდაშლას 50 მლრდ წელი უნდა, კალიუმ-40 — 1,25 მლრდ წელი, ურან-238 — 4,52 მლრდ წელი, რადიუმისას — 1590 წელი. თვითეული რადიოაქტიური ელემენტის დაშლის მუდმივი სიჩქარე საშუალებას გვაძლევს, რომ იგი ქანების ასაკის გაზომვისას საათივით გამოვიყენოთ.

რადიოაქტიური ურანის ერთ-ერთი სახეობის (ე. წ. იზოტოპების) დაშლის დროს ელემენტები პელიუმი და ტყვია წარმოიშვება. გამოთვლილია, რომ 100 გ ურანში 1 გ ტყვიის (ანუ 1%) დაგროვებისათვის საჭიროა დაახლოებით 90 მლნ წელი. ამრიგად, თუ ურანში ტყვიის პროცენტს განვსაზღვრავთ, შეგვიძლია დავადგინოთ, თუ რა დრო გავიდა დაშლის პროცესის ან ქანის შექმნის დასაწყისიდან.

რადიოაქტიური ელემენტების დახმარებით მეცნიერებმა გამოთვალეს დედამიწის ასაკი და აღმოჩნდა, რომ იგი სულ ცოტა ექვსი მილიარდი წლით განისაზღვრება! ამავე მეთოდის დახმარებით განისაზღვრა დედამიწის ზედაპირზე ამოსული უძველესი ქანების ასაკი.

დროის შედარებით მოკლე შუალედების გაზომვისათვის ძალზე საინტერესო და ზუსტ რადიონახშირბადის მეთოდს იყენებენ. მისი საშუალებით ასაკს საზღვრავენ 50 ათას წლამდე, ცთომილება 400 წელს არ აღემატება. ცოცხალი ორგანიზმების ქსოვილებში ჩვეულებრივი ნახშირბადის გარდა (ატომური წონა 12) არის მცირე და უცვლელი რაოდენობის მისივე იზოტოპი, ანუ რადიოაქტიური ნახშირბადი, ატომური წონით 14. რადიოაქტიური ნახშირბადის დაშლის პერიოდი ხანმოკლეა, 5760 წელს შეადგენს. შემორჩენილ ორგანულ ნაშთებში (ძვლები, ჭაობებში ჩაფლული ხეების ღეროები, ქსოვილები და სხვ.) ნახშირბადი-14 რადიოაქტიურობას თანდათან კარგავს. მისი რაოდენობა ძალზე მცირეა და მხოლოდ უზუსტესი ხელსაწყოები თუ აღმოაჩენენ. აღნიშნული მეთოდის შემოწმება მოხერხდა იმ არქეოლოგიური ძეგლების შესწავლის შედეგად, რომელთა ასაკიც ისტორიული საბუთებით იყო ცნობილი.

რადიონახშირბადის მეთოდით მრავალი არქეოლოგიური და პალეონტოლოგიური ნაპოვნის ასაკი განსაზღვრეს. მაგალითად, ეგვიპტეში ნაპოვნი ხორბლისა და ქერის გაუნახშირებელი მარცვლები დაახლოებით 6100 წლის აღმოჩნდა, ხოლო ისრაელში ნაპოვნი ბიბლიის გრაგნილები — 2000-მდე წლისა.

1951 წ. ტაიმირზე მამონტის ნაშთები იპოვეს. ცხოველის მყესებში რადიონახშირბადის შემადგენლობისა და ლეშის გვერდით ნაპოვნი მცენარეების ნაშთების მიხედვით დაადგინეს, რომ მამონტი 11 ათას წელზე მეტ ხანს მუდმივი მზრალობის ადგილას ყოფილა.

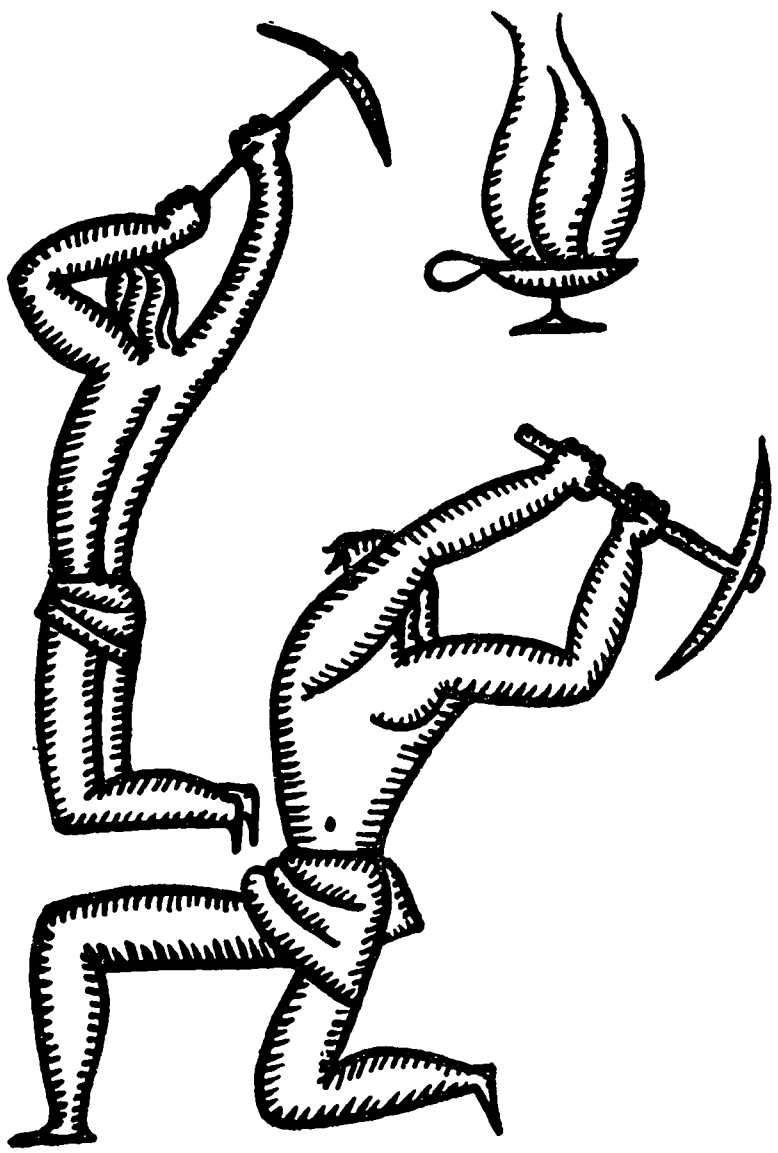
ასეთია მოკლედ ის მეთოდები, რომლითაც აღჭურვილია მეცნიერება. ეჭვი არ არის, რომ მალე შორეული წარსულის დროის გაზომვის ახალ, უფრო ზუსტ ხერხებს მიაგნებენ.

დედამიწისა და სიცოცხლის ისტორიის ქრონოლოგიური ცხრილი

ერა	პერიოდი	ხანგრძლივობა მლნ წლებში	ეპოქისა და პერიოდის დასაწყისიდან გასული დრო მლნ წლებში	ძირითადი გეოლოგიური მოვლენები და დედამიწის ზედაპირის სახე	მცენარეული და ცხოველთა სამყაროს ძირითადი საფეხურები
კაინოზოური 70 მლნ.	მეოთხეული, ანუ ანთროპოგენური	1	1	თანამედროვე რელიეფის ჩამოყალიბება. გაყინვარება	თანამედროვე ფლორისა და ფაუნის ჩამოყალიბება. ადამიანის გაჩენა
	ნეოგენური	24	25	ალპური მთათწარმოშობა. ალპები, აპენინები, პირენეები, ბალკანები, კარპატები, პამირი, კავკასიონი	ადამიანისმსგავსი მაიმუნების, მცენარეებისა და ცხოველების უმაღლესი ფორმების განვითარება
	პალეოგენური	45	70	მეზოზოური ერის მთების დაშლა, დაბლობების წარმოშობა	ფრინველებისა და ძუძუმწოვართა მრავალნაირი ჯგუფების განვითარება; ფარულთესლიანი მცენარეების ფართოდ გავრცელება
მეზოზოური 155 მლნ.	ცარცული	70	140	წყლის აუზების შემცირება. წყნაროკეანური მთათწარმოშობა: ანდები, კორდილიერები, ვერხოიანსკ-ჩუკოტკის ოლქის, სამხ.-აღმ. ჩინეთისა და ინდოჩინეთის მთები	ფარულთესლიანი მცენარეების აღმოცენება. მეზოზოური ერის ქვეწარმავალთა გადაშენება
	იურული	45	185	უზარმაზარი დაჭაობებული დაბლობების, შიდა კონტინენტური ზღვების განვითარება. ცხელი, ნოტიო ჰავა	ქვეწარმავალთა მრავალნაირი ჯგუფების გამრავლება. ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების წარმოშობა. შიშველთესლიანი მცენარეების ფართოდ გავრცელება
	ტრიასული	40	225	ჰერცინული მთების (ურალი, ალტაი, ტიან-შანი და სხვ.) დაშლა. დაბლობის რელიეფის წარმოშობა	მეზოზოურ ქვეწარმავალთა ძირითადი ჯგუფების წარმოშობა. უძველესი ქვეწარმავლებისა და სტეგოცეფალების გადაშენება
პალეოზოური 345 მლნ	პერმული	45	270	მშრალი ჰავა, ზღვების შემცირება. ჰერცინული მთათწარმოშობა: ურალის მთები, ალტაი, ტიან-შანი, აპალაჩები და სხვ.	ქვეწარმავალთა უძველესი ჯგუფების გამრავლება. შიშველთესლიანი მცენარეების აღმოცენება
	ქვანახშირის (კარბონული)	50	320	უზარმაზარი დაჭაობებული დაბლობების განვითარება. ცხელი, ნოტიო ჰავა	ქვეწარმავალთა წარმოშობა. ამფიბიების გამრავლება. მდიღარი ფლორის განვითარება: ლიკოპოდიუმის, შვიტებისა და ხისმაგვარი გვიმრებისა

გაგრძელება

ერა	პერიოდი	ხანგრძლივობა მლნ წლებში	ეპოქისა და პერიოდის დასაწყისიდან გასული დრო მლნ წლებში	ძირითადი გეოლოგიური მოვლენები და დედამიწის ზედაპირის სახე	მცენარეული და ცხოველთა სამყაროს ძირითადი საფეხურები
პალეოზოური 345 მლნ	დევონური	80	400	ზღვების მკვეთრი შემცირება, ცხელი ჰავა, პირველი უდაბნოები	ხერხემლიანთა ამოსვლა წყლიდან ხმელეთზე — ამფიბიების (სტეგოცეფალების) წარმოშობა. ხმელეთის მცენარეულობის ძლიერ გავრცელება. თევზების გამრავლება
	სილურული	20	420	კალედონური მთათწარმოშობა: სკანდინავიის მთები. გრამპიანი შოტლანდიაში, საიან-ბაიკალის და სხვ.	პირველი ხერხემლიანები: უყბოთა, შემდეგ თევზების გაჩენა. პსილოფიტების, გვიმრისებური მცენარეების განვითარება
	ორდოვიკული	60	480	ზღვის აუზების ძლიერ გავრცელება	ზღვის ფაუნის: უხერხემლო ცხოველების — ღრუბლების, მარჯნების, ჭიების, მხართფეხიანების, ხავსცხოველების, ტრილობიტების გამრავლება. ხავსების, შვიტების და გვიმრების გაჩენა
	კამბრიული	90	570		
პროტეროზოური			1900	ხმელეთზე ლავების გრანდიოზული ამოფრქვევა და მთათწარმოშობის პროცესების მიმდინარეობა	პირველი ცხოველების (უხერხემლოების): რადიოლარიების, ღრუბლების, მხართფეხიანების, კიბომორიელების გაჩენა. ჭიების გაქვავებული ნაშთები, წყალმცენარეები.
არქაული			3500		მიკროსკოპული მცენარეული ორგანიზმების: ბაქტერიებისა და ერთუჯრედიანი ცხოველების გაჩენა





დედამიწის წიაღის გამოკვლევა

გეოლოგიური მეცნიერების ისტორიიდან

სამთოელები — პირველი გეოლოგები

ადამიანები უძველესი დროიდან იღებდნენ დედამიწის შრეებიდან სასარგებლო ნამარხებს (ქვის საუკუნეში იარაღების დასამზადებლად კაჟს იყენებდნენ). მოგვიანებით კი დაიწყეს სპილენძისა და კალის მადნების დამუშავება. ამ მადნებიდან ადნობდნენ ბრინჯაოს, ხოლო ბრინჯაოსაგან ამზადებდნენ ცულებს, დანის პირებს, აგრეთვე შუბებისა და ისრების ბუნიკებს.

შუა საუკუნეებში სამთო წარმოება უკვე განვითარდა ევროპაში, ინდოეთში, ჩინეთსა და სხვა ქვეყნებში. დასავლეთ ევროპასა და რუსეთში საკმაო რაოდენობით ამუშავებდნენ სხვადასხვა მეტალების, ქვამარილისა და მინერალური საღებავების მადნებს.

სამთოელებს ღრმა შახტები და მიწისქვეშა დერეფნები გაჰყავდათ. შახტებში მუშაობისას ადამიანებისათვის ცხადი გახდა, რომ ქვიშაქვა, კირქვა და ფიქლები შრეებადაა განლაგებული, მათ შორის

კი გვხვდება სხვადასხვა სასარგებლო ნამარხების— პურჭლეულის დასამზადებელი თეთრი თიხისა და სხვათა მადნები. ხანდახან ამ შრეებს კვეთს სპილენძის, თუთიისა და ტყვიის მადნის ძარღვები, ხან კი დედამიწის ზოგიერთ შრეში ზღვის ნიჟარები გვხვდება.

ასე ეცნობოდნენ დედამიწის ქერქის აგებულებას მადნის ძიებისა და დამუშავების პროცესში. მაგრამ არავის შეეძლო იმის თქმა, როგორ წარმოიშვა ქანები და საიდან გაჩნდა ამ ქანების შემადგენლობაში ზღვის ნიჟარები.

გეოლოგიის აღმოცენება

ჯერ კიდევ ცნობილი იტალიელი მხატვარი, ინჟინერი და „ბრძენი ბუნების“ მკვლევარი ლეონარდო და ვინჩი (1452—1519) მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ შორეულ წარსულში დედამიწის ზედაპირი ცვლილებებს განიცდიდა. როცა არხების გაყვანისას მხატვარი გაქვავებულ ნიჟარებს წააწყდა, მიხვდა, რომ ხმელეთი, რომელზეც ნიჟარები ნახა, ოდესღაც უკანდახეული, უძველესი ზღვის ფსკერი იყო, ხოლო ნიჟარები ამ ზღვის ბინადარ მოლუსკებს ეკუთვნოდა.

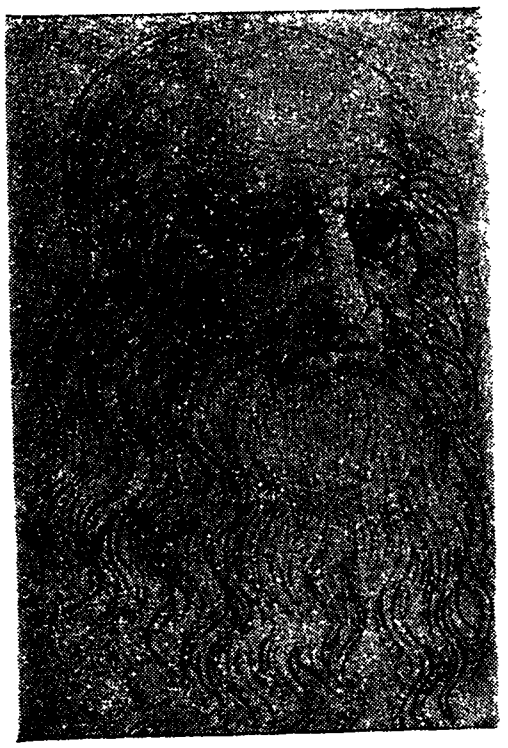
მაგრამ ლეონარდოს მოსაზრება ეწინააღმდეგებოდა იმდროინდელ მეცნიერთა შეხედულებებსა და სამღვდელოების ინტერესებს. მისი მოწინააღმდეგენი დაბეჯითებით გაიძახოდნენ: — დედამიწის ზედაპირი უცვლელად დარჩა სამყაროს „შექმნის“ დღიდან, რაზეც ძველებრაულ წიგნში — ბიბლიაშია მოთხრობილიო. ისინი არხებში ნაპოვნ ნიჟარებს „ბუნების ოინს“ მიაწერდნენ, ანდა ამტკიცებდნენ, რომ ნიჟარები დედამიწის შრეებში „ვარსკვლავთ ნათების“ გავლენისაგან გაჩნდა. დედამიწის შრეებში ნაპოვნი გაქვავებული ნიჟარების წარმოშობაზე ლეონარდოს მხოლოდ რამდენიმე თანამედროვე, მაგალითად, ვერონელი ექიმი ფრაკასტორო მსჯელობდა საღად. დაახლოებით XVII ს. შუა წლებში დედამიწის ქერქის აგებულების კვლევის შედეგად ლეონარდო და ვინჩის მოსაზრება დადასტურდა.

სამასი წლის წინ დანიელი ნილს სტენო (1638 — 1686) შეეცადა ამოეხსნა დედამიწის შრეთა წარმოშობის საიდუმლოება. იგი იტალიის მთებში მოგზაურობდა და გულმოდგინედ სწავლობდა დედამიწის შრეების გაშიშვლებებს. როცა გაქვავებულ ნიჟარებსა და თევზების ძვლებს პოულობდა, იმაზეც ფიქრობდა, საიდან უნდა მოხვედრილიყვნენ ისინი ხმელეთზე. სტენომ ეს საკითხი სწორად გადაჭრა: მისი აზრით, ამ ადგილებში ოდესღაც უნდა ყოფილიყო ზღვა, რომლის ფსკერზეც ზღვის ცხოველთა ნარჩენებთან ერთად ქანები ილექებოდა. მოგვიანებით კი, როცა ზღვამ უკან დაიხია, ფსკერი დაშრა და ხმელეთად იქცა.

მაგრამ ზღვის ფსკერზე ნალექი ჰორიზონტალურად ლაგდება, ქანების შრეები კი დაფერდებულია. რით უნდა ახსნილიყო ეს მოვლენა?

სტენომ გადაწყვიტა, რომ ჰორიზონტალური შრეები მიწისქვეშა ორთქლმა ან ცეცხლმა ამოსწია, ანდა ჩანაქცევებმა დააფერდა. იგი უკვე არჩევდა დანალექსა და გაცივებული ლავისაგან წარმოქმნილ ქანებს.

თავისი დაკვირვებებისა და დასკვნების საფუძველზე სტენომ დაწერა თხზულება, მაგრამ თხზულება მალე მიივიწყეს. სტენოს თანამედროვეებს არაფრით არ შეეძლოთ იმის წარმოდგენა, რომ დედამიწის ზედაპირი ოდესმე ასეთ ცვლილებებს განიცდიდა. მათი აზრით, მთები და ზღვები არასოდეს შეცვლილა და მუდამ იმ ადგილებში იყო, სადაც დღეს ვხედავთ. საჭირო გახდა კიდევ უამრავი დაკვირვების ჩატარება, რომ ადამიანები დარწმუნებულიყვნენ დედამიწის ზედაპირის სახეცვლილებაში. ასე წარმოიშვა გეოლოგია — მეცნიერება



ლეონარდო და ვინჩი.

დედამიწის, ან უფრო სწორად, დედამიწის ქერქის შესახებ.

უფრო გვიან დედამიწის ქერქის შესწავლას სხვა ქვეყნის მეცნიერებმაც მოჰკიდეს ხელი. XVIII ს. პირველ ნახევარში რუსეთში მუშაობას



მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვი.

შეუდგა რუსული გეოლოგიის ფუძემდებელი, გენიალური რუსი მეცნიერი მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვი (1711 — 1765).

ახალგაზრდობაში ლომონოსოვი ბევრ მაღაროს გაეცნო გერმანიაში და დედამიწის ქერქის ჭრილისა და ქანების ნიმუშების შესწავლის საფუძველზე დიდი გეოლოგიური ცოდნა შეიძინა. სამშობლოში დაბრუნების შემდეგ სამთო საქმით გატაცებულმა ლომონოსოვმა გულმოდგინედ დაიწყო იმ მადნებისა და მინერალების ნიმუშების შესწავლა, რომლებსაც რუსეთის ყველა კუთხიდან უგზავნიდნენ. დაგროვილი გეოლოგიური ცოდნა მან გადმოგვცა თხზულებაში „მიწის შრეთა შესახებ“.

ლომონოსოვი დაინტერესებული იყო მატერიკების წარმოშობის საკითხით. იგი ფიქრობდა, რომ დედამიწის ქერქის ზოგიერთი ნაწილი ნელ-ნელა აღზევდა და მატერიკები წარმოიქმნა, დანარჩენები კი თანდათან ძირს დაეშვა, ზედ ატმოსფერული ნალექები დაგროვდა და გაჩნდა ოკეანეები.

მაგრამ, რა ძალები სწევდა დედამიწის ქერქის უბნებს ზოგს მაღლა, ზოგს დაბლა? ლომონოსოვი ამ მოვლენებს მიიჩნევდა, როგორც დედამიწის შინაგან ძალთა მოქმედების შედეგს. იგი წერდა, რომ „ესოდენი სიმძიმის ამწევი ძალა არაფერს შეიძლება მიეწეროს დედამიწის წიაღში გამეფებული მხურვალების გარდა“.

ლომონოსოვი ამასთან ერთად არც ბუნების გარეგანი ძალების — ქარის, მიმდინარე წყლებისა და ტემპერატურის ცვლის ზეგავლენას გამორიცხავდა. „ცნობილია, — წერდა იგი, — რაოდენ იცვლება ზაფხულობით ჩვენში, რუსეთში, დიდი მდინარეები... მთელი ქვეყნიერების მემაღაროენი ვერ გადათხრიან იმდენ მიწას, საუკუნის მანძილზე ვერ ჩამოანგრევენ იმდენ ქვას, რამდენსაც გაზაფხულის ერთ დღეში ანგრევენ რუსეთის უბადლო წყალთა ყინულნი და გაშმაგებული ჩქერები“.

დიდი რუსი მეცნიერის ყველა ეს მოსაზრება იმდენად სწორი გამოდგა, რომ მას თანამედროვე მეცნიერებაც ეთანხმება. მაგრამ ვიდრე ლომონოსოვის დასკვნებს აღიარებდნენ, გეოლოგები კიდევ დიდხანს მერყეობდნენ, დედამიწის ზედაპირის ცვლილებებს ხან შინაგან ძალებს მიაწერდნენ და ხან გარეგანს.

გეოლოგების კამათი

XVIII ს. ბოლოს დასავლეთ ევროპაში სახელი გაითქვა გერმანელმა მეცნიერმა, მინერალებისა და ქანების მცოდნემ ვერნერმა (1750 — 1817). მან კარგად შეისწავლა საქსონიის ქანების განლაგება და გამოთქვა აზრი, რომ ისინი ზღვის წყლის დანალექების ხარჯზეა წარმოქმნილი. მაგრამ ვერნერმა დიდი შეცდომა დაუშვა, რადგან მისი აზრით ასე წარმოიშვა არა მარტო ქვიშაქვა, კირქვა და ფიქლები, არამედ სხვა ქანებიც.

ვერნერი ფიქრობდა, რომ წარსულში დედამიწის სფეროს მთელი ზედაპირი დაფარული იყო წყლით, რომელიც უმაღლეს მთათა მწვერვალებსაც კი ფარავდა. ამ „მსოფლიო“ ოკეანის წყლებიდან ჯერ „ქიმიური დანალექები“ გამოიყოფოდა გრანიტის, ბაზალტისა და სხვა კრისტალური ქა-

ნების სახით. მოგვიანებით, როცა ხმელეთი წარმოიქმნა, ღელეებსა და მდინარეებს წყალში ჩაჰქონდა ქვიშა და თიხა, რომლებიც კრისტალურ ქანებს ფარავდა. დიდი დაწოლით კი ქვიშა და თიხა ქვიშაქვისა და ფიქლის შრეებად იქცეოდა. მდინარეების ჩამონარეცხის ზედა ფენები ყველაზე ახალგაზრდაა და ამიტომაც არის უცვლელი.

კრისტალური ქანები არაფრით არ ჰგავს წყლის დანალექს, მაგრამ ვერნერი მაინც ჯიუტად ამტკიცებდა, რომ ისინი ზღვის წყლის ხსნარებიდანაა წარმოშობილი.

ვერნერი საქსონიაში ცხოვრობდა, სხვა ქვეყნებში არასოდეს არ ყოფილა, მაგრამ ეჭვი არ ეპარებოდა, რომ ქანები ყველგან ერთნაირად იყო განლაგებული: ზევიდან ქვიშა და თიხა, უფრო ღრმად — ქვიშაქვა და ფიქლები, მათ ქვევით კი — კრისტალური ქანები. პროფესორი ვერნერი თავისი ნაჭევრმეტყველებით აჯადოებდა მსმენელებს და ბევრი მიმდევარიც („ნეპტუნისტები")[1] ჰყავდა, რომელთაც სჯეროდათ, რომ გრანიტები და ბაზალტები მართლაც პირველყოფილი ოკეანის „ქიმიური დანალექები" იყო. მაგრამ ეს მოსაზრება მალე უარყვეს შოტლანდიელი ქიმიკოსის გეტონის დაკვირვებების საფუძველზე.

ჯემს გეტონი (1726 — 1797) ახალგაზრდობაში მედიცინას სწავლობდა, შემდეგ ექიმის პროფესია აღარ მოეწონა და ქიმიას მოჰკიდა ხელი. იგი შოტლანდიის დედაქალაქ ედინბურგის მახლობლად დასახლდა ფერმაში, სადაც მინერალური სასუქების გამოყენების შესწავლას შეუდგა. ამასთან ერთად ქანების გაშიშვლებებსაც აკვირდებოდა და ბევრს ფიქრობდა მათ წარმოშობაზე.

ვერნერისაგან განსხვავებით, გეტონს მიაჩნდა, რომ ქანები ყველგან ერთნაირად არ უნდა ყოფილიყო განლაგებული. იგი მარტო ედინბურგის მიდამოებით არ შემოიფარგლა და მთელი ინგლისი და ჩრდილოეთ საფრანგეთი მოიარა. ამ ქვეყნებში მან ნახა დედამიწის ზედაპირზე გაწოლილი ბაზალტის მკვრივი შრეები, რომლებიც არაფრით არ წააგავდა შრეებრივ ქვიშაქვასა და კირქვას. ამიტომაც დაებადა აზრი, რომ ეს ქანები სულ სხვაგვარი წარმოშობისა იყო.

როგორც ყურადღებიანმა დამკვირვებელმა, გეტონმა შენიშნა, რომ ბაზალტთან შეხების დროს კირქვების აგებულება იცვლება და მარმარილოს მსგავსი ხდება. რით უნდა ახსნილიყო ეს მოვლენა? გეტონის ვარაუდით, ბაზალტი გაცივებული ცეცხლოვან-თხიერი ნადნობისაგან წარმოიშვა. ამიტომ მათთან შეხებისას გახურებისა და შრეების დიდი დაწოლის გავლენით, კირქვებმა მარმარილოსებური ქანების სახე მიიღო. მაგრამ თუ ასეა, კირქვამ ბაზალტის მსგავს სხვა კრისტალურ ქანებთან, მაგალითად, გრანიტთან შეხების დროსაც ასეთივე ცვლილებები უნდა განიცადოს. გეტონმაც დაიწყო ისეთი გრანიტის ძარღვის ძებნა, რომელიც კირქვის შრენარს კვეთდა. იგი დიდხანს დადიოდა შოტლანდიის მთებში, ვიდრე არ შენიშნა, რომ გრანიტთან შეხებისას კირქვა მართლაც მარმარილოდ ქცეულიყო.

ასე დაამტკიცა გეტონმა, რომ არა მარტო ბაზალტი, არამედ გრანიტიცა და სხვა კრისტალური ქანებიც ვულკანიდან ამონთხეული ლავის მსგავსი ცეცხლოვან-თხიერი ნადნობის გაცივების შედეგად იყო წარმოშობილი. თავისი დაკვირვებების მიხედვით გეტონმა დაწერა თხზულება „დედამიწის თეორია", რომელმაც დიდად გაუთქვა სახელი. გეტონის მოძღვრებამ პლუტონიზმის[1] სახელწოდება მიიღო.

ვერნერის მიმდევრების აზრით, ვულკანების მოქმედება დიდად არ ცვლიდა დედამიწის ქერქს. ისინი მტკიცედ იცავდნენ მოსაზრებას ყველა ქანის ნალექოვანი წარმოშობის შესახებ. მაშინ ქანების წარმოშობის საკითხზე ორი სხვადასხვა, ურთიერთსაწინააღმდეგო აზრის დამცველი მხარე შეეჯახა ერთმანეთს. შემდგომმა დაკვირვებებმა დაადასტურეს, რომ გეტონი და მისი მიმდევრები მართალნი იყვნენ, როცა ამტკიცებდნენ, კრისტალური ქანები მადნის ნადნობიდანაა წარმოშობილიო.

რუს მეცნიერებს ამ კამათში დიდი მონაწილეობა არ მიუღიათ. ისინი მ. ლომონოსოვის დროიდანვე სწორად ხსნიდნენ ქანების წარმოშობის საკითხს.

---

[1] ზღვების ძველი რომაული ღმერთის ნეპტუნის სახელის მიხედვით.

[1] მიწისქვეშა სამეფოს ძველბერძნული ღმერთის პლუტონის სახელის მიხედვით.

დანალექი ქანების ასაკის დადგენა

XVIII ს. დაბეჯითებით ჯერ კიდევ არავინ დაფიქრებულა ქანების „ასაკზე“. მხოლოდ მიაჩნდათ, რომ რაც უფრო ღრმად იდო შრე, მით უფრო ძველი იყო იგი.

მაგრამ, როგორ შეედარებინათ ერთმანეთთან სხვადასხვა ადგილების შრეების ასაკი, არავინ არ იცოდა. ეს რთული ამოცანა გადაწყვიტა ინგლისელმა მიწისმზომელმა უილიამ სმიტმა (1769 — 1839). სმიტს ოცი წლის განმავლობაში გაჰყავდა არხები ინგლისის სხვადასხვა ადგილებში. მუშაობის დროს იგი ხშირად პოულობდა ქვიშაქვის, ფიქლებისა და თიხების შრეებში გაქვავებულ ნიჟარებს. როცა ყურადღებით შეისწავლა ეს გაქვავებული ნიჟარები, შენიშნა, რომ ერთმანეთისაგან დაშორებულ ადგილებში ერთნაირი ნამარხები იყო, ერთი და იმავე ადგილის სხვადასხვა სიღრმეზე კი — სხვადასხვა მოლუსკების ნიჟარები. დიდი ხნის დაკვირვებისა და გაქვავებული ნიჟარების საფუძვლიანი შესწავლის შემდეგ სმიტმა დაასკვნა, რომ შრეების შეფარდებითი ასაკის დადგენა მათში შემონახული გაქვავებული ნაშთების მიხედვით შეიძლება და, თუ სხვადასხვა ადგილის ორ შრეში ერთნაირი, ე. წ. „სახელმძღვანელო“ ნამარხები გვხვდება, ეს იმას ნიშნავს, რომ შრეები ერთსა და იმავე დროსაა დალექილი. აი, რას წერს ამის შესახებ სმიტი:

„შრეები თანმიმდევრობით ილექებოდა ზღვის ფსკერზე და თითოეული მათგანი შეიცავს იმ ორგანიზმების ნარჩენებს, რომლებიც ამ შრეების წარმოქმნის დროს ცხოვრობდნენ. თითოეულ შრეში მისთვის დამახასიათებელი ნამარხები შეინიშნება და გარკვეულ შემთხვევებში სწორედ მათი შემწეობით შეიძლება სხვადასხვა ადგილის ქანების წარმოქმნის ერთდროულობის დადგენაც“.

ასე დააყენა ახალ გზაზე გეოლოგიური მეცნიერება მიწისმზომელი სმიტის მრავალწლიანმა დაკვირვებებმა.

სმიტის აღმოჩენამ აღაფრთოვანა გეოლოგები. ისინი მაშინვე შეუდგნენ დედამიწის ქერქის შემადგენელ ზღვისა და მტკნარი წყლების დანალექთა შესწავლას. ქანების შეფარდებით ასაკს ამავე ქანებში შემონახული უძველესი მოლუსკების გაქვავებული ნიჟარებისა და უძველეს ცხოველთა ნარჩენების მიხედვით აზუსტებდნენ. შრეებში ნაპოვნი ნიჟარებისა და ძვლების საშუალებით გეოლოგებს უკვე შეეძლოთ დანალექი შრის მთელი შრენარის დაყოფა დედამიწაზე სიცოცხლის სხვადასხვა პერიოდების მიხედვით.

პირველად მეცნიერებმა დედამიწის ქერქში შრეების ჯგუფები — სისტემები — გამოჰყვეს (დაწყებული ზევიდან, ე. ი. ყველაზე ახალგაზრდა დანა-



ჯემს გეტონი.

ლექებიდან): მეოთხეული, მესამეული, ცარცული, იურული და ტრიასული (მაშინ მათ სხვა სახელწოდებები ჰქონდათ). ამ დანალექების ქვეშ განლაგებულია ქანების შრენარი, რომელიც ბევრ ქვეყანაში ქვანახშირის შრეებთანაა დაკავშირებული. მას ქვანახშირის სისტემა ეწოდა.

უფრო ძველი დანალექები ჯერ კიდევ არ იყო დაყოფილი. ეს ამოცანა ინგლისელმა მეცნიერებმა მურჩისონმა და სეჯვიკმა გადაჭრეს. მათ ქვანახშირის სისტემის ქვეშ მოქცეული დანალექები სამ ჯგუფად: დევონურ, სილურულ და კამბრიულ ჯგუფებად დაჰყვეს.

40-იან წლებში შემოიღეს გეოლოგიური დროის მცნება. დროის იმ შუალედს, რომლის განმავლობაშიც ამა თუ იმ სისტემის შრეები დაილექა, პ ე რ ი ო დ ი ეწოდა.

შესაძლებელი გახდა ქანების დალექვის როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური თანმიმდევრობის კანონზომიერების დადგენაც. წარ-

მოიშვა სტრატიგრაფია, ანუ მოძღვრება შრეების განლაგების რიგის შესახებ. როცა იმ ბუნებრივი პირობების განსაზღვრაც ისწავლეს, როდესაც დანალექი ქანების შრეები ილექებოდა, გაჩნდა ახალი მეცნიერება — ისტორიული გეოლოგია. ამ მეცნიერების მიზანია, აღადგინოს იმ ცვლილებათა ისტორია, რომლებიც დედამიწის ზედაპირის ამა თუ იმ უბანმა განიცადა. მაგალითად, გეოლოგებმა დაამტკიცეს, რომ თანამედროვე ხმელეთი შორეულ წარსულში მრავალჯერ დაფარულა წყლით, რომელშიც უხვად იყო ჩვენთვის უცნობი თევზები და ზღვის ცხოველები.

მეცნიერება გადაშენებულ ორგანიზმთა შესახებ

რომელმა მოლუსკებმა დატოვეს თავიანთი ნიჟარები დედამიწის შრეებში? რომელი თევზები დაცურავდნენ დიდი ხნის წინ გამქრალ ზღვებში? რომელი ცხოველები დაეხეტებოდნენ უხსოვარი გეოლოგიური წარსულის პირველყოფილ ტყეებში? პირველი, ვინც ამ კითხვებზე პასუხის გაცემა სცადა, იყო ფრანგი ბუნებისმეტყველი ჟორჟ კიუვე (1769 — 1832).

დედამიწის შრეებში ნანახი განამარხებული ძვლებით დაინტერესებულმა კიუვემ მათი შეგროვება დაიწყო პარიზის მახლობლად თაბაშირის კარიერებში. ძვლებს შორის მან, უპირველეს ყოვლისა, რომელიღაც განამარხებული სქელკანიანის კბილები ამოარჩია. კბილების მოყვანილობის მიხედვით კიუვემ დაასკვნა, რომ ისინი ეკუთვნოდნენ ორ სხვადასხვა სახეობას. ერთ-ერთი ცხოველის ცხვირის ძვლები იმას მოწმობდა, რომ მისი თავი მოკლე ხორთუმით ბოლოვდებოდა. ამ ცხოველს კიუვემ „პალეოთერი“ დაარქვა. მეორე სქელკანიან ცხოველს კბილების ერთიანი რიგი ჰქონდა შუალედების გარეშე, ისევე, როგორც ადამიანს. ამ ცხოველის თავს, რომელსაც კიუვემ „ანოპლოთერი“ უწოდა, უხორთუმო, წაგრძელებული მოყვანილობა ჰქონდა. ისეთი ნიჭიერი მკვლევარისათვის, როგორიც კიუვე იყო, დიდ სიძნელეს არ წარმოადგენდა კბილების მიხედვით თითოეული ცხოველის თავის ქალის მოყვანილობის დადგენა. ამის შემდეგ ძვლის რამდენიმე ნამსხვრევის მიხედვით კიუვემ დააზუსტა, რომ პალეოთერს ფეხებზე სამ-სამი თითი ჰქონდა. ხოლო ორთითიანი კიდურები, მისი აზრით, ანოპლოთერს ეკუთვნოდა. როცა აღადგინეს თავის ქალა და კიდურები, საჭირო იყო ხერხემლის მალებისა და ნეკნების პოვნა და ორივე ცხოველის ჩონჩხი სრული იქნებოდა.

პარიზის მიდამოებში კიუვემ პალეოთერის შვიდი სხვადასხვა სახეობა იპოვა: ერთი ცხენის ტოლი იყო, სამი — ღორის ოდენა და ერთმანეთისაგან მხოლოდ ტერფის მოყვანილობით განსხვავდებოდნენ. ანოპლოთერებიც რამდენიმე სახისა აღმოჩნდა: ვირის ოდენა, ღორის ოდენა და ყველაზე მომცროები — ბაჭიების ოდენა.

კიუვეს აღმოჩენამ მეცნიერთა ყურადღება გადაშენებულ ცხოველთა გაქვავებულ ნაშთებს მიაპყრო. დედამიწის ქერქის შრეებში იპოვეს უზარმაზარი ხვლიკების ნაშთები. ამ ხვლიკების ერთი ნაწილი უკანა ფეხებზე შემდგარი შეექცეოდა მაღალი ხეების ფოთლებს. სხვები მიწაზე დადიოდნენ და ბალახით იკვებებოდნენ. ხვლიკებს შორის მტაცებლებიც ერია.

როცა დედამიწის ჰავა გაცივდა, თითქმის ყველა ხვლიკი გადაშენდა. ისინი შეცვალა უფრო სრულყოფილმა ორგანიზმებმა — ფრინველებმა და ძუძუმწოვრებმა. გაჩნდნენ სქელკანიანები, მაგალითად, მასტოდონტები, რომლებიც ხეების ფოთლებით იკვებებოდნენ.

როგორც ჩანს, კიუვესა და სხვა მეცნიერთა მიერ ნაპოვნი ცხოველთა ძვლები ტბებში მოხვდა და იქ დაიფარა შლამით, რომელმაც დღემდე შემოინახა ისინი. მაგრამ, რატომ არ იყო მათი ძვლები ზედა შრეებში? სად გაქრა იქაური ცხოველები უმემკვიდრეებოდ?

ეს კითხვა წამოიჭრა მკვლევარების წინაშე, როცა ხმელეთის ცხოველების ძვლების შემცველი შრეების ზევით ნიჟარებისა და თევზების ძვლების შემცველი შრეები იპოვეს.

კიუვე ამას ხსნიდა ხმელეთზე ზღვის უეცარი მოვარდნით, რის დროსაც ხმელეთის ყველა ცხოველი იღუპებოდა. მისი აზრით, სწორედ ასეთი კატასტროფები იყო დედამიწის ზედაპირზე მიმდინარე ყველა ცვლილების მიზეზი.

მაგრამ აღმოჩნდნენ მეცნიერები, რომლებიც არ დაეთანხმნენ კიუვეს აზრს. გეოლოგებს შორის გაცხოველებული კამათი მიმდინარეობდა დედამიწის ზედაპირის შემცვლელი პროცესების შესახებ.

კატასტროფები თუ განუწყვეტელი განვითარება?

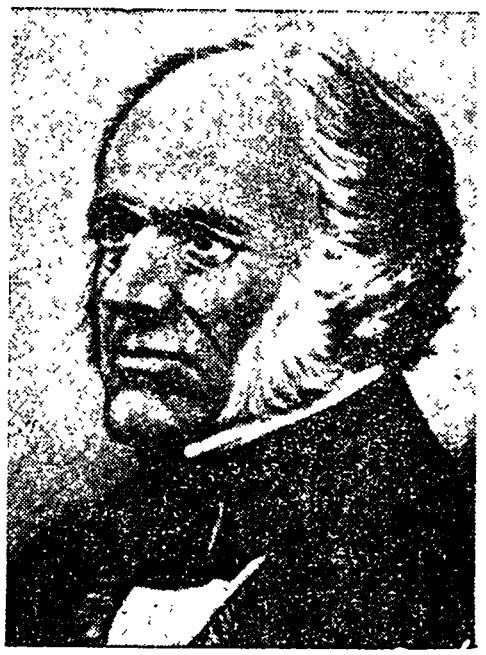
გასული საუკუნის დასაწყისში მოძღვრებას დედამიწის ქერქის აგებულების სახეშემცვლელ კატასტროფებზე ბევრი მიმდევარი ჰყავდა. გეოლოგებს ჯერ კიდევ არ ჰქონდათ წარმოდგენა დროის იმ უზარმაზარ პერიოდებზე, რომელთა განმავლობაშიც დედამიწის ქერქი და ორგანული სამყარო ყალიბდებოდა. მაგალითად, ვულკანური ქანების დაშრევებას ისინი ერთ კატასტროფულ ამოფრქვევას მიაწერდნენ.

ვულკანური კატასტროფების აშკარა მომხრე იყო ვერნერის მოწაფე, გეოლოგი ლეოპოლდ ფონ ბუხი (1774 — 1853). პირველად იგი დიდის გატაცებით ეძებდა ფაქტებს, რომლებიც დაადასტურებდა ვერნერის მოძღვრებას კრისტალური ქანების ზღვის დანალექებიდან წარმოშობის შესახებ. ამისათვის გაემგზავრა იტალიაში, სადაც მაშინვე იპოვა ვულკანური ამოფრქვევების შედეგად წარმოშობილი უამრავი ქანი. ვერნერი ვულკანების ამოფრქვევას მიწის ქვეშ ქვანახშირის შრეებში გაჩენილი ხანძრის შედეგად მიიჩნევდა. ამიტომ ბუხი დაჟინებით ეძებდა ქვანახშირს ვეზუვის რაიონში, მაგრამ ამაოდ. ცენტრალურ საფრანგეთში მან გამოიკვლია ჩამქრალი ვულკანები, რომლებიც უშუალოდ გრანიტზე იყო წარმოქმნილი. ვინაიდან ქვანახშირი ყოველთვის დანალექ ქანებს შორისაა მოქცეული, რა თქმა უნდა, იგი არც ამ რაიონში აღმოჩნდა. ამ მარცხმა ბუხი ცოტა არ იყოს დააეჭვა ვერნერის მოძღვრების სამართლიანობაში.

თუ წინათ ბუხი ვერნერის თაყვანისმცემელი იყო, ახლა მისი აშკარა მოწინააღმდეგე გახდა და ავითარებდა იდეას, რომლის მიხედვით დედამიწის ზედაპირის კატასტროფული ცვლილებები ვულკანური ამოფრქვევების დროს მიმდინარეობდა.

მთების წარმოშობას ბუხი მიაწერდა ვულკანურ ძალებს, რომლებიც დედამიწის ქერქს მაღლა სწევდნენ და ისიც სწორ ნაკეცებად იბურცებოდა ზევით. მისი აზრით, დროის ძალიან მოკლე მონაკვეთში ზევით ამოდიოდა ხოლმე ვულკანების გრძელგრძელი მწკრივები და ირგვლივ აფრქვევდა უზარმაზარი რაოდენობის ლავას, ფერფლსა და ქვებს. ვულკანის ფერდობზე დაშვებისას გამლღვალი ქვის მასები ანაოჭებდნენ დედამიწის დანალექ ქანებს, რომლებსაც თვითონ ეხებოდნენ. გამძვინვარებული ვულკანური მოქმედების შუალედებში დგებოდა მშვიდი პერიოდები. სწორედ ერთ-ერთი ასეთი პერიოდია ჩვენი ეპოქაც.

კატასტროფების ჰიპოთეზას ყველა გეოლოგი როდი ემხრობოდა. ზოგიერთი მათგანი, მაგალითად, მ. ლომონოსოვი ფიქრობდა, რომ ჩვენს დროში საკმაოდ ბევრი მოქმედი ბუნების ძალაა, რომელსაც შეუძლია მთების დანგრევა, ზღვების ამოშრობა და პლანეტის სახის შეცვლა. პირველი, ვინც ამ იდეებს ავითარებდა, იყო ინგლისელი გეოლოგი



ჩარლზ ლაიელი.

ჩარლზ ლაიელი (1797 — 1875). იგი ყურადღებით სწავლობდა ჩვენს დროში მიმდინარე ქანების ნგრევას ჰაერის, ნესტისა და ტემპერატურის ცვლის გავლენით, აკვირდებოდა, როგორ გადაჰქონდა ნგრევის პროდუქტები მიმდინარე წყლებს, როგორ ილექებოდა ეს პროდუქტები დიდრონი წყალსაცავების ფსკერზე და ამტკიცებდა, რომ დედამიწის შრეები შეიძლებოდა ისეთივე ინტენსივობის გეოლოგიურ ძალთა მოქმედების შედეგად წარმოშობილიყო, როგორიც დღესაა. ამდენად, არ არის აუცილებელი დედამიწის ისტორიაში რაღაც კატასტროფების ძიებაო. ლაიელი გულმოდგინედ ატარებდა გამოკვლევებს და, როგორი სიძნელეც არ უნდა შეხვედროდა, მაინც დაწვრილებით ერკვეოდა თითოეულ გეოლოგიურ მოვლენაში.

ბოლოს, როცა საკმაოდ დაგროვდა დაკვირვებების მონაცემები, ლაიელმა დაიწყო წიგნის — „გეოლოგიის ძირითადი საწყისების“ — წერა, რომელმაც ახალ გზაზე დააყენა მეცნიერება დედამი-

წის შესახებ. მაგრამ წიგნზე მუშაობისას შენიშნა, რომ ბევრი რამ ჯერჯერობით მისთვისაც გაუგებარი იყო. ამიტომ მუშაობა შეწყვიტა და საფრანგეთში, იტალიასა და სიცილიაში სამოგზაუროდ გაემგზავრა.

დედამიწის ისტორიაში კატასტროფების არსებობის საფუძველზე ორგანული სამყარო მკვეთრად და უეცრად უნდა შეცვლილიყო. ამ ჰიპოთეზის უარსაყოფად ლაიელს უნდა დაემტკიცებინა, რომ ერთი სახის განამარხებული ორგანიზმები თანდათან იცვლებოდა მეორე სახის ორგანიზმებით. იგი აპენინების მთებში გაემგზავრა, რომ ახალგაზრდა დანალექი ქანები შეესწავლა.

იქ ლაიელმა აღმოაჩინა ისეთი შრეები, რომლებშიც არა მარტო გადაშენებული, არამედ თანამედროვე მოლუსკების ნიჟარებიც იპოვა. ქვედა ფენები მხოლოდ გადაშენებულ ორგანიზმებს შეიცავდა, შუა ფენები — თანამედროვეებსაც, ხოლო სულ ზედა ფენებში თანამედროვე ორგანიზმები უფრო მეტი იყო, ვიდრე გადაშენებული. ასე დაამტკიცა ლაიელმა, რომ ცოცხალ არსებათა ცვლა არც ისე ადრინდელ გეოლოგიურ პერიოდში მიმდინარეობდა და არც უეცარი კატასტროფების შედეგად, არამედ თანდათანობით.

ვულკან ეტნას მიდამოებში ვულკანური დანალექების შესწავლისას ლაიელმა აღმოაჩინა, რომ ისტორიული დროის განმავლობაში წარმოშობილი ვულკანური ფერფლის დაშრევების შრენარი მაინცდამაინც დიდი არ იყო. ხოლო ეტნას მიდამოების ვულკანური დაშრევების შრენარი უზარმაზარი იყო. ეს კი იმას მოწმობდა, რომ ისინი დროის დიდ შუალედებში გროვდებოდა. ამასთან, ლაიელის აზრით, ვულკან ეტნას მოქმედების ინტენსივობა შორეულ წარსულშიც ისეთივე იყო, როგორიც დღეს არის.

ლეოპოლდ ფონ ბუხს მიაჩნდა, რომ ვულკანები ქვევიდან დაწოლის შედეგად წარმოიშვებოდა, რაც დედამიწის ფენებს მაღლა სწევდა. ლაიელმა უარყო გამოჩენილი გეოლოგის ეს ჰიპოთეზა. როცა საფრანგეთსა და იტალიაში ვულკანებს აკვირდებოდა, მან შეისწავლა რგოლისმაგვარი ზვინულები, რომლებიც მოქმედი ვულკანების კრატერებს ერტყა გარს. აღმოჩნდა, რომ ზვინულები დანალექი ქანების მაღლა ამოწეული შრეებისაგან კი არა, მორიგეობით განლაგებული ვულკანური ფერფლისა და ქვიშისაგან შედგებოდა. მაშასადამე, ისინი არ



ჩარლზ დარვინი

იყვნენ ქვევიდან დაწოლის შედეგად ამობურცული, როგორც ბუხი ვარაუდობდა.

იტალიაში დაბრუნებული ლაიელი საბოლოოდ დარწმუნდა, რომ დედამიწის ქერქის აგებულებას კატასტროფები კი არ ცვლიდა, არამედ ისეთი ძალები, რომლებიც ჩვენს დროშიც მოქმედებენ. „უძველესი დროიდან დღემდე, — წერდა იგი, — არ უმოქმედია არავითარ სხვა მიზეზს იმათ გარდა, რომლებიც დღესაც მოქმედებენ; ამასთან მათი მოქმედება ყოველთვის ისეთივე ენერგიით ვლინდებოდა, როგორითაც დღეს ვლინდება“.

როცა ლაიელის წიგნი გამოიცა, მან უდიდესი შთაბეჭდილება მოახდინა მეცნიერებზე. ახალგაზრდა გეოლოგები და ინჟინრები მაშინვე ლაიელს მიემხრნენ და მისი მოსაზრებებით დაიწყეს ხელმძღვანელობა. ძველი თაობის გეოლოგები დიდხანს არ ეთანხმებოდნენ ლაიელს, მაგრამ რამდენიმე წლის შემდეგ ისინიც იძულებული გახდნენ ფარ-ხმალი დაეყარათ.

გეოლოგიაში გაიმარჯვა მოძღვრებამ იმის შესახებ, რომ გეოლოგიურ წარსულში ბუნების ისეთი ძალები მოქმედებდნენ, რომლებიც თავიანთი ინტენსივობით არაფრით არ აღემატებოდნენ ამჟამად მოქმედ ძალებს. ამ მოძღვრებამ **აქტუალიზმის** სახელწოდება მიიღო. აქტუალიზმის იდეა გენიალური ინგლისელი მეცნიერის **ჩარლზ დარვინის** (1809 — 1882) გამოკვლევებმაც დაადასტურა.

დარვინმა ორგანული სამყაროს განვითარების შესახებ შექმნა მოძღვრება, რომელიც მოცემულ პირობებთან ყველაზე მეტად შეგუებულ მცენარეთა და ცხოველთა სახეების ბუნებრივ შერჩევაზე იყო დაფუძნებული. სხვადასხვა ქვეყნის ფლორისა და ფაუნის შესწავლისას დარვინი დარწმუნდა, რომ ზოგი ორგანიზმი ეგუება ცხოვრების ამა თუ იმ პირობებს, ზოგი კი, რომელსაც ამის უნარი არ შესწევს, იღუპება. შეგუების შედეგად ვითარდება ესა თუ ის ორგანოები და ერთი სახის ორგანიზმები მეორე სახის ორგანიზმებად იქცევა (იხ. ს ე, ტ. 4).

მცენარეთა და ცხოველთა სახეცვლილება ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მიმდინარეობს. ამიტომ ლაიელის მსგავსად ჩ. დარვინიც აქტუალიზმის მომხრე იყო. იგი ამტკიცებდა, რომ გეოლოგიური პერიოდები დროის უზარმაზარ შუალედებს მოიცავდა, რადგან მხოლოდ ამ პირობებში შეიძლებოდა ასეთი მდიდარი და მრავალფეროვანი ორგანული სამყარო განვითარებულიყო.

უძველესი ადამიანები

ლაიელს ადამიანის წარმოშობის საკითხიც აინტერესებდა.

უკვე დიდი ხნის წინათ მამონტის ძვლებთან ერთად მკვლევარები კაჟის უცნაურ ნატეხებსაც პოულობდნენ, რომელთათვისაც თითქოს ხელოვნურად შემოემტვრიათ ერთი ბოლო წასამახვილებლად. ზოგიერთების აზრით, ეს ქვები ისტორიამდელ ადამიანთა ცულები უნდა ყოფილიყო. მაგრამ მეცნიერთა უმრავლესობა არ იზიარებდა ამ შეხედულებას. კაჟის მსგავს ნამტვრევებს ლაიელმაც მიაქცია ყურადღება. უძველესი ადამიანის კვალის ძებნაში მან მოიარა საფრანგეთი, გერმანია, იტალია და დაწერა თავის დროზე საკმაოდ გახმაურებული წიგნი „ადამიანის უძველესობის შესახებ“. ამის შემდეგ უძველესი ადამიანის ძვლებისა და იარაღების ძებნასა და გამოკვლევას სხვა მეცნიერებიც შეუდგნენ. დედამიწის ყველაზე ზედა ფენების კვლევისას პირველყოფილი ადამიანის ქვის იარაღებთან ერთად ისინი გარეული ცხენების, მამონტებისა და სხვა ცხოველების ძვლებსაც პოულობდნენ. პირველად ასეთი რამ ნახა ფრანგმა ჟაკ ბუშე დე პერტმა გასული საუკუნის ბუა წლებში, როცა მდ. სომის ნალექებს იკვლევდა. ბევრისათვის დაუჯერებელი იყო, რომ ბუშეს მიერ აღმოჩენილი იარაღი მამონტის დროინდელ ადამიანს ეკუთვნოდა. მამონტები ხომ ჩვ. წ.-მდე 25 ათასი წლის წინათ ამოწყდნენ. ბუშეს მოსაზრებები სამყაროს შექმნის შესახებ ეწინააღმდეგებოდა ბიბლიურ ლეგენდას, ამიტომ ზოგი მეცნიერი მოითხოვდა მისი შრომების დაწვას.

გაყინვარების ეპოქები

ჯერ კიდევ ლაიელის სიცოცხლეში იყო დამტკიცებული, რომ ჩვენთვის ცნობილი ბუნების ძალები შორეულ წარსულშიც მოქმედებდნენ და უფრო ინტენსიურადაც, ვიდრე ამჟამად. მაგალითად, დაკვირვებებმა ცხადჰყო, რომ თვალუწვდენელი სივრცეები, რომლებიც ახლა ტყეებითა და მინდვრებითაა დაფარული, არცთუ ისე შორეულ წარსულში უზარმაზარი სისქის ყინულქვეშ იყო მოქცეული. ამჟამად მთის ყინვარებს დედამიწის ზედაპირის მცირე ნაწილი უჭირავს. მაგრამ გეოლოგიურ წარსულში მათ თვალსაჩინო როლი შეასრულეს ევროპის ჩრდილოეთი ნაწილის, აზიისა და ამერიკის ზედაპირის ცვლილებაში.

ყველაზე პირველად მთელი რიგი მბარეების ზედაპირის გაყინვარება ალპური მთის ყინვარების მკვლევარებმა შენიშნეს, რომლებმაც აღმოაჩინეს, რომ მთის ყინვარები ოდესღაც უფრო დაბლა ეშვებოდა. უძველეს ყინვართაგან დარჩენილ კვალს ქვის ზვინულის ან დიდრონი რიყის ქვების სახე აქვს.

გასული საუკუნის პირველი ნახევრის დასასრულს შვეიცარიელი გეოლოგი ჟან ლუი რუდოლფ აგასისი (1807—1873) შოტლანდიაში გაემგზავრა უძველეს გაყინვარებათა შესასწავლად. იქ მან უძველეს ყინვართა უამრავი კვალი იპოვა. ეს იყო რიყის ქვები და ქვებთან არეული არაფენოვანი თიხის საფარები.

შოტლანდიაში მოგზაურობის შემდეგ აგასისი დარწმუნდა, რომ შედარებით ახლო წარსულში ყინვარებით დედამიწის ზედაპირის გაცილებით უფრო დიდი ნაწილი იყო დაფარული, ვიდრე ჩვენს დროში.

ლაიელი არ იზიარებდა შვეიცარიელ მეცნიერთა შეხედულებებს. იგი შეცდომით ფიქრობდა, რომ ეს ნაპოვნი რიყის ქვები უძველეს ზღვებში

მცურავი ყინულოვანი მთების — აისბერგების — მიერ იყო მოტანილი.

ლაიელისა და მისი თანამოაზრეების შეხედულებით ვარაუდი უძველეს ყინვართა არსებობაზე კატასტროფების თეორიებთან დაბრუნებას ნიშნავდა.

მაგრამ სხვადასხვა ქვეყნების გეოლოგთა მიერ ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადასტურდა, რომ ევროპის მთელი ჩრდილო-აღმოსავლეთი და აზიისა და ჩრდილოეთ ამერიკის ჩრდილოეთი ნაწილები ოდესღაც მთლიანად ყინულებით იყო დაფარული.

წარსულში გაყინვარების ეპოქების არსებობა დაადასტურა რუსი გეოგრაფის პ. კ რ ო პ ო ტ კ ი ნ ი ს (1842 — 1921) გამოკვლევებმაც. გასული საუკუნის 60-იან წლებში კროპოტკინმა რამდენჯერმე იმოგზაურა ციმბირში. პატომის მაღალ ზეგანზე მას ბევრგან შეხვდა რიყის ქვის ნაყარი, რამაც იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ ქვები ყინვარების მიერ იყო მოტანილი. კროპოტკინის ამ დასკვნას გულცივად შეხვდა გეოლოგთა უმრავლესობა — ლაიელის მომხრენი, მაგრამ იგი მაინც თავის იდეას იცავდა. ჯერ ფინეთში გაემგზავრა, შემდეგ შვეციაში და იქ შეისწავლა უძველეს გაყინვარებათა ნარჩენები. მოგზაურობიდან დაბრუნების შემდეგ კროპოტკინმა დაწერა დიდი ნაშრომი „გაყინვარების პერიოდის გამოკვლევა“, რომელიც 1867 წ. გამოქვეყნდა.

კროპოტკინის მიერ შვეციაში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა დიდი ინტერესი გაუღვიძა შვედ მეცნიერებს უძველეს გაყინვარებათა შესწავლის საკითხისადმი. ერთმა მათგანმა, რომელმაც გერმანიის ყინვარული დანალექები შეისწავლა, განავითარა კროპოტკინის იდეა ჩრდილოეთ ევროპის უძველესი გაყინვარების შესახებ. შემდგომმა გამოკვლევებმა კი სავსებით დაადასტურეს ახალგაზრდა რუსი მეცნიერის მოსაზრებები.

ამჟამად ცნობილია, რომ დედამიწის გეოლოგიური სიცოცხლის განმავლობაში გაყინვარების რამდენიმე ეპოქა არსებობდა და მთელი ქვეყნები ერთიანი ყინულის ფენით იყო დაფარული.

ჰავის თანდათანობით გათბობასთან ერთად ყინულოვანი საფარი უკან-უკან იხევდა, გათავისუფლებული მიწა მცენარეულობით იფარებოდა, ტყეებსა და ველებში კი ისევ ცხოველები სახლდებოდნენ.

მთებისა და მატერიკების აღზევება

ლეოპოლდ ფონ ბუხის მიმდევარ გეოლოგებს მიაჩნდათ, რომ მთები მიწისქვეშა დაწოლის, დედამიწის ქერქის ამობურცვის შედეგადაა ამოწეული. მაგრამ ამავე დროს ვერაფრით ვერ აეხსნათ ზოგიერთი მთიანი ქვეყნის აგებულების თავისებურება. მაგალითად, რატომ შემორკალავენ ალპების ქედები ბოჰემიის მთებს?

მთების წარმოშობა მხოლოდ გეოლოგმა ე. ზ ი უ ს მ ა (1831 — 1914) ახსნა სწორად. მან ალპებში მთების აგებულება შეისწავლა და დაამტკიცა, რომ მთის ნაკეცები არასიმეტრიულია: მისი ერთი ფრთა ყოველთვის უფრო ციცაბოა, ვიდრე მეორე. მსგავსი ნაკეცები არა ქვევიდან ზევით, არაწედ გვერდიდან, ჰორიზონტალური დაწოლისას შეიძლებოდა წარმოშობილიყო. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ ხელისგულებით მოვუცვლით ადგილს მაგიდაზე გაფენილ მაუდს.

ქედების წარმოშობის ასეთი თეორია ნათელს ჰფენს კითხვას, რატომ შემორკალავს ახალგაზრდა ალპების მთები უძველეს ბოჰემიის მასივს.

მაგრამ, როგორ წარმოიქმნა ის ძალები, რომლებიც დედამიწის ქერქს ნაკეცების, მთების სახეს აძლევს?

ზიუსის შემდეგ მეცნიერები ნაკეცების წარმოშობას გაცივების პროცესში მყოფი დედამიწის შემჭიდროებით ხსნიდნენ. ცნობილია, რომ უკვე 3 კმ სიღრმეზე ქანები 100°-მდეა გახურებული, ხოლო მეტ სიღრმეზე — უფრო მეტად. თანდათანობითი გაცივებისას დედამიწის სფერო უნდა შემჭიდროებულიყო, ხოლო დედამიწის ქერქი უნდა დაჭმუჭნილიყო, როგორც დამჭკნარი ვაშლის კანი.

ალპების წარმოშობასა და აგებულებაზე დაწერილმა თხზულებამ საქვეყნოდ გაუთქვა სახელი ზიუსს. მას ბევრი ქვეყნის გეოლოგი უზიარებდა თავისი დაკვირვებების შედეგებს. ზიუსმა გამოიყენა ეს შედეგები და შეუდგა თავისი სახელგანთქმული ნაშრომის „დედამიწის სახის“ შექმნას. ამ ნაშრომში ზიუსმა განაზოგადა ცნობები დედამიწის შესახებ და თანმიმდევრობით აღწერა ცვლილებები, რომლებიც ჩვენმა პლანეტამ დედამიწის ქერქის სხვადასხვა ნაწილების აწევ-დაწევის შედეგად განიცადა.

ზიუსი ერთმანეთს ადარებდა და უპირისპირებდა სხვადასხვა ქვეყნების გეოლოგიური აგებულების სხვადასხვა მონაცემებს და ამტკიცებდა, რომ თანამედროვე მატერიკები უფრო ძველი, გრანდიოზული მატერიკების ნამტვრევებია. მაგალითად, სამხრეთ ამერიკისა და სამხრეთ აფრიკის, არაბეთისა და ინდოსტანის დიდი ნაწილი, ზიუსის აზრით, მხოლოდ უზარმაზარი, უძველესი კონტინენტის „გონდვანის“ ნარჩენებია, რომლის მნიშვნელოვანი ხაწილი ატლანტისა და ინდოეთის ოკეანეების წყლებითაა დაფარული.

მართალია, ზიუსის ეს დასკვნები საბოლოოდ არ არის დამტკიცებული, მაგრამ დაკვირვებები ბაინც იმას ადასტურებს, რომ დედამიწის ქერქის ზოგიერთი უბანი თანდათანობით ზევით მიიწევს, ზოგიერთი კი — ქვევით. მაგალითად, მეცნიერებმა ჯერ კიდევ XVIII ს. დასაწყისში შენიშნეს, რომ ნორვეგიის ფიორდების ნაკეცები თანდათან მაღლა იწევს. ამას ამტკიცებს ზღვის ტერასები, რომლებიც ციცაბო ნაპირებში ზვირთცემისაგანაა წარმოშობილი. უძველესი ზღვის ტერასები უკვე 170 მ სიმაღლეზეა ამოწეული ზღვის დონიდან, ყველაზე ახალგაზრდები კი 5 მ. როგორც ჩანს, სკანდინავიის ნახევარკუნძულის დასავლეთი ნაწილი ხან მაღლა იწევს, ხან კი უძრავ მდგომარეობაშია. ვიდრე ნაპირი უმოძრაოდაა, ზღვის ტალღები ჭრიან ტერასებს, რომლებიც შემდეგ ზღვის დონეზე მაღლა ადიან. შემდგომმა დაკვირვებებმა ცხადჰყვეს, რომ ხმელეთი ყველგან მერყეობს. ევროპის ატლანტის ოკეანის სანაპირო ზოგ ადგილას თანდათან ზევით მიიწევს, ზოგან კი დაბლა ეშვება. აფრიკის დასავლეთ სანაპიროს ნელ-ნელა ფარავს წყალი. ამიტომ მდ. კონგოს კალაპოტი თანამედროვე ნაპირიდან კარგა შორს გასდევს ოკეანის ფსკერს.

დედამიწის ქერქის ასეთი „საუკუნოვანი“ რყევა ხან ზღვაში ძირავს ხმელეთის უზარმაზარ სივრცეებს, ხან კი მაღლა სწევს ზღვის ფსკერს და ხმელეთად აქცევს მას. ხმელეთის აღზევებასთანაა დაკავშირებული მთიანი ქედების წარმოშობაც.

მთების აგებულების შესწავლისას გეოლოგები იმ დასკვნამდე მივიდნენ, რომ მთიანი ქედები დანალექთა უზარმაზარი შრენარებისგანაა აგებული. ამასთან ზოგან დანალექები ერთგვაროვანია. ეს მოვლენა შეიძლება ზღვის ფსკერის ჩაღუნვით აიხსნას, თანაც იმ პირობით, რომ მისი დაბლა დაშვების სიჩქარე ზუსტად უნდა შეესაბამებოდეს დანალექთა შრენარის დაგროვების სიჩქარეს. ზღვის ფსკერი რომ დანალექების დაგროვებაზე უფრო სწრაფად ეშვებოდეს ქვევით, მაშინ ზღვის სიღრმე სულ უფრო და უფრო გაიზრდებოდა, ვიდრე ზღვა ღრმა არ გახდებოდა. ამასთან ერთად დანალექთა ერთგვაროვნებაც დაირღვეოდა. მაგრამ ნალექებიც ზღვის ფსკერის დაბლა დაშვებაზე სწრაფად რომ გროვდებოდეს, ზღვის სიღრმე თანდათან დაიკლებდა და დალექვაც შეწყდებოდა.

პირველად ამ გარემოებას ამერიკელმა გეოლოგმა ჯემს ჰოლმა (1811 — 1898) მიაქცია ყურადღება. მან სცადა წყალმარჩხ ადგილთა დანალექების დიდი შრენარის დაგროვება აეხსნა ზღვის დონის დაწევით, რაც ამ დანალექთა სიმძიმეს უნდა გამოეწვია. ჯ. ჰოლი შეცდომით ფიქრობდა, რომ ზღვის დონე იმდენად ეშვება დაბლა, რამდენადაც დანალექთა ფენის შრენარი იმატებს.

უფრო მოგვიანებით (1873) მეორე ამერიკელმა გეოლოგმა ჯემს დანამ (1813 — 1895) დედამიწის ქერქის ჩაღუნულ ადგილებს, რომლებიც წყალმარჩხი ზღვების ფსკერს წარმოადგენს, გეოსინკლინები უწოდა. მისი აზრით, გეოსინკლინები მხოლოდ ოკეანეთა კიდეებზეა განლაგებული და ამიტომაც არის იქ მხოლოდ და მხოლოდ სანაპირო ნალექები დალექილი, ხოლო ძირს დაშვების ზონა ოკეანისაგან არცთუ ისე მაღალი ზვინულითაა გამოყოფილი.

ჩვენი საუკუნის დასაწყისში მთათწარმოშობის თეორია განავრცო ფრანგმა გეოლოგმა ემილ ოგმა (1861 — 1927). მისი ნაშრომი გეოტექტონიკის[1] განვითარების ახალი ეტაპი გახდა. ოგი მიუთითებდა, რომ დედამიწის სფეროს ყველაზე მაღალი მთები — ჰიმალაები — შეესატყვისება ფართო გეოსინკლინს, სადაც დანალექები ვეებერთელა სისქეს აღწევს. ეს დანალექები არ არის სანაპირო ხასიათის. ჰიმალაის გეოსინკლინს სამხრეთიდან ყოველთვის საზღვრავდა მყარი უბანი — ინდოეთის ნახევარკუნძული — უზარმაზარი, უძველესი კონტინენტის ნარჩენი.

ე. ოგმა უფრო გააფართოვა გეოსინკლინების ცნება და ბევრი მაგალითი მოგვცა იმისა, რომ დე-

[1] გეოტექტონიკა — მეცნიერება დედამიწის ქერქის ძირითად სტრუქტურათა და მისი ფენების განლაგების დარღვეკის შესახებ.

დამიწის ქერქის ჩაღრმავებები, რომლებიც ქედების „აკვანი“ იყო, მასიურ ლოდებს შორისაა მოქცეული. ცენტრალური ევროპის მთები ჩრდილოეთ ევროპის უფრო ძველ მთებსა და აფრიკის უძველეს კონტინენტს შორის მდებარეობს. ამერიკის შეერთებულ შტატებში აპალაჩის მთები იმ გეოსინკლინის ადგილზე წარმოიშვა, რომელიც სამხრეთ-აღმოსავლეთისა და ჩრდილო-დასავლეთის მხრიდან უძველესი მასივებითაა შემოსაზღვრული. ოგის აზრით, გეოსინკლინები, რომლებიც წყნარ ოკეანეს აკრავს (და რომელთა ადგილზეც ამერიკისა და კამჩატკის დასავლეთ სანაპიროს მთები და კურილის კუნძულების ძეწკვი ამოიმართა) და აღმოსავლეთ აზიის სანაპიროს დანაოჭება არ წარმოადგენს ზოგადი კანონის დამადასტურებელ მაგალითს და უფრო გამონაკლისია.

გეოლოგების უმრავლესობის აზრით, გეოსინკლინებში გროვდება შრენარი დანალექებისა, რომლებიც დიდ სიღრმეზე ჩაძირვისას ხურდება, იბურცება და ნაკეცების სახეს იღებს. მთათწარმოშობის პროცესში დანალექთა ფენები იბზარება, სკდება, ადგილს იცვლის, შიგ იჭრება ცხელი გაზები და ცეცხლოვან-თხიერი მაგმა, რომელიც ცვლის ირგვლივ განლაგებულ ქანებს. ნაპრალებში გაცივებული მაგმა კი გრანიტისა და სხვა კრისტალური ქანების ძარღვებს ქმნის.

გეოლოგია რევოლუციამდელ რუსეთში

ურალსა და ალტაიზე უძველესი დროიდან მუშაობდნენ რუსი მაღაროელები — „მადნისმცნობნი“ და „მადნისმძებნელნი“, რომლებიც რკინისა და სპილენძის მადანს, ფერად ქვებსა და სხვა სასარგებლო ნამარხს იღებდნენ. მათი დაკვირვებები მ. ლომონოსოვმა განაზოგადა და საფუძველი ჩაუყარა რუსეთში გეოლოგიის განვითარებას. სწორედ ამით აიხსნება რუსი გეოლოგების მიღწევები XIX ს. როგორც დასაწყისში, აგრეთვე მთელ პირველ ნახევარში. მაშინდელი რუსი გეოლოგები არც უკიდურესი „ნეპტუნისტები“ იყვნენ და არც კატასტროფისტები, მათ გვერდი აუარეს დასავლეთ ევროპის მეცნიერთა ყველა შეცდომას.

XIX ს. აუცილებელი გახდა სამთო წარმოება, რის გამოც დაიწყო საძიებო-სადაზვერვო პარტიების გაგზავნა ურალსა და ალტაიზე, ნერჩინსკის ოლქში (აღმოსავლეთ ციმბირი), კავკასიაში, დონის აუზში და რუსეთის სხვა რაიონებში. გეოლოგიურ კვლევას სამთო ოფიცრები (1867 წლიდან კი — სამთო ინჟინრები) ატარებდნენ, რომლებსაც სამთო დეპარტამენტი გზავნიდა.

XIX ს. დასაწყისში, რუსეთთან საქართველოს შეერთების შემდეგ, დიდი გეოლოგიური სამუშაოები ჩაატარა კავკასიაში ქართულმა ექსპედიციამ, რომლის ორგანიზატორიც ა. მუსინ-პუშკინი იყო. ამ ექსპედიციამ აღმოაჩინა სპილენძის, რკინისა და სხვა სასარგებლო ნამარხთა საბადოები. ამას გარდა, გეოლოგებმა დაადგინეს კავკასიონის ქედის აღზევების ძირითადი ეტაპები. ქართული ექსპედიციის მუშაობის გამგრძელებლებმა ნ. ვოსკობოინიკოვმა და ს. გურევმა იპოვეს და აღწერეს სპილენძის, ტყვიის, რკინის, ვერცხლისა და ნავთობის ბევრი საბადო, აგრეთვე მინერალური წყაროები კავკასიონის ქედის ჩრდილოეთ მთისწინეთსა და ტამანის ნახევარკუნძულზე. გეოლოგებმა დაამტკიცეს, რომ კავკასიონის ქედი ყირიმის მთების გაგრძელებაა და რომ ორივე ეს მთიანი სისტემა ერთსა და იმავე გეოლოგიურ მხარეს მიეკუთვნება.

ორთქლის მანქანის გავრცელება და რუსეთის რკინიგზების სულ უფრო მზარდი ქსელი დიდი რაოდენობის სათბობს მოითხოვდა. დონის აუზში ქვანახშირის მადნის არსებობა ჯერ კიდევ XVIII ს. დასაწყისში იყო ცნობილი. ახლა კი საჭირო გახდა დაწვრილებითი სადაზვერვო სამუშაოების ჩატარება, რაც გეოლოგ ე. კოვალევსკის (1790 ან 1792 — 1867) დაეკისრა.

გამოკვლევებმა დიდად გაუთქვა სახელი კოვალევსკის. ამიტომ, როცა ეგვიპტის ხელისუფლებამ თავიანთი ქვეყნის გეოლოგიური გამოკვლევა გადაწყვიტეს, ამ სამუშაოების ჩასატარებლად ე. კოვალევსკი მიიწვიეს.

რუსეთის ევროპულ ნაწილში (ვოლგისპირეთში, დასავლეთ ურალისპირეთში, ჩრდილოეთ, შუა და სამხრეთ ურალში) მრავალრიცხოვანმა გეოლოგიურმა ძიებამ და დაზვერვამ ბევრი მასალა მისცა გეოლოგებს, რომ უკეთ შეესწავლათ კავკასიონის მთებიდან ჩრდილოეთ ყინულოვან ოკეანემდე და კარპატებიდან ურალამდე გადაჭიმული რუსეთის

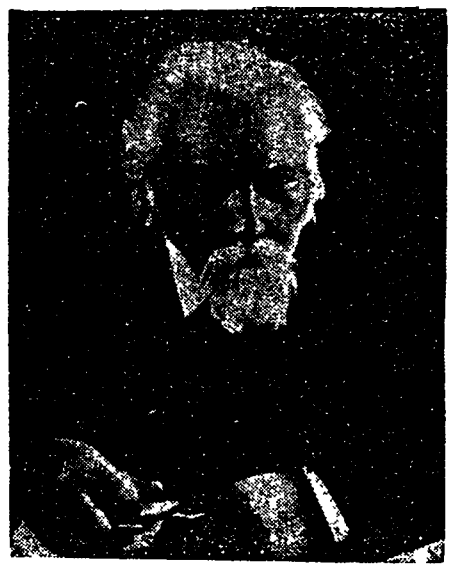
ველის გეოლოგიური აგებულება. მათი საშუალებით უფრო გაადვილდა მადნის საბადოების წარმოშობის პროცესში ჩაწვდომა.

მაგალითად, ჯერ კიდევ 1826 წ. გეოლოგმა დ. სოკოლოვმა დაამტკიცა, რომ ურალის ოქროს ქვიშრობები ოქროსშემცველი ძაღლვების დაშლის შედეგად იყო წარმოშობილი. დასავლეთ ევროპის გეოლოგები — „ნეპტუნისტები“—კი არასწორად ამტკიცებდნენ, რომ ოქროს მარცვლები ან შორიდან იყო მოტანილი ურალზე წყლის მძლავრი ნაკადებით, ანდა ოკეანის წყლებიდან დაილექა. რუს სამთო ინჟინერ-გეოლოგებს კიდევ ბევრი სხვა ამის მსგავსი ცრუ და სპეკულაციური ჰიპოთეზის უარყოფა მოუხდათ, რადგან თვითონ სასარგებლო ნამარხების ძიებისას დედამიწის ქერქის შესწავლის მასალებს ეყრდნობოდნენ. რუსი გეოლოგები დამოუკიდებლად მივიდნენ აქტუალიზმის იდეამდე. იგივე მეცნიერი დ. სოკოლოვი, რომელიც ჯერ კიდევ არ იცნობდა ლაიელის მოძღვრებას, თავის გეოლოგიის სახელმძღვანელოში წერდა, რომ ჰაერი და წყალი ის ძალაა, რომლითაც „ბუნება ახლაც მოქმედებს და შორეულ წარსულშიც მოქმედებდა“. იგი ამტკიცებდა, რომ ზღვის დანალექები იმავე წესით ლაგდებოდა, როგორც დღეს ლაგდება. თავდაპირველად ყველა ფენას ჰორიზონტალური მდგომარეობა ჰქონდა, და თუ ახლა დაფერდებულ შრეებს ვხვდებით, ეს იმას ნიშნავს, რომ მათი განლაგება უფრო მოგვიანებით შეცვალა რაღაც ძალამ.

რუსეთის ველის გეოლოგიურ შესწავლაში მონაწილეობდა აგრეთვე ინგლისელი გეოლოგი რ. მურჩისონი, რომელმაც ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე ევროპული რუსეთის ერთ-ერთი პირველი გეოლოგიური რუკა შეადგინა.

დედამიწის ქერქის შესწავლისას გეოლოგები ადგენენ განსაკუთრებულ რუკებს. ასეთი რუკის საფუძველს წარმოადგენს ჩვეულებრივი ტოპოგრაფიული რუკა, რომელზეც აღნიშნულია მდინარეები, ტბები, აგრეთვე ბორცვები, მთები და დაბლობები (ჰორიზონტალების დახმარებით). რუკაზე სხვადასხვა პირობითი ნიშნებითა და შტრიხებით ან ფერებით აღნიშნავენ ზედაპირზე გამოსული ან ნიადაგის ქვეშ მოქცეული ქანების გავრცელებას. ასეთ რუკას პეტროგრაფიული რუკა ეწოდება (პეტროგრაფია არის მეცნიერება ქანების შესახებ). რუსეთში პირველი პეტროგრაფიული რუკა ნერჩინსკის მხარისათვის XVIII ს. შეადგინეს დოროთე ლებედევმა და მიხეილ ივანოვმა. მას შემდეგ, რაც გეოლოგებმა დანალექი ქანების შეფარდებითი ასაკის განსაზღვრა ისწავლეს (იხ. გვ. 64 — 65), გეოლოგიური რუკებიც გაჩნდა. ამ რუკებზე ნაჩვენებია ზედაპირზე გამოსული ქანების გავრცელება და მითითებულია მათი შედარებითი ასაკი.

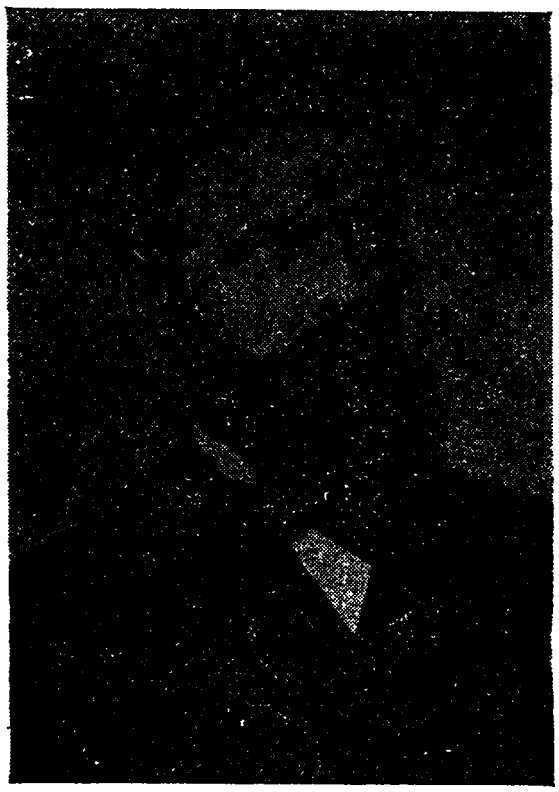
ადრე შედგენილი გეოლოგიური რუკები XIX ს. შუა წლებისათვის უკვე მოძველებული იყო. მოწინავე რუსი გეოლოგები დაჟინებით მოითხოვდნენ გეოლოგიური კომიტეტის შექმნას, რომელიც გეოლოგიურ აგეგმვასა და რუსეთის დეტალური გეოლოგიური რუკის შედგენას შეუდგებოდა.



ალექსანდრე პეტრეს ძე კარპინსკი.

1882 წ. შეიქმნა გეოლოგიური კომიტეტი, მაგრამ უსახსრობის გამო გეოლოგიური აგეგმვის ჩატარება ჩვენი ქვეყნის მხოლოდ ერთ მეათედ ნაწილზე მოხერხდა. 1885 წ. გეოლოგიური კომიტეტის დირექტორად აირჩიეს გამოჩენილი გეოლოგი ა. კარპინსკი (1847 — 1936). გეოლოგიურმა კომიტეტმა დიდად შეუწყო ხელი რუსეთში გეოლოგიის განვითარებას. რუსმა გეოლოგებმა ბევრი ახალი მასალა შემატეს მოძღვრებას დედამიწის ქერქის აგებულებისა და მოძრაობის შესახებ, აგრეთვე მადნების საბადოების წარმოშობასა და სხვა გეოლოგიურ მოვლენებს.

გასული საუკუნის მეორე ნახევარში ა. კარპინსკიმ მსოფლიო სახელი მოიხვეჭა. რუსეთის ველის შესწავლისას მან დაამტკიცა, რომ გეოლოგიურ წარსულში ამ ველზე ზღვები „მოგზაურობდნენ“ და ხან ერთ ნაწილს ფარავდნენ და ხან მე-



ალექსი პეტრეს ძე პავლოვი.

ორეს. ზღვის განმეორებით შემოტევებს ხმელეთზე იგი დედამიწის ქერქის ჩაღრმავებებს მიაწერდა. როცა რუსეთის ველი ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ ან დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ იღუნებოდა, დადაბლებული ადგილები ოკეანის წყლით იფარებოდა და ჩნდებოდა ზღვები. სწორედ ასეთი ზღვების ფსკერზე გროვდებოდა ნალექები და რუსეთის ველის ქვიშაქვის, კირქვისა და ფიქლების უზარმაზარ შრენარებს ქმნიდა. ჩაღუნვის მორიგეობა ხან კავკასიონისა და ხან ურალის ქედის აღზევების გამო ხდებოდა. როცა ერთი მათგანი ზევით იწევდა, ჩნდებოდა მისი პარალელური ჩანაღუნი, რომელსაც ათეული წლების შემდეგ მისი პერპენდიკულარული ჩანაღუნი ცვლიდა. თავისი გამოკვლევების საფუძველზე კარპინსკიმ იმ უძველესი ზღვების რუკები შეადგინა, რომლებიც რუსეთის ველის ხან ერთსა და ხან მეორე ნაწილს ფარავდა.

ასე წარმოიშვა ახალი მეცნიერება — შორეულ გეოლოგიურ პერიოდთა გეოგრაფია — პ ა ლ ე ო გ ე ო გ რ ა ფ ი ა.

ა. კარპინსკი რუსეთის ველის აგებულების ახალ იდეებს აყენებდა. იგი ამტკიცებდა, რომ ამ ველის დანალექი ფენების ქვეშ მყარი კრისტალური (გრანიტოგნეისი) ქანებია განლაგებული. დედამიწის ქერქის მსგავს სტრუქტურებს (შენების ფორმას), რომლებიც დიდი სიმყარით გამოირჩევა და არ იღუნება, გეოლოგებმა მოგვიანებით ბ ა ქ ნ ე ბ ი უწოდეს.

მართლაც, როგორც ა. კარპინსკი ფიქრობდა, რუსეთის ბაქანი ღრმა ნაპრალებითაა დაპობილი ცალკეულ ლოდებად, რომელთაგანაც ზოგი ძირს დაეშვა და ზღვის დანალექთა ვეებერთელა შრენარებით დაიფარა, ზოგი კი ადგილზე დარჩა დანალექთა თხელი ფენით დაფარული. დედამიწის ზედაპირთან ასე ახლოს მყოფი სუბსტრატის ქანების გამოსავლებს უჭირავს ფინეთის, კარელიისა და კოლის ნახევარკუნძულის ტერიტორიები. რუსეთის ველის სამხრეთით—აზოვის ზღვიდან პოდოლიემდე—ასევე კრისტალური ქანებია გადაჭიმული. ა. კარპინსკი ამტკიცებდა, რომ სუბსტრატის ნაწილების აწევ-დაწევა მჭიდროდ იყო დაკავშირებული რუსეთის ველის განაპირას დედამიწის ქერქის მთათწარმოქმნობ მოძრაობებთან. მხოლოდ ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში დარჩა უძრავად კრისტალური მასივი, „რომლის ახლომახლოც, როგორც უძრავი ღერძის ირგვლივ“, ნაპრალებით დაპობილი სუბსტრატის ლოდები მოძრაობდა. ამ ლოდების აწევ-დაწევასთან ერთად მათი მფარავი დანალექი შრენარის მდგომარეობაც იცვლებოდა. ასე წარმოიშვა რუსეთის ველის დანალექ საფარში განიერი, თაღის მსგავსი „ტალღები“ და „ვარცლისებური“ თხრილები.

ა. კარპინსკის შრომები ღირსეულად შეაფასეს რუსეთში. 1889 წ. იგი აკადემიკოსად აირჩიეს, ხოლო 1917 წ. მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტად.

ა. კარპინსკის შესანიშნავი იდეები დაუდეს საფუძვლად საბჭოთა გეოლოგებმა მოძღვრებას დედამიწის ქერქის ძირითადი აგებულების შესახებ. მისი შრომების შეფასებისას საბჭოთა გეოლოგი, აკადემიკოსი ნ. შატსკი წერდა: „კარპინსკის პირველი ადგილი ეკუთვნის არა მარტო რუსეთის გეოლოგიური სამსახურის და საბჭოთა კავშირის ერთერთი უდიდესი და საუკეთესო გეოლოგიური სკოლის შექმნაში, არამედ იგი ჩვენი პირველი თეორეტიკოსი-გეოლოგია, გეოლოგიის უბადლო ოსტატია, რომელმაც დიდი გავლენა მოახდინა გეოლოგიურ მეცნიერებათა განვითარებაზე ჩვენს საზღვრებს გარეთაც“.

ა. კარპინსკიზე ცოტა გვიან დაიწყო მუშაობა მისმა თანამედროვემ, ცნობილმა რუსმა გეოლოგმა, აკადემიკოსმა ა. პ ა ვ ლ ო ვ მ ა (1854 — 1929). პავლოვი უმთავრესად რუსეთის ველის ახალგაზრ-

და გეოლოგიურ დანალექებს სწავლობდა. ამ დროს ჯერ კიდევ გამეფებული იყო შეხედულება, რომ რუსეთის ველის დანალექი საფარი არასოდეს არ დარღვეულა. მაგრამ ვოლგისპირეთის დანალექების შესწავლისას ჟიგულების რაიონში პავლოვი ფენების განლაგების დიდი დარღვევის ნიმუშს წააწყდა, რაც ჩაღრმავებებსა და კრისტალური სუბსტრატის დაბლა დაწევაში გამოიხატებოდა.

ა. პავლოვის გამოკვლევების შედეგად გეოლოგებისათვის ნათელი გახდა, რომ ბაქნები შეიძლება გაიღუნოს, მაგრამ ძალზე დამრეცად და დიდ ფართობზე. სწორედ ამ ჩაღუნვების საფუძველია დანალექი ქანების განლაგების ცოტად თუ ბევრად შესამჩნევი დარღვევა.

ა. პავლოვის შრომებამდე რუსეთის ველის „ახალგაზრდა“ დანალექები ჯერ კიდევ არ იყო შესწავლილი. პავლოვიც ბევრს მუშაობდა რუსეთის ველის მეოთხეული სისტემის დანალექთა შესწავლაზე.

რევოლუციამდელი პერიოდის გამოჩენილი მკვლევარი იყო გეოლოგი ი. მუშკეტოვი (1850 — 1902). იგი წლების განმავლობაში სწავლობდა ტიან-შანისა და კულჯის ქედებსა და განშტოებებს, ტბების: სონ-ყულისა და ისიკ-ყულის მიდამოებს, ფერგანის ველს და ყარა-ყუმის მიდამოებს პამირზე. მუშკეტოვის გამოკვლევების შედეგები მოცემულია მოზრდილ ნაშრომში — „თურქესტანი“, რომელიც 1884 წ. გამოიცა.

დიდი წვლილი შეიტანა ჩვენი ქვეყნის გეოლოგიურ შესწავლაში აკადემიკოსმა ვ. ობრუჩევმა (1863 — 1956). გასული საუკუნის 80-იან წლებში 23 წლის ობრუჩევი უკვე დამოუკიდებლად მუშაობდა უდაბნოთა გეოლოგიურ გამოკვლევაზე.

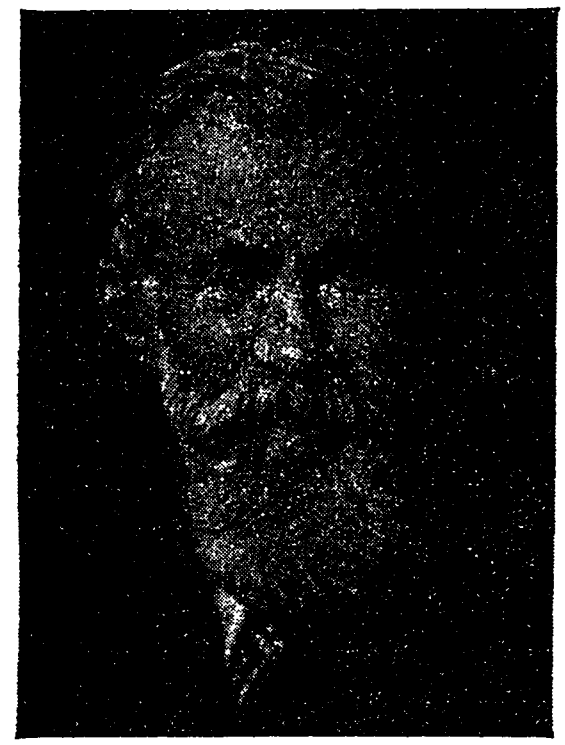
იმ დროს უდაბნოთა წარმოშობა საიდუმლოებით იყო მოცული. ყარა-ყუმის უდაბნოს გადაკვეთისას ობრუჩევმა მიზნად დაისახა გამოერკვია, როგორ წარმოიშვა ეს ქვიშა. მან დაამტკიცა, რომ უდაბნოს ქვიშა წარმოიშვა თიხების გამოფიტვის შედეგად. ამ დანალექთა დაუშლელი ნაწილები დღემდე არის შემონახული ქვიშის ბორცვებს — ბარხანებს — შორის. ახლაც შეიძლება შევამჩნიოთ, როგორ იქცევა ეს ქანი ჰაერისა და ნესტის გავლენით წვრილ ქვიშად და თიხოვან მტვრად.

ამის შემდეგ ვ. ობრუჩევმა გეოლოგიური თვალსაზრისით შეისწავლა ციმბირი და ცენტრალური აზია. 1889 — 1890 წწ. იმოგზაურა კიახტიდან აღმოსავლეთ მონღოლეთის გავლით კალგანსა და პეკინში, შემდეგ გადაიარა მთიანი რაიონები ცენტრალურ მონღოლეთსა და ტიბეტს შორის და კულჯამდე მივიდა.

მთელი ამ გზის დაახლოებით 6 ათასი კმ ისეთ ადგილებზე გადიოდა, სადაც ვ. ობრუჩევამდე არც ერთ ევროპელს არ დაედგა ფეხი. განვლილი 9 ათასი კმ მანძილზე ობრუჩევმა გეოლოგიური აგეგმვა ჩაატარა.

დღიური, რომელსაც ობრუჩევი მთელი მოგზაურობის მანძილზე წერდა, დღემდე წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროს მის მიერ გამოკვლეული მხარეების გეოლოგიურ აგებულებაზე.

ობრუჩევის მიერ ჩატარებული ციმბირის კვლევის შედეგები გამოიყენა ე. ზიუსმა თავის ნაშრომში „დედამიწის სახე“.



ვლადიმერ ათანასეს ძე ობრუჩევი

ციმბირელ გეოლოგთა დაკვირვებების საფუძველზე ვ. ობრუჩევმა შეადგინა ციმბირის გეოლოგიური აგებულების სქემა. ძირითად სტრუქტურად მას მაღალი ზეგანი მიაჩნდა, რომელიც სალაირისა და საიანის მთებიდან სტანოვოის ქედამდეა გაჭიმული. ამ ქედს ე. ზიუსმა „აზიის უძველესი თხემი“ უწოდა. როგორც ვ. ობრუჩევს მიაჩნდა, ზეგანი

თავდაპირველად შორს იყო გაჭიმული ჩრდილოეთითა და ჩრდილო-დასავლეთით, მაგრამ ეს ნაწილი მოგვიანებით ძირს დაეშვა. მხარეს, რომელიც ენისეისა და ლენას შორის იყო მოქცეული და რომელსაც სამხრეთიდან „უძველესი თხემი“ საზღვრავდა, დასავლეთიდან—დასავლეთ ციმბირის დაბლობი, აღმოსავლეთიდან — ნაოჭა მთები, ხოლო ჩრდილო-დასავლეთიდან — ტაიმირის ნახევარკუნძული, ობრუჩევმა შუა ციმბირის ბაქანი უწოდა.

ა. კარპინსკის, ა. პავლოვის, ვ. ობრუჩევის, ი. მუშკეტოვისა და რევოლუციამდელი პერიოდის სხვა გამოჩენილ გეოლოგთა გამოკვლევები საბჭოთა გეოლოგებმა განაგრძეს.

გეოლოგია საბჭოთა კავშირში

დიდი ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ, პარტიისა და მთავრობის ზრუნვისა და საბჭოთა მკვლევართა თავდადებული შრომის შედეგად, გეოლოგიური მუშაობა უდიდესი მიღწევებით აღინიშნა.

1918 წ. გაზაფხულზე ვ. ლენინმა პირადად დასახა სამუშაოთა მეცნიერულ-ტექნიკური გეგმა მეცხიერებათა აკადემიისათვის. ამ გეგმაში დიდი ადგილი ეჭირა ჩვენი ქვეყნის წიაღისეული სიმდიდრის გამოყენებისა და მისი ყოველმხრივი გეოლოგიური გამოკვლევის საკითხს.

ოქტომბრის რევოლუციიდან პირველი ოცი წლის განმავლობაში საბჭოთა გეოლოგებმა საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის 35%-ზე ჩაატარეს გეოლოგიური აგეგმვა. 1945 წლისათვის გეოლოგიური აგეგმვა ფართობის 66%-ზე განხორციელდა, ამჟამად კი იგი უკვე ჩვენი ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზეა ჩატარებული.

რევოლუციის შემდეგ გეოლოგიური კომიტეტი და მისი განყოფილებები ჩვენი ქვეყნის გეოლოგიური აგებულების სისტემატურ შესწავლას შეუდგა. გაიგზავნა ექსპედიციები კოლის ნახევარკუნძულზე, პეჩორის აუზში, პოლარულ ურალზე, ტაიმირის ნახევარკუნძულზე, ტუნგუსკისა და კუზნეცკის აუზებში, მთიან ალტაიში, დასავლეთ და აღმოსავლეთ საიანებში, პამირზე, ყარა-ყუმის უდაბნოში და სხვა ისეთ რაიონებში, სადაც მანამდე არავითარი გეოლოგიური კვლევა-ძიება არ ჩატარებულა.

გეოლოგ ი. გუბკინის (1871 — 1939) ხელმძღვანელობითა და გეოფიზიკოსთა და გეოლოგთა მონაწილეობით ჩატარდა კურსკის მაგნიტური ანომალიის კვლევა, სადაც რკინის მადნის უზარმაზარ საბადოს მიაგნეს.

საბჭოთა გეოლოგების საძიებო-სადაზვერვო სამუშაოების შედეგად აღმოჩენილია მრავალი ისეთ სასარგებლო ნამარხთა საბადო, რომლებსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს სახალხო მეურნეობის განვითარებისათვის. ასეთ საბადოთა რიცხვს ეკუთვნის კალიუმის მარილის უზარმაზარი საბადოები სოლიკამსკისა და ბერეზნიკების რაიონებში მდ. კამაზე.

გერმანელი გეოლოგები ამტკიცებდნენ, რომ წარსულში ევროპაში, გერმანიის გარდა, არსად ყოფილა ისეთი პირობები, რომ სტრასფურტისა და ელზასის საბადოების მსგავსი კალიუმის მარილების უზარმაზარი შრენარები დალექილიყო. ამ აზრს რევოლუციამდელ რუსეთშიც ბრმად იზიარებდნენ.

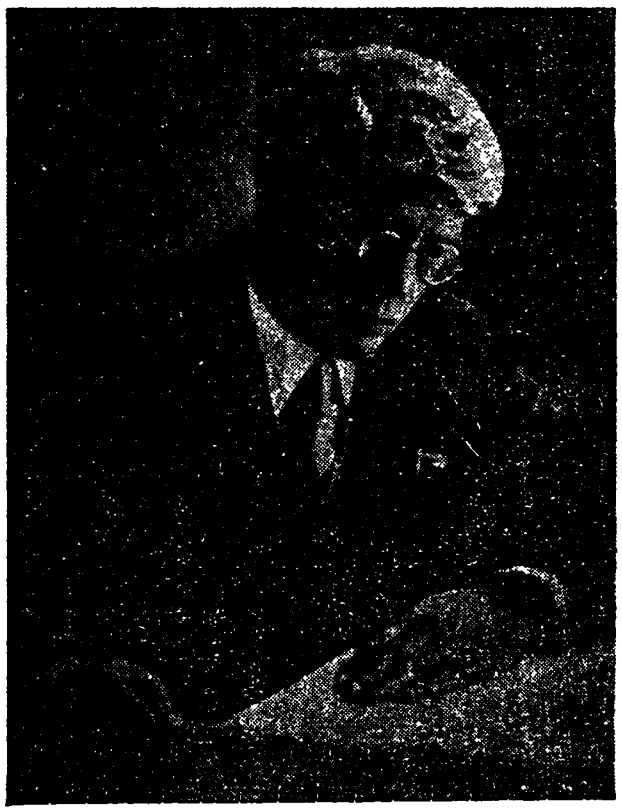
ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ საბჭოთა გეოლოგებმა კალიუმის მარილების ძიებისას სადაზვერვო ჭაბურღილები გაჭრეს სოლიკამსკის რაიონში გეოლოგ პ. პრეობრაჟენსკის (1874—1944) ხელმძღვანელობით. ჭაბურღილებიდან ამოღებული ხსნარები კალიუმის მარილების გარკვეულ რაოდენობას შეიცავდა. მაშინ 1925 წ. დაიწყო ღრმა ბურღვა და 100 — 300 მ სიღრმეზე კალიუმის მარილების მადნის უზარმაზარი შრენარი აღმოჩნდა. უფრო მოგვიანებით ასეთივე საბადო კანის მარცხენა ნაპირზე, ბერეზნიკების რაიონშიც, აღმოაჩინეს.

სოლიკამსკისა და ბერეზნიკების კალიუმის მარილების მადანი რამდენიმეჯერ აღემატება მთელი მსოფლიოს დანარჩენ საბადოთა მარაგს.

საბჭოთა ხელისუფლებამ გადაწყვიტა, ქვანახშირის საბადოები არა მარტო ადრე ცნობილ ქვანახშირის აუზებში ეძებნათ, არამედ ახალ ადგილებშიც. ერთ-ერთი ასეთი ადგილი იყო პეჩორისა და მისი შენაკადის ვორკუტის აუზები. ამ ადგილებში ჯერ კიდევ 1921 წ. დაიწყეს მუშაობა გეოლოგებმა და 30-იანი წლებისათვის ქვანახშირის დიდი მარაგი აღმოაჩინეს.

ვოლგისპირეთში დიდი ხანია ცნობილი იყო ნავთობის ნაკადები — „წყაროები“. რევოლუციამდე აქ ნავთობის მოპოვების ცდებს წარმატება არ მო-

ჰყოლია. მაგრამ გეოლოგი ა. პავლოვი ჯერ კიდევ მაშინ ამბობდა, რომ დედამიწის ქერქის ნაპრალების გასწვრივ, უსოლიედან სტავროპოლზე (ვოლგაზე) გავლით მდ. სოკამდე ხშირად გვხვდება ნავთობის გამოსავლები და ამიტომ საჭიროა მისი უფრო ღრმად ძებნა ქვანახშირისა ან უფრო ადრეული პერიოდის დანალექთა შორის.



ივანე მიხეილის ძე გუბკინი

ა. პავლოვის წინასწარმეტყველება გამართლდა, როცა საბჭოთა მაძიებლებმა გეოლოგ ი. გუბკინის, შემდგომში აკადემიკოსისა და საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ვიცე-პრეზიდენტის, ხელმძღვანელობით დაიწყეს დაზვერვა. როცა ვოლგა-პირეთისა და დასავლეთ ურალისპირეთის აგებულებას უკვე შესწავლილ ნავთობის შემცველ რაიონებს ადარებდა, გუბკინი ფიქრობდა, რომ საჭირო იყო ღრმა ბურღვის დაწყება ურალის დასავლეთ ფერდობებზე.

უდიდესი საბჭოთა გეოლოგის მოსაზრება მალე დადასტურდა: ჩუსოვსკიე გოროდკის რაიონში, სადაც სადაზვერვო ჭაბურღილებს ჭრიდნენ კალიუმის მარილის მოსაძებნად. ნავთობის შაღრივანმა ამოხეთქა, უფრო მოგვიანებით კი იგივე განმეორდა სტერლიტამაკის ჭაბურღილებშიც.

ამის შემდეგ ვოლგასა და ურალს შორის ფართოდ გაიშალა ნავთობის დაზვერვა. აღმოაჩინეს „მეორე ბაქო“, რომელიც ამჟამად ჩვენს ქვეყანაში მოპოვებული მთელი ნავთობის დიდ ნაწილს იძლევა.

საბჭოთა პერიოდის ერთ-ერთმა ცნობილმა გეოლოგმა ა. არხანგელსკიმ (1879 — 1940) განავითარა ა. კარპინსკის იდეები. იგი ამტკიცებდა, რომ რუსეთის ველის სუბსტრატი ღრმა ნაპრალებითაა ლოდებად დაყოფილი. ზოგი ლოდი აწეულია და განაგრძობს აღზევებას, ზოგი კი ძირს არის დაწეული და ღრმა მიწისქვეშა ჩანაქცევებს ქმნის. ამასთან არის დაკავშირებული იმ დანალექი ქანების ჰორიზონტალური მდგომარეობის რღვევა, რომლებიც რუსეთის ბაქანს ფარავს.

ა. არხანგელსკიმ შექმნა ნაშრომი საბჭოთა კავშირის მთელი ტერიტორიის აგებულებისა და მისი გეოლოგიური ისტორიის შესახებ, განავითარა მოძღვრება დედამიწის ქერქის უმთავრეს სტოუქტურებზე — ბაქნებსა და გეოსინკლინურ უბნებზე.

ბაქნებს ა. არსანგელსკი ისეთ გეოლოგიურ უბნებს უწოდებდა, სადაც აწევა-დაწევა ნელ-ნელა, მშვიდად მიმდინარეობდა. ბაქნებს აქვს მკვრივი ფუძე (სუბსტრატი), რომელიც უძველეს დროში დანაოჭებული ქანებისაგან შედგება. მისი გავლენით სუბსტრატის შემადგენელი ქანები ძალზე შეიცვალა, უფრო მკვრივი გახდა.

ა. არხანგელსკიმ კიდევ უფრო გააფართოვა გეოსინკლინების ცნება. მისი აზრით, გეოსინკლინური ოლქი დედამიწის ქერქის დიდი უბანია. რომელიც მნიშვნელოვანი ამპლიტუდის უფრო სწრაფ რყევას განიცდის და არ წარმოადგენს დედამიწის თხელი ქერქის ჩანაღუნს მკვრივ ბაქნებს შორის, როგორც ამას წინათ ფიქრობდნენ.

აწევა და დაწევა, რასაც მთელი გეოსინკლინური მხარე განიცდის, ნაწილებად ამსხვრევს ცალკეულ ლოდებს, რომლებიც სხვადასხვა სიჩქარითა და ხანდახან სხვადასხვა მიმართულებით მოძრაობენ. გეოსინკლინურ ოლქებში მთელი რიგი ბორცვები და ჩაღრმავებები ჩნდება, რომელთათვისაც შემადგენელი ქანების დანაოჭებაა (მთათწარმოწობა) დამახასიათებელი.

გეოსინკლინურ ოლქებში შრეების მოძრაობასა და ღრმად ჩაძირვასთან დაკავშირებით, აგრეთვე მასში დედამიწის წიაღიდან ამოსული გავარვარებული მასების შეჭრის (ინტრუზიის) გამო, ქანები მკვეთრად იცვლიან თავიანთ თვისებებს. თიხის დანალექი შრეები მკვრივ თიხოვან ფიქლებად გვევ-



ანდრეი დიმიტრის ძე არხანგელსკი.

ლინება, ფხვიერი კირქვები კი მარმარილოსებური ხდება.

ა. არხანგელსკი ამტკიცებდა, რომ თითოეულ გეოლოგიურ ეპოქას დედამიწაზე თავისი დამახასიათებელი ბაქნები და გეოსინკლინური ოლქები ჰქონდა. დანაოჭებისა და ინტრუზიის შემდეგ გეოსინკლინური ოლქები ხშირად კარგავენ მათთვის დამახასიათებელი მოძრაობის უნარს და ბაქნის სახეს იღებენ. ასეთი ადგილები მეზობელ ბაქნებს ეკვრის და მატერიკების ფართობს ზრდის.

ამ მოსაზრებებზე დაყრდნობით ა. არხანგელსკიმ თანამედროვე მატერიკების წარმოშობის ვრანდიოზული სურათი მოგვცა. ეს ნაშრომი ამოსავალ ეტაპად იქცა საბჭოთა გეოლოგების შემდგომი გეოტექტონიკური კვლევისათვის.

უძველეს გეოლოგიურ ერაში მსოფლიო ოკეანეზე ამოიმართა მომავალი მატერიკების ჩანასახები — კრისტალური ქანების უზარმაზარი ბელტები. ისინი ოკეანეში არასოდეს არ იძირებოდნენ ღრმად და მხოლოდ მოკლე ხნით თუ იფარებოდნენ წყლით. ამიტომ მათი შემადგენელი ქანები ზედაპირზეა გამოსული ან დანალექის თხელი ფენითაა დაფარული.

ევროპის ჩრდილო-დასავლეთით ზედაპირზე ბალტიის ფარი გამოდის (იხ. გვ. 141).

ბალტიის ფარის ირგვლივ ოდესღაც ვეება ოკეანე იყო გაშლილი. მხოლოდ სამხრეთით, ახლანდელ აზოვის ზღვასა და პოდოლიეს შორის, მოჩანდა ოკეანის ზევით კრისტალური ქანების მწკრივი, რომელიც აზოვ-პოდოლიეს მასივის სახელითაა ცნობილი.

ეს იყო დედამიწის გეოლოგიური სიცოცხლის ყველაზე ადრინდელი ერა. ამოწეული ფარები და ბაქნები კრისტალური ქანებისაგან შედგება, რომლებშიც ორგანული სიცოცხლის ნიშანწყალიც კი არ შეიმჩნევა. შემდეგში ათეულ და ასეულ მილიონობით წლის განმავლობაში ამ მასივებს მიეზარდა დანაოჭებული მთები. ისინი ჩვენთან უფრო ახლობელ გეოლოგიურ პერიოდში გაჩნდნენ.

ბალტიის ფარს მიეკრო დანაოჭება. იგი ამჟამად ღრმადაა გაჭიმული რუსეთის ბაქნის დანალექების ქვეშ. ამავე დროს ციმბირის ბაქანს მიეზარდა თაღოვანი ნაოჭები, რომლებიც სამხრეთისაკენ ფართოვდებოდა, აღმოსავლეთით კი ალდანის მასივს ერთვოდა.

უფრო მოგვიანებით, ქვანახშირის პერიოდში, მთელი სივრცე რუსეთისა და ციმბირის ბაქნებს შორის ნაოჭებით ამოივსო, რომლებიც დასავლეთ ციმბირის დაბლობის შედარებით უფრო ახალგაზრდა დანალექი ფენების ქვეშ იყო მოქცეული. ასე შეერთდა ევროპისა და აზიის მატერიკები, ხოლო მათ შორის მდებარე დედამიწის ქერქის მოძრავი ზოლი უძველესი ურალის ქედის სახით დანაოჭდა. ერთდროულად ბალტიის ფარიდან ამოიწია დანაოჭება და მატერიკის დასავლეთ ევროპული ნაწილი შექმნა პირენეის ნახევარკუნძულის ჩათვლით.

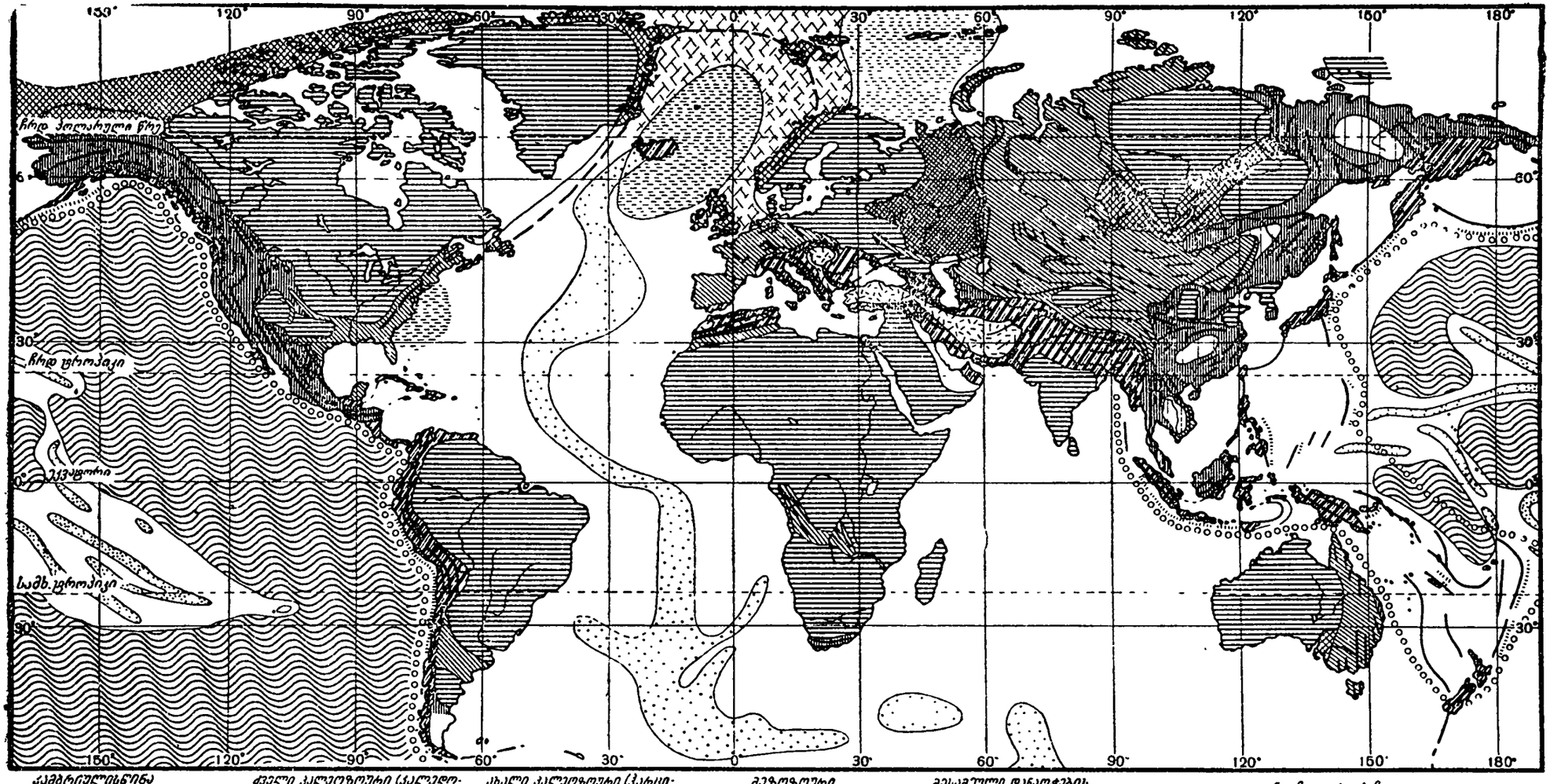
ბოლოს, ახალ ერაში, შეიქმნა ალპები, კარპატები, კავკასიონი და ჰიმალაი.

ასე მიიღო დედამიწის ზედაპირმა თანამედროვე სახე. მაგრამ მუდამ ასეთი დარჩება იგი? ხომ არ ამოიძართება ახალი მთები შორეულ მომავალში?

ზოგი მეცნიერი ამტკიცებს, რომ ჩვენს დროში დედამიწაზე აღარ არსებობს გეოსინკლინები და ამიტომ აღარც ახალი მთების წარმოშობას შეიძლება ველოდოთ, როგორც ცნობილი საბჭოთა გეოლოგი ა. ბორისიაკი ფიქრობდა.

მაგრამ გეოლოგების უმრავლესობა იზიარებს აკადემიკოსების: ა. არხანგელსკის, ვ. ობრუჩევისა და ნ. შატსკის მოსაზრებას იმის შესახებ, რომ ჩვენს დროშიც არსებობს გეოსინკლინური ოლქები: შავი ზღვის რაიონი, ლა-მანშის სრუტე, კასპიისა და ბალტიის ზღვების სამხრეთი ნაწილები

დედამიწის ზედაპირის ტექტონიკური სქემა



ჯამბრულისწინა დანაოჭების უბნები

დანაოჭებული ფუნდამენტის ზედაპირული ან სიღრმული წოლის რაიონები

ზღვის დონის ქვეშ დაძირული რაიონები

ძველი კალეოზოური (კალედონური) დანაოჭების უბნები

დანაოჭებული ფუნდამენტის ზედაპირული ან სიღრმული წოლის რაიონები

ზღვის დონის ქვეშ დაძირული რაიონები

ახალი კალეოზოური (ჰარცინული) დანაოჭების უბნები

დანაოჭებული ფუნდამენტის ზედაპირული ან სიღრმული წოლის რაიონები

მეზოზოური დანაოჭების უბნები

მეზოზოური დანაოჭების უბნები

მთათაშუა მასივები

მესამეული დანაოჭების უბნები

მესამეული დანაოჭების უბნები

მთათაშუა მასივები

ანდეზიტური ბაზი

ატლანტის ოკეანის შუა ზურგები

წყნარი ოკეანის გეოსინკლინური ტიპის მთათა ნაოჭა სისტემების ანალოგია

წყნარი ოკეანის ღრმულები

წყნარი ოკეანის ბაქნური უბნები

დანაოჭებათა მიმართება

და სხვ., სადაც დედამიწის ქერქის შედარებით სწრაფი აწევ-დაწევა შეინიშნება.

ა. არხანგელსკის მსგავსად ნ. შატსკიც (1895—1960) დედამიწის ქერქის ძირითად სტრუქტურებს სწავლობდა. მისი ხელმძღვანელობით შეიქმნა ჩვენი ქვეყნისა და დასავლეთ ევროპის ტერიტორიების ტექტონიკური რუკები. ამასთან ერთად ნ. შატსკი გეოლოგიის ისტორიის შექმნაზეც მუშაობდა. იგი წერდა, რომ გეოლოგიის ისტორიის შესწავლას ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე გეოლოგების წინაშე წამოჭრილი ბევრი პრობლემის გადასაჭრელად, რომ იგი გვიცავს შეცდომებისაგან, რომლებიც ასე უხვად იყო წარსულში. ნ. შატსკის აზრით, თანამედროვე გეოლოგიის ფუძემდებლად ლაიელთან ერთად ჩ. დარვინიც უნდა ითვლებოდეს. ლაიელისა და დარვინის შრომების შეფასებისას შატსკი ამბობდა, რომ მათი მეთოდის გამოყენების დროს (წარსულში დედამიწის ქერქის შემცველი პროცესების შედარება თანამედროვესთან) მხედველობაში უნდა მივიღოთ განსაკუთრებული პირობები, რომლებიც სხვადასხვა გეოლოგიურ პერიოდს ახასიათებს. ამ დასკვნამდე მივიდა საბჭოთა გეოლოგთა უმრავლესობაც. მაგალითად, შორეულ წარსულში დედამიწაზე ინტენსიური ამოფრქვევები მიმდინარეობდა. დედამიწის ქერქის ნაპრალებიდან გადმოღვრილმა ლავამ უზარმაზარი სივრცეები დაფარა ციმბირში, კავკასიასა და სხვა ქვეყნებში. ჩვენს დროში ვულკანური ამოფრქვევები მატერიკებზე შესუსტდა. ლავა ვულკანების ყელიდან შედარებით მცირე რაოდენობით ამოდის და მხოლოდ ფერდობებსა და უშუალოდ მასთან ახლოს მყოფი უბნების ზედაპირს ფარავს.

შატსკიმ ბაქნების განვითარებაში ახალი კანონზომიერება აღმოაჩინა. იგი იზიარებდა ა. არხანგელსკის აზრს ბაქნის ნაწილიდან გეოსინკლინური ოლქის წარმოშობის შესაძლებლობის შესახებ.

თუ რევოლუციამდე რუსეთში გეოლოგიურ კვლევას მარტო სამთო ინჟინრები ატარებდნენ, საბჭოთა კავშირში ამ სამუშაოს სპეციალისტი გეოლოგები ასრულებენ. მათ შორის ბევრი დედამიწის ქერქის სტრუქტურას შეისწავლის და ამ დარგში იღებს სპეციალურ განათლებას.

ყველა ამ ღონისძიების საფუძველზე შექმნილია საბჭოთა კავშირის გეოლოგიური აგებულების ნათელი სურათი.

საბჭოთა გეოლოგების გამოკვლევებმა ცხადჰყო, რომ მთების წარმოშობა ძალზე რთული პროცესია. იგი დაკავშირებულია როგორც ნაოჭების წარმოშობასთან, ასევე დედამიწის ქერქის მნიშვნელოვანი ნაწილის აღზევებასთანაც.

მთების წარმომქმნელ დედამიწის შინაგან ძალთა და მათ დამანგრეველ გარეგან ფაქტორთა შორის განუწყვეტელი ჰიდილი მიმდინარეობს.

დედამიწის ქერქისა და გეოლოგიური პროცესების შესწავლამ (ისევე როგორც, საერთოდ, ბუნებისმეტყველების განვითარებამ) ცხადჰყო, რომ არავითარი „ზებუნებრივი“ ძალა არ აოსებობს. ყველაფერი, რაც ჩვენს გარემომცველ სამყაროში ხდება, ადამიანის გონებისათვის მისაწვდომ ბუნების გარკვეულ კანონებს ემორჩილება. ■

საქართველოში გეოლოგიური მეცნიერების განვითარების მოკლე მიმოხილვა

საქართველო მსოფლიოში ერთ-ერთ ულამაზეს და მიმზიდველ ქვეყნად ითვლება. მიუხედავად ფართობის სიმცირისა, იგი განთქმულია თავისი მცენარეული საფარის და ცხოველთა სამყაროს, მდინარეებისა და ტბების, სასარგებლო წიაღისეულისა და კლიმატური პირობების მრავალფეროვნებითა და სიმდიდრით. ამიტომ არც ისაა საკვირველი, რომ გეოლოგიური აგებულების მხრივაც საქართველო კლასიკურ და მეტად საინტერესო მხარედ არის მიჩნეული. თითქმის ისევე, როგორც კოლორადოს სახელგანთქმული კანიონი ამერიკაში, კავკასიონის ქედიცა და საქართველოს სამხრეთ მთიანეთიც გვაძლევს საშუალებას შევისწავლოთ, გავარკვიოთ დედამიწის ქერქის წარმოშობისა და განვითარების ბუნდოვანი საკითხები. მაგრამ ვისაც თუნდაც ზერელედ გადაუვლია თვალი ჩვენი სამშობლოს მრავალსაუკუნოვანი ისტორიისათვის, გაინუდმებული თავდაცვითი ან განმათავისუფლებელი

ომების ამ სისხლიანი მატიანისათვის, მისთვის ნათელი უნდა გახდეს, რომ ცალკეულ სამეფოებად და სამთავროებად დაქუცმაცებულ ძველ საქართველოში, ლეკთა თარეშისა და ოსმალთა შემოსევების ვითარებაში, არამცთუ რაიმე მეცნიერული კვლევა, არამედ მოგზაურობაც კი პრაქტიკულად შეუძლებელი იყო. სწორედ ამით აიხსნება ის ფაქტი, რომ საქართველოს გეოლოგიური შესწავლის ისტორია მხოლოდ რუსეთთან შეერთების შემდგომ იწყება, თუმცა გამოყენებითი გეოლოგია უძველესი ხანიდან არსებობს. უკვე ბრინჯაოს ხანიდან მოყოლებული, მეტალურგიის მაღალ განვითარებას ჩვენს ტერიტორიაზე ნაპოვნი არქეოლოგიური საბუთი მოწმობს, მაგრამ იმ დროისათვის სახელმწიფოებრივი ცხოვრება საკმაოდ მოდუნებული იყო და სახალხო მეურნეობის სხვა დარგებთან ერთად მეტალურგიაც განვითარების ნაცვლად თანდათანობით დაქვეითებას განიცდიდა. შემდგომ, როცა უკვე წარმოებდა მოლაპარაკება რუსეთთან დახმარებისა და მფარველობის შესახებ, ქართველი მეფეები სხვა საკითხებს შორის არც იმას ივიწყებდნენ, რომ სამთო საქმის მცოდნე სპეციალისტები მოეთხოვათ.

და აი, 1799 წელს წიაღისეულ სიმდიდრეთა აღსანუსხავად რუსეთის ხელისუფლებამ კავკასიაში, და კერძოდ საქართველოში, მოავლინა ე. წ. სამთო კოლეგიის წევრი, გრაფი ა. მუსინ-პუშკინი. იგი სათავეში ჩაუდგა რუსეთ-საქართველოს შეერთებისთანავე დაარსებულ სამთო წარმოების მომწესრიგებელ ექსპედიციას, რომელმაც შემდეგ სხვადასხვა სახელწოდებებით საუკუნეზე მეტ ხანს იარსება. პირველ ხანებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა ახალი საბადოების ძებნას და მპოვნელებს ფულადი ჯილდოებითაც კი აქეზებდნენ. იწერებოდა მოხსენებები და მიმოხილვითი ხასიათის წერილები, მაგრამ მათი მეცნიერული ღირებულება იმ დროისათვისაც არ იყო დიდი.

პირველი საყურადღებო გეოლოგიური კვლევა საქართველოში დაიწყო ფრანგმა (შვეიცარიელმა) მეცნიერმა დიუბუა დე მონპერემ. XIX ს. 30-იან წლებში მან დაიარა სამხრეთ რუსეთი და ყირიმ-კავკასია და ამ მოგზაურობის შედეგები გამოაქვეყნა ექვსტომიან შრომაში 1839—43 წწ. (საინტერესოა აღინიშნოს, რომ აფხაზეთში მოგზაურობის დროს მას 100 კაცისაგან შემდგარი შეიარაღებული რაზმი დაჰყვებოდა თან). დიუბუას ძირითადად ეთნოგრაფია, არქეოლოგია და ისტორია აინტერესებდა, მაგრამ გაკვირვებას იწვევს მის მიერ კავკასიის რთული გეოლოგიური აგებულების ზოგადად სწორი გაგება. მიუხედავად ამისა, მისი გეოლოგიური მუშაობა მაინც მხოლოდ მოგზაურის გზადაგზა დაკვირვებებით ამოიწურებოდა და, ცხადია, არც სერიოზულ ნაკლთაგან იყო დაზღვეული. ამიტომაც პირველ სისტემატურ გეოლოგიურ კვლევას კავკასიაში გერმანელი მეცნიერის ჰერმან აბიხის სახელს უკავშირებენ. მისი ხანგრძლივი და ნაყოფიერი მუშაობა კავკასიაში 1843 წლიდან იწყება და გრძელდება 1876 წლამდე, როცა ვენაში გადავიდა, სადაც გამოაქვეყნა თავისი ცნობილი შემაჯამებელი შრომა კავკასიის ქვეყნების გეოლოგიური აგებულების შესახებ. იმ დროს მთელ კავკასიაში არ იყო არც ერთი უმაღლესი სასწავლებელი, არ იყო მეცნიერული პირობები და ამით აიხსნება ის სამწუხარო ფაქტი, რომ ჰერმან აბიხს არ ჰყოლია თანამშრომლები, არ დარჩენია მოწაფეები, არ შეუქმნია სკოლა. მაგრამ მაინც უდავოა და დიდია დამსახურება ამ განმარტოებული მეცნიერისა. მან აღმოაჩინა ტყიბულის ქვანახშირი და სუფსა-ნატანების მაგნიტური ქვიშები, პირველმა აღწერა ჭიათურის შავი ქვა. შეისწავლა თბილისის გოგირდიანი ცხელი წყლები.

1871 წლიდან ჩვენში მცირე ხანს მუშაობდა მეორე ფრანგი (შვეიცარიელი) მეცნიერი ე. ფავრი. მან დაიარა კავკასიონი იალბუზიდან დარიალამდე და საქართველო—ქუთაისიდან თბილისამდე, შეისწავლა კავკასიონის ფიქლები და 1875 წ. გამოაქვეყნა თავისი მოგზაურობის მეცნიერული შედეგები თანდართული გეოლოგიური რუკით.

როგორც დავინახეთ, საქართველოსა და, საერთოდ, კავკასიის პირველი მკვლევარები უცხოელები იყვნენ. მათ ნამდვილად დიდი ღვაწლი მიუძღოდათ ამ მხარის გეოლოგიის შესწავლის საქმეში, მაგრამ ეს მაინც არ იყო საკმარისი. ზოგად კვლევასთან ერთად აუცილებელი იყო ყურადღების გამახვილება ცალკეულ პრაქტიკულ საკითხებზე, რისთვისაც აუცილებელი გახდა დეტალური გეოლოგიური რუკები. სწორედ ამიტომაც XIX ს. 60-იანი წლების მიწურულში დაარსებულ კავკასიის სამთო სამმართველოს გეოლოგიურ განყოფილებას მთელი კავკასიის ტერიტორიის გეოლოგიური აგეგმვა დაევალა. ეს იყო წინ გადადგმული ნაბიჯი,

რადგან იმ დროს თვით რუსეთშიც კი არ არსებობდა მსგავსი დაწესებულება. 1908 წელს, სამმართველოს ნაყოფიერი მუშაობის შედეგად, გამოიცა კავკასიის მთლიანი გეოლოგიური რუკა (ავტორი ნ. ლებედევი). მასზე დარჩენილი რამდენიმე „თეთრი ლაქა“ სრულიად შეივსო 1912 წელს მეორედ გამოცემულ რუკაზე, რომლის რედაქტორები იყვნენ ვ. ბოგაჩოვი, ლ. კონიუშევსკი და ე. კრუგი.

გეოლოგიური განყოფილების თანამშრომელთაგან არ შეიძლება არ მოვიხსენიოთ სპირიდონ იაგორის ძე სიმინოვიჩი, რომელიც დაიბადა საქართველოში 1847 წელს. დედა ქართველი ჰყავდა და ჩვენი სამშობლოს უდიდესი პატრიოტი იყო. 1871 წელს ციურიხში მან დოქტორის ხარისხი მოიპოვა და მას შემდეგ მთელი სიცოცხლე (1906 წლამდე) საქართველოს გეოლოგიის შესწავლას მიუძღვნა. იმავე დაწესებულებაში მოღვაწეობდა პირველი ქართველი სამთო ინჟინერი გრიგოლ გიორგის ძე წულუკიძე. მათ შრომებს დღეს მხოლოდ ისტორიული მნიშვნელობაღა შემორჩენიათ, მაგრამ მათი რუკებიცა და ტექსტიც ბევრად უფრო დაწვრილებითია, ვიდრე წინამორბედი, უცხოელი მკვლევარებისა.

1897 წელს პეტერბურგში (ლენინგრადში) ტარდებოდა საერთაშორისო გეოლოგიური კონგრესის VII სესია, რომლის მონაწილეთა ორი ჯგუფი საექსკურსიოდ კავკასიას ეწვია. ეს დიდი მოვლენა იყო თბილისელი გეოლოგების ცხოვრებაში. სტუმართა შორის ბევრი გამოჩენილი უცხოელი მეცნიერი იყო (ა. ჰაინი, მ. ბერტრანი, შტაინმანი და სხვა). შემდეგში მათ გამოაქვეყნეს ფრიად მნიშვნელოვანი წერილები, ხოლო ექსკურსიის შედეგების შემაჯამებელი შრომა 1896 წელს დაწერა ახალგაზრდა ფრანგმა მეცნიერმა ე. ფურნიემ, უფრო გვიან კი ოსვალდმა და სტალიმ.

კავკასიონის მთავარი ქედის გადამკვეთი, საუღელტეხილო რკინიგზის დაპროექტებასთან დაკავშირებით საინჟინრო გეოლოგიურ გამოკვლევებს საქართველოში პეტერბურგელი გეოლოგებიც აწარმოებდნენ. მათ შორის საჭიროა მოვიხსენიოთ ა. ინოსტრანცევი, ნ. კარაკაში, ფ. ლევინსონ-ლესინგი, ს. სტრეშევსკი. შედარებით გვიან იმავე საკითხებზე მუშაობდნენ დ. ბელიანკინი, ა. გერასიმოვი, ი. კარკი.

კახეთის ქედისა და შირაქის ნავთობიანობის პრობლემებს ნაყოფიერად იკვლევდა პეტერბურგიდან თბილისში გადმოსული ცნობილი გეოლოგი და პალეონტოლოგი ან. რიაბინინი (1874 — 1942 წწ.), ხოლო აკად. ნ. ანდრუსოვის (1861 — 1924 წწ.) მიერ საქართველოს გეოლოგიის საკვანძო საკითხთა კვლევის შედეგები დღესაც ძირითად დასაყრდენს წარმოადგენს ამ დარგში მომუშავე მეცნიერთათვის.

ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ პეტერბურგის გეოლოგიურ კომიტეტში შეიქმნა საგანგებო „კავკასიის სექცია“, რომელიც აერთიანებდა ისეთ გამოჩენილ რუს მეცნიერებს, როგორებიც იყვნენ ი. კუზნეცოვი, ვ. რენგანტენი, ნ. ვასოევიჩი, ბ. მეფერტი და სხვანი. 1923 წლიდან სექცია გეგმიან მუშაობას შეუდგა, რამაც კავკასიის გეოლოგიური აგებულების გარკვევაში ძირფესვიანი გარდატეხა მოახდინა. ამას ემატებოდა ისიც, რომ უკვე 1918 წლიდან, თბილისში ივანე ჯავახიშვილის თაოსნობით ქართული უნივერსიტეტის დაარსების დროიდან, გეოლოგიურმა მეცნიერებამ სწრაფი ტემპით იწყო განვითარება თვით საქართველოშიც. სწორედ ამ ხანებში შეუდგნენ დაუღალავ მოღვაწეობას ქართული გეოლოგიის ენერგიული და თავდადებული ენთუზიასტები: ა. თვალჭრელიძე, კ. გაბუნია, გ. სმირნოვი, ა. ჯანელიძე, ნ. ყიფიანი. ახლად დაარსებულ ქართულ უნივერსიტეტში მათი თაოსნობით დაიწყო ლექციების კითხვა გეოლოგიის სხვადასხვა დისციპლინებში. 1924 წლიდან უკვე არსებობდა გეოლოგია-პალეონტოლოგიის კათედრაც და გეოლოგიური საგნები ფაკულტეტზე ისწავლებოდა. ჯერ კიდევ თითებზე ჩამოსათვლელი ქართველი გეოლოგები ახალი კადრების აღზრდის კეთილშობილურ და აუცილებელ საქმეს ანდომებდნენ მთელ თავიანთ ენერგიას.

1925 წლის დეკემბერში სერგო ორჯონიკიძის უშუალო დახმარებით დაარსდა საქართველოს გეოლოგიის ინსტიტუტი. მისი პირველი დირექტორი იყო ალექსანდრე ილარიონის ძე ჯანელიძე, რომელმაც პირველივე დღიდან გარს შემოიკრიბა მეცნიერების ენთუზიასტი ახალგაზრდობა, მოწინავე სტუდენტები. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ 1933 წლამდე არც დირექტორი და არც თანამშრომლები ხელფასს არ ღებულობდნენ. მიუხედავად ამისა, ინსტიტუტის თანამშრომელთა ენთუზიაზმი ვერთი წუთითაც არ შენელებულა. ყოველივე ამის წყალობით 1941 წელს დაარსებულ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის სისტემაში შესული გეო-

ლოგიის ინსტიტუტი დღეს დიდი მნიშვნელობის მეცნიერულ დაწესებულებად იქცა. ძნელია საქართველოს გეოლოგიის წინაშე ა. ჯანელიძის დამსახურების სრული შეფასება. იგი დღესაც დაუღალავად მიუძღვის წინ ქართულ გეოლოგიურ მეცნიერებას. მის მიერ აღზრდილ ქართველ გეოლოგთა მხოლოდ დასახელებაც კი შორს წაგვიყვანდა, ხოლო მათი შრომების ჩამოთვლა და შეფასება კი ამ მოკლე მიმოხილვაში შეუძლებელია. შეიძლება მხოლოდ აღინიშნოს, რომ მათ შორის დღეს უკვე მრავალი სახელმოხვეჭილი მეცნიერია, რომელთა სახელებსა და შრომებს კარგად იცნობენ ჩვენი დიდი სამშობლოს ფარგლებს გარეთაც. ასეთები არიან: პ. გამყრელიძე, მ. ერისთავი, გ. ზარიძე, ნ. თათრიშვილი, ი. კახიძე, ი. კაჭარავა, გ. ძოწენიძე და მრავალი სხვა.

აგრეთვე შორს წაგვიყვანდა საქართველოში დღეს მოქმედ გეოლოგიურ დაწესებულებათა ჩამოთვლაც, რაც იმაზე მიგვითითებს, რომ თეორიას და პრაქტიკას შორის მუდამ არსებობდა მჭიდრო კავშირი და სწორედ ამის შედეგად დღეს ჩვენ თამამად შეგვიძლია ვილაპარაკოთ არა მარტო საქართველოს გეოლოგიაზე, არამედ ქართულ გეოლოგიურ სკოლაზე, რომელიც ერთ-ერთ მოწინავე მიმდინარეობას წარმოადგენს საბჭოთა გეოლოგიურ მეცნიერებაში.

ცნობები დედამიწის გეოლოგიურ აგებულებაზე

დედამიწის ქერქის ქიმიური შემადგენლობა

(%-ში წონის მიხედვით, ა. ვინოგრადოვის მონაცემებით, 1950 წ.)

ელემენტები	%
ჟანგბადი	46,8
კაჟბადი	27,3
ალუმინი	8,7
რკინა	5,1
კალციუმი	3,6
ნატრიუმი	2,6
კალიუმი	2,6
მაგნიუმი	2,1
სხვები	1,2
სულ	100,0

დედამიწის სფეროს ქიმიური შემადგენლობა

(%-ში წონის მიხედვით, ბ. ლევინის მონაცემებით, 1955 წ.)

ელემენტები	%
რკინა	25,6
ჟანგბადი	34,6
კაჟბადი	17,8
მაგნიუმი	13,9
ნიკელი	1,4
კალციუმი	1,6
გოგირდი	2,0
ალუმინი	1,4
სხვები	1,7
სულ	100,0

მოქმედი ვულკანების გეოგრაფიული განლაგება

(1947 — 1951 წწ. მონაცემებით)

ვულკანთა გავრცელების ოლქები	ვულკანების რაოდენობა		სულ
	მიწისზედა	წყალქვეშა	
კამჩატკა	22	—	22
კურილის კ-ბი	34	4	38
იაპონიის კ-ბი	49	9	58
ფილიპინის კ-ბი	12	—	12
კ. ახალი გვინეა	10	—	10
ახალი ზელანდია	5	—	5
სამხ. ამერიკა	30	1	31
ცენტრ. ამერიკა	36	—	36
ჩრდ. ამერიკა	18	—	18
ალეუტის კ-ბი	17	—	17
ჰავაის კ-ბი	4	—	4
ანტარქტიდა	1	—	1
შცირე აზია	2	—	2
ხმელთაშუა ზღვა	10	7	17
აფრიკა	12	—	12
იავის რკალი	93	2	95
ისლანდია	22	4	26
აზორის კ-ბი	7	2	9
შცირე ანტილის კ-ბი	6	2	8

ყველაზე მეტად ცნობილი ვულკანები

სახელწოდება	სიმაღლე მ-ში	უკანასკნელი ამოფრქვევა (წლები)	ადგილმდებარეობა
ევროპა			
ეტნა	3263	1928, 1950	კ. სიცილია (იტალია)
ჰეკლა	1447	1783, 1845, 1947—1948	ისლანდია
ვეზუვი	1270	1906, 1944	აპენინის ნახევარკუნძული (იტალია)
სტრომბოლი	926	მუდმივად	კ. სტრომბოლი (იტალია)
სანტორინი	ზღვის დონეზე	1928, 1940	კ. სანტორინი (საბერძნეთი)
აზია			
კლუჩევსკაია სოპკა	4750	1937, 1944—1945	კამჩატკა (სსრკ)
ფუძიამა	3776	1707	კ. ხონსიუ (იაპონია)
ავაჩინის სოპკა	2751	1945	კამჩატკა (სსრკ)
კრაკატაუ	813	1883, 1927—1928	კ. კრაკატაუ (ინდონეზია)
აფრიკა			
კამერუნი	4070	1909, 1922	კამერუნი
სამხ. ამერიკა			
კოტოპახი	5896	1904	ეკვადორი
ჩრდ. და ცენტრ. ამერიკა			
პოპოკატეპეტლი	5452	—	მექსიკა
მონ-პელე	1350	1902	კ. მარტინიკა
ოკეანია			
კილაუეა	1934	ყოველწლიურად	კ. ჰავაი

როგორ გამოვიცნოთ მინერალები

მინერალები ერთმანეთისგან განსხვავდება განსაზღვრული ქიმიური შედგენილობით და გარეგანი ფიზიკური ნიშნებით. ასეთი ნიშნებია: ელვარება, სიმაგრე, ფერი, მონატეხის ხასიათი. გარეგანი ნიშნებით მინერალების განსაზღვრა არ არის ძნელი, მაგრამ დიდ დაკვირვებას მოითხოვს. გაცილებით რთულია მინერალის ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრა.

ამ თავში ჩვენ გვინდა გაგაცნოთ შედარებით გავრცელებული და სახალხო მეურნეობისათვის დიდი მნიშვნელობის მქონე მინერალების განსაზღვრის წესები.

გარეგანი იერით მინერალის განსაზღვრისას პირველად ყურადღება უნდა მიაქციოთ ყველა მინერალისთვის საერთო ნიშნებს; შემდეგ კი დააკვირდეთ თავისებურებებს, რომლებითაც ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან.

უპირველეს ყოვლისა, ყურადღება მიაქციეთ მინერალის ელვარებას.

მინერალთა უმრავლესობა თავისი ზედაპირიდან სხივების არეკვლის გამო ელავს და მხოლოდ ზოგი მათგანია ელვარებას მოკლებული (მქრქალი). ასეთი მინერალები მიწისმაგვარ მასასა წააგავს. მაგალითად, ბოქსიტი.

ელვარების მიხედვით მინერალები ორ ჯგუფად იყოფა — მეტალური და არამეტალური ელვარების მქონე მინერალებად.

I. მეტალური ელვარება

1. მეტალური ელვარება ჰგავს მეტალის ახალი მონატეხის ელვარებას. მეტალური ელვარება უკეთ ჩანს მეტალის ახალ (დაუჟანგავ) ზედაპირზე. მეტალური ელვარების მქონე მინერალები გაუმჭვირვალე და უფრო მძიმეა, ვიდრე არამეტალური ელვარების მქონე მინერალები. ზოგჯერ ჟანგვის პროცესის შედეგად მინერალები, რომელთაც მეტალური ელვარება აქვთ, მქრქალი ქერქით იფარება.

მეტალური ელვარება დამახასიათებელია სხვადასხვა მადნეული მინერალებისათვის. მეტალური ელვარების მქონე მინერალებია: ოქრო, სპილენძის ალმადანი, ტყვიის კრიალა.

II. არამეტალური ელვარება

1. მინისებრი ელვარება მოგვაგონებს მიწის ზედაპირის ელვარებას. ასეთი ელვარება აქვს: მთის ბროლს, ქვამარილს და სხვ.

2. ალმასისებრი ელვარება ჰგავს მინისებრს, მაგრამ უფრო ძლიერია. ასეთი ელვარება აქვს ალმასს, თუთიის კრიალას.

3. სადაფისებრი ელვარების დროს მინერალის ზედაპირი ცისარტყელასავით ელვარებს. მაგალითად, კალციტი, ქარსი.

4. აბრაშუმისებრი ელვარება მოციმციმეა. დამახასიათებელია მხოლოდ ისეთი მინერალებისთვის, რომლებსაც აქვთ ბოჭკოვანი ან ნემსისებრი აგებულება. მაგალითად, ასბესტი.

5. ცხიმოვანი ელვარების დროს მინერალს თითქოს ცხიმი აქვს წასმული და ხანდახან თვით მინერალიც ცხიმოვანია. მაგალითად, ტალკი.

6. სანთლისებრი ელვარება ჰგავს ცხიმოვანს, მაგრამ უფრო სუსტია. მაგალითად, ქალცედონი.

ელვარება ყველაზე კარგად ჩანს ახლად გადატეხილ მინერალზე ან მისი კრისტალების წახნაგების საღ ზედაპირზე.

მას შემდეგ, რაც თქვენ დაადგენთ მინერალის ელვარების ხასიათს, საჭიროა განსაზღვროთ მინერალის სიმაგრე. მინერალთა სიმაგრე ეს ის წინააღმდეგობაა, რომელსაც მინერალი იჩენს რომელიმე საგნით ან მინერალით მისი გაკაწვრისას. თუ გამოსაცდელი მინერალი უფრო რბილია, ვიდრე ის, რომლითაც თქვენ კაწრავთ მის ზედაპირს, მაშინ მასზე რჩება კვალი — ნაკაწრი.

მეცნიერებმა შეადგინეს მინერალთა სიმაგრის სკალა:

მინერალთა დასახელება	სიმაგრე
ტალკი	1
თაბაშირი	2
კალციტი	3
ფლუორიტი	4
აპატიტი	5
მინდვრის შპატი	6
კვარცი	7
ტოპაზი	8
კორუნდი	9
ალმასი	10

მიწის ქერქში გავრცელებულ მინერალთა უმეტესობას აქვს 7-ზე ნაკლები სიმაგრე.

მინერალთა სიმაგრის გაგება შეიძლება ფრჩხილის ან მინის ნატეხის საშუალებით.

სიმაგრის მიხედვით მინერალები ოთხ ჯგუფად იყოფა:

1. რბილი მინერალები (მინერალის გაკაწვრა შეიძლება ფრჩხილით). მაგალითად, ტალკი, გრაფიტი, თაბაშირი.

2. საშუალო სიმაგრის მინერალები (მინერალი ფრჩხილით არ იკაწრება და თავის მხრივ ვერც ის კაწრავს მინას). მაგალითად, კრისტალური კალციტი, სპილენძის ალმადანი — ქალკოპირიტი.

3. მაგარი მინერალები (მინერალი კაწრავს მინას, მაგრამ ვერ კაწრავს მთის ბროლს). მაგალითად, კვარცი, მინდვრის შპატი.

4. ძალიან მაგარი მინერალები (კაწრავს არა მარტო მინას, არამედ მთის ბროლსაც). მაგალითად, ტოპაზი, კორუნდი, ალმასი.

ძალიან მაგარი მინერალები გვხვდება მხოლოდ არამეტალური ელვარების მქონე ჯგუფში.

ზოგი მინერალი, მაგალითად, მურა რკინაქვა, გოგირდი, ქვანახშირი და სხვ. ცვალებადი სიმაგრით გამოირჩევა, ამიტომ ისინი მსაზღვრელის სხვადასხვა ჯგუფებში მეორდება.

სიმაგრის გაგების შემდეგ საჭიროა მინერალს ზედაპირიდან ფხვნილი ან დამსხვრეული ნაწილაკები მოაცილოთ და დარწმუნდეთ, რომ მინერალზე ნამდვილად დარჩა კვალი, თორემ ფხვნილი შეიძლება წარმოიშვას აგრეთვე იმ მინერალიდანაც, რომლითაც მას კაწრავთ.

შტრიხის ფერი (ან სხვა სიტყვებით, ფხვნილის ფერი) ზოგიერთ მინერალს თვით მინერალის ფერისა აქვს; მაგრამ გვხვდება ისეთი მინერალებიც, რომელთა ფხვნილის ფერი მკვეთრად განსხვავდება თვით მათი ფერისგან. მაგალითად, კალციტი არის უფერო, თეთრი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, ლურჯი, იისფერი, მურა, შავი; ფხვნილი კი კალციტს ყოველთვის თეთრი აქვს.

მინერალის ფხვნილის ფერის გასაგებად იყენებენ მოუჭიქავი ფაიფურის ფირფიტას, ე. წ. ბისკვიტს. მისი შეცვლა შეუძლია მოუჭიქავი ფაიფურის ან ქაშანურის ჭურჭლის ნატეხს (რომელსაც წინასწარ ზუმფარას ქაღალდით ან ქლიბით ექნება გაცლილი ჭიქურის თხელი ფენა).

თუ ბისკვიტის ან ფაიფურის ხორკლიან ნატეხზე რბილ ან საშუალო სიმაგრის მინერალს გაუსვამთ, მცირე გამონაკლისს გარდა იგი კვალს დატოვებს. მაგარი მინერალების უმრავლესობა ხაზს არ ტოვებს.

თუ არა გაქვთ ფაიფურის ფირფიტა, მაშინ მინერალს დანით მოფხიკეთ წმინდა ფხვნილი. ხაზის ფერის გასაგებად ეს ფხვნილი თეთრი ქაღალდის ფურცელს უნდა წაუსვათ.

ფერი სულ რამდენიმე მინერალისთვისაა მუდმივი ნიშანი. მაგალითად, მალაქიტი ყოველთვის მწვანეა, ოქრო — მოოქროსფრო-ყვითელი და ა. შ. მინერალთა უმრავლესობისთვის ეს ნიშანი ცვალებადია. მინერალთა ფერის დასადგენად აუცილებელია გვქონდეს ახალი მონატეხი.

სხვადასხვა მინერალს მონატეხიც სხვადასხვაგვარი აქვს. ასე მაგალითად, კაჟი გამოირჩევა ნიჟარისებრი მონატეხით, ტყვიის კრიალა — საფეხურისებრი მონატეხით; ბევრ მინერალს აქვს მიწისებრი, ხიწვისებრი ან სხვა მონატეხები. მონატეხის სახე დამოკიდებულია მინერალის ფიზიკურ თვისებებზე, მის კრისტალურ აგებულებასა და სიმაგრეზე.

ზოგიერთი მინერალისათვის დამახასიათებელია ტკეჩვადობა, ე. ი. გახლეჩის ან განშრევების უნარი განსაზღვრული მიმართულებით, რის შედეგადაც ხლეჩვის გლუვი, მბრწყინავი სიბრტყეები წარმოიშვება. მაგალითად, ქარსები ხასიათდება ნათლად გამოხატული ტკეჩვადობით. ისინი ადვილად იყოფიან ერთი მიმართულების მქონე თხელ და გლუვ ფირფიტებად. ქვამარილს სამი მიმართულების კარგად გამოსახული ტკეჩვადობა ახასიათებს. მისი გაპობით მიიღება სწორი ფორმის კუბები.

სიმკვრივე მინერალთა უმრავლესობისათვის არ არის დამახასიათებელი ნიშანი, მაგრამ იმ მინერალების განსაზღვრისათვის, რომელთა შემადგენლობაშიც შედის ისეთი მძიმე ელემენტები, როგორიცაა ტყვია, სიმკვრივეს დიდი მნიშვნელობა აქვს.

გარეგანი ნიშნებით მინერალთა კლასიფიკაცია არ საჭიროებს სიმკვრივის დიდი სიზუსტით განსაზღვრას, ამიტომ

მინერალებს ორ ძირითად ჯგუფად — მ ს უ ბ უ ქ და მ ძ ი მ ე მინერალებად ყოფენ.

ზოგიერთი მინერალისთვის დამახასიათებელ ნიშანს წარმოადგენს მ ა გ ნ ი ტ უ რ ო ბ ა, ასეთებია რკინის შემცველი მინერალები, მაგალითად, მაგნიტური რკინაქვა.

„მინერალთა მაგნიტურობა“ რომ განსაზღვრონ, იყენებენ ძაფზე დაკიდებულ მაგნიტურ ისარს, საველე პირობებში კი „კომპასის ისარს ხმარობენ. მაგნიტური თვისებების მქონე მინერალები მაგნიტურ ისართან მიახლოებისას იზიდავენ მას.

ზოგიერთი მინერალი, რომლის შემადგენლობაში შედის ნახშირორჟანგი, მარილმჟავას მოქმედებით (10%-იანი ხსნარი) ბუშტულების სახით გამოყოფს ნახშირორჟანგა აირს. ამ დროს ამბობენ მინერალი „დუღსო“. ასეთი მინერალებია კალციტი, მალაქიტი და ქანები — ცარცი და კირქვა.

არის მინერალები, რომელთა განსაზღვრა შეიძლება ვ ე მ ო თ ი, მაგალითად, ქვამარილი; კალიუმის მარილები (სილვინი, კარნალიტი) და სხვა.

თუ საჭიროებამ მოითხოვა, შესაძლებელია მინერალების შესწავლა წ ვ ა ზ ე და დ ნ ო ბ ა ზ ე. ამისათვის მინერალს პატარა ნატეხს ჩამოამტვრევთ, პინცეტით დაიჭერთ ხელში და შეიტანთ სანთლის, სპირტის ან გაზის სანთურის ალში. ზოგიერთი მინერალი, როგორიცაა, მაგალითად, ქარვა, ასანთის ალზეც კი იწვის.

უცნობი მინერალის განსაზღვრისათვის უნდა გამოიყენოთ ჩვენი მსაზღვრელის პირველი ნაწილი ე. წ. „მინერალთა მსაზღვრელის გასაღები“.

ამ გასაღებით თქვენ პირველ რიგში უნდა დაადგინოთ, როგორი ელვარება აქვს მინერალს — მეტალური თუ არამეტალური. ამის შემდეგ თანმიმდევრობით განსაზღვრეთ მინერალის სიმაგრე, ფხვნილის ფერი და სხვ. ყველა ეს მონაცემი ბოლოს და ბოლოს მიგიყვანთ მსაზღვრელის მეორე ნაწილამდე, სადაც სხვადასხვა მინერალია აღწერილი. „მინერალთა მსაზღვრელის გასაღებში“ ეს გვერდები მარჯვნივაა მითითებული.

მინერალთა მსაზღვრელის გასაღები

I. მეტალური ელვარება

1. **ფრჩხილი კაწრავს მინერალს,** გვ. 149 — 150, ა, ბ, გ.
2. **ფრჩხილი ვერ კაწრავს მინერალს; მინერალი ვერ კაწრავს მინას:**
   ფხვნილი ყვითელი, მუქა, წითელი, გვ. 150, დ, ე.
   ფხვნილი ნაცრისფერი, შავი, გვ. 150, ვ, ზ, თ, ი.
3. **მინერალი კაწრავს მინას:**
   ფერი ყვითელი, მუქა, გვ. 150, კ, ლ, მ, ნ.
   ფერი მუქი ნაცრისფერი, შავი, გვ. 150 — 151, ო, პ, ჟ, რ, ს, ტ.

II. არამეტალური ელვარება

1. **ფრჩხილი კაწრავს მინერალს:**
   ი წ ვ ი ს ა ნ ა დ ვ ი ლ ა დ დ ნ ე ბ ა, გვ. 151, ა, ბ, გ, დ.
   ა რ ი წ ვ ი ს:
   ფხვნილი თეთრი ან ფხვნილს არ იძლევა.
   აქვს გემო, გვ. 151, ე, ვ, ზ, თ.
   გემო არა აქვს, გვ. 151 — 152, ი, კ, ლ, მ, ნ, ო.
   ფხვნილი ყვითელი, ნარინჯისფერი, წითელი, გვ. 152, პ, ჟ, რ.
   ფხვნილი ნაცრისფერი, შავი, გვ. 152 ს.
2. **ფრჩხილი ვერ კაწრავს მინერალს; მინერალი ვერ კაწრავს მინას:**
   ი წ ვ ი ს ა ნ ა დ ვ ი ლ ა დ დ ნ ე ბ ა, გვ. 152, ა, ბ, გ, დ.
   ა რ ი წ ვ ი ს:
   ფხვნილი თეთრი ან ფხვნილს არ იძლევა:
   აქვს გემო, გვ. 152, ე, ვ, ზ, თ.
   გემო არა აქვს, გვ. 152 — 153, ი, კ, ლ, მ, ნ, ო, პ, ჟ, რ, ს, ტ.
   ფხვნილი ყვითელი, მუქა, წითელი, გვ. 153, უ, ფ, ქ, ღ, ყ.
   ფხვნილი მწვანე, გვ. 153, შ.
   ფხვნილი ცისფერი, იისფერი, გვ. 153, ჩ, ც.
   ფხვნილი ნაცრისფერი, შავი, გვ. 153, ა, ბ, გ.
3. **მინერალი კაწრავს მინას, მაგრამ ვერ კაწრავს მთის ბროლს:**
   უფერო, თეთრი ფერის, ღია ნაცრისფერი, გვ. 154, დ, ე, ვ.
   ფერი ყვითელი, მუქა, ვარდისფერი, წითელი
   ფხვნილს იძლევა, გვ. 154, ზ, თ, ი, კ.
   ფხვნილს არ იძლევა, გვ. 154, ლ, მ, ნ, ო.
   ფერი მწვანე, გვ. 154, პ, ჟ, რ.
   ფერი ცისფერი, ლურჯი, იისფერი, გვ. 154, ს, ტ.
   ფერი მუქი ნაცრისფერი, შავი;
   ფხვნილს იძლევა, გვ. 154—155, უ, ფ, ქ, ღ, ყ, შ, ჩ, ც.
   ფხვნილს არ იძლევა, გვ. 155, ა, ბ, გ.
   მინერალი ჭრელია, მრავალფერი, გვ. 155, დ, ე.
4. **მინერალი კაწრავს არა მარტო მინას, არამედ მთის ბროლსაც:**
   უფერო, გვ. 155, ვ, ზ.
   ვარდისფერი, წითელი, გვ. 155, თ.
   მწვანე, გვ. 155, ი.
   ცისფერი, ლურჯი, გვ. 155, კ, ლ.

III. მჭრქაღი მინერალი

ი წ ვ ი ს, გვ. 155, მ, ნ.
ა რ ი წ ვ ი ს:
თეთრი, გვ. 155 — 156, ო, პ.
ყვითელი, წითელი, მუქა, გვ. 156, ჟ, რ, ს.
მწვანე, გვ. 156, ტ, უ.
ცისფერი, ლურჯი, გვ. 156, ფ.
შავი, გვ. 155, ქ.

მინერალთა მსაზღვრელი

I. მეტალური ელვარება

1. ფრჩხილი კაწრავს მინერალს.

ა) გ რ ა ფ ი ტ ი (C). ფერი ფოლადისებრ-ნაცრისფერი, ან რკინისებრ-შავი. თითებით იფხვნება შავ მტვრად (განსხვავება მოლიბდენის კრიალასაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული ფანქრების წარმოებისათვის.

ბ) მოლიბდენის კრიალა, ანუ მოლიბდენიტი (MoS_2). ფერი ღია ნაცრისფერი, ტყვიისებრ-ნაცრისფერი. თითებით იფხვნება ღია ნაცრისფერ, ბრჭყვიალა ფხვნილად (განსხვავება გრაფიტისაგან). ფურცლოვანი, ქერცლოვანი მინერალი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მოლიბდენის მადანი.

გ) სურმის კრიალა, ანუ ანთიმონიტი (Sb_2S_3). ფერი ტყვიისებრ-ნაცრისფერი ან ფოლადისებრ-ნაცრისფერი, ხანდახან მოლურჯო ან მოშავო ელფერით. აქვს წიწვოვანი ან პრიზმული აგებულების ერთიანი მასის სახე, წარმოადგენს წაგრძელებულ კრისტალთა გროვას. თხელი ნატეხი სანთლის ალზე დნება. სურმის კრიალას თანამგზავრია სინგური (წითელი ფერის); იგი ხშირად გვხვდება ამ მინერალთან ჩანაწინწკლების სახით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სურმის მადანი.

2. ფრჩხილი ვერ კაწრავს მინერალს; მინერალი ვერ კაწრავს მინას.

ფხვნილი ყვითელი, მურა, წითელი:

დ) თვითნაბადი ოქრო (Au). ფერი ოქროსფერ-ყვითელი. ფხვნილი ოქროსფერ-ყვითელი, მეტალური, ბრჭყვიალა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ძვირფასი მეტალი.

ე) მურა რკინაქვა ანუ ლიმონიტი ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) [1]. ფერი რკინისებრ-შავი, ალაგ-ალაგ მურა ჟანგისფერი, ოხრა-ყვითელი. ფხვნილი მურა ჟანგისფერი, ოხრა-ყვითელი.

ფხვნილი ნაცრისფერი, შავი:

ვ) ტყვიის კრიალა, ანუ გალენიტი (PbS); Ag მუდმივი მინარევი. ფერი ტყვიისებრ-ნაცრისფერი. მძიმე. დარტყმისას წვრილ-წვრილ კუბებად იმსხვრევა და საფეხურისებრი მონატეხი აქვს. თანამგზავრები: თუთიის კრიალა (მურა ფერის), გოგირდის ალმადანი (ღია ფერის, თითბრისებრ-ყვითელი), სპილენძის ალმადანი (თითბრისებრ-ყვითელი ფერის).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ტყვიისა და ვერცხლის მადანი.

ზ) სპილენძის ალმადანი, ანუ ქალკოპირიტი ($CuFeS_2$). ფერი თითბრისებრ-ყვითელი, ოქროსფერი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სპილენძის მადანი.

თ) ტიტანიანი რკინაქვა, ანუ ილმენიტი ($TiO_2 \cdot FeO$). ფერი რკინისებრ-შავი, ალაგ-ალაგ მუქი მურა. მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწოროა (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან). ჩვეულებრივ, სუსტად მაგნიტურია, ხანდახან მაგნიტური თვისებები სავსებით არა აქვს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ტიტანის მადანი.

ი) ვოლფრამიტი [(Fe,Mn) WO_4]. ფერი მურა ან შავი, მძიმე. გაპობისას ერთი მიმართულებით მონატეხის სწორ ზედაპირს იძლევა (განსხვავება ტიტანიანი რკინაქვისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვოლფრამის მადანი.

3. მინერალი კაწრავს მინას.

ფერი ყვითელი, მურა:

კ) გოგირდის ალმადანი, რკინის ალმადანი, ანუ პირიტი (FeS_2). ფერი ღია, თითბრისებრ-ყვითელი (უფრო ღია, ვიდრე სპილენძის ალმადანია). ფხვნილი შავი, ოდნავ გადაჰკრავს მომწვანო ფერი. გვხვდება ერთიანი მარცვლოვანი მასების, ჩანაწინწკლების ან ცალკეული კრისტალების სახით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: გოგირდმჟავას მისაღები ნედლეული.

ლ) კალის ქვა, ანუ კასიტერიტი (SnO_2). ფერი მურა. ფხვნილი ღია მურა, თეთრი. მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალის მადანი.

მ) ტიტანიანი რკინაქვა, ანუ ილმენიტი ($TiO_2 \cdot FeO$). ფერი მუქი მურა. ფხვნილი მურა, შავი. მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან). ჩვეულებრივ, სუსტად მაგნიტურია. ხანდახან მაგნიტური თვისებები სრულებით არა აქვს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ტიტანის მადანი

ნ) ვოლფრამიტი [(Fe,Mn)WO_4]. ფერი მურა. ფხვნილი მურა, თითქმის შავი. გაპობისას ერთი მიმართულებით მონატეხის სწორ ზედაპირს იძლევა (განსხვავება კალის ქვისა და ტიტანიანი რკინაქვისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვოლფრამის მადანი.

ფერი მუქი ნაცრისფერი, შავი:

ო) მურა რკინაქვა, ანუ ლიმონიტი ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). ფერი რკინისებრ-შავი, ალაგ-ალაგ მურა-ჟანგისფერი, ჟანგმიწისებრ-ყვითელი. ფხვნილი მურა-ჟანგისფერი, ჟანგმიწისებრ-ყვითელი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: რკინის მადანი.

პ) წითელი რკინაქვა, ანუ ჰემატიტი (Fe_2O_3). ფერი რკინისებრ-შავი. ფხვნილი ალუბლისებრ-წითელი (მწიფე ალუბლის მსგავსი).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: რკინის მადანი.

ჟ) მაგნიტური რკინაქვა, ანუ მაგნეტიტი (Fe_3O_4). ფერი რკინისებრ-შავი ან მუქი ნაცრისფერი. ფხვნილი შავი. მაგნიტური.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: რკინის მადანი.

რ) ქრომიანი რკინაქვა, ანუ ქრომიტი ($Cr_2O_3 \cdot FeO$). ფერი რკინისებრ-შავი. ფხვნილი მურა (განსხვავება მაგნიტური რკინაქვისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ქრომის მადანი.

ს) კალის ქვა, ანუ კასიტერიტი (SnO_2). ფერი შავი. ფხვნილი ღია მურა, თეთრი. მძიმე. მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან).

[1] ზოგი მინერალი, მაგალითად მურა რკინაქვა, გოგირდი, ქვანახშირი და სხვ. გამოირჩევა ცვალებადი სიმაგრით და ამიტომაც მსაზღვრელშიც მეორდება სხვადასხვა ჯგუფებში.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალის მადანი.

ტ) ვოლფრამიტი [(Fe,Mn)WO_4]. ფერი შავი. ფხვნილი მურა, თითქმის შავი. მძიმე. გაპობისას ერთი მიმართულებით იძლევა მონატეხის სწორ ზედაპირს (განსხვავება კალის ქვისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვოლფრამის მადანი.

II. არამეტალური ელვარება

1. ფრჩხილი კაწრავს მინერალს.

იწვის ან ადვილად დნება:

ა) თვითნაბადი გოგირდი (S). ფერი ღია ყვითელი, მომწვანო, მურა ნაცრისფერი, შავი. იწვის ასანთზე ცისფერი ალით და მკვეთრ, მახრჩობელა სუნს გამოყოფს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: გოგირდმჟავას მისაღები ნედლეული.

ბ) ქარვა ($C_{10}H_{16}O_4$). ფერი თაფლისფერ-ყვითელი, მურა, მურა-წითელი, შავი, თეთრი. იწვის ასანთზე და გამოყოფს სასიამოვნო, მიხაკის სუნს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სანაკეთო მასალა.

გ) ქვანახშირი. ფერი მუქი ყავისფერი, შავი. ფხვნილი მუქი მურა. იწვის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: განამარხებული საწვავი.

დ) ანტრაციტი. ფერი შავი. ფხვნილი შავი. ბრჭყვიალაა. მყიფე. იწვის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: განამარხებული საწვავი.

არ იწვის:

ფხვნილი თეთრი ან ფხვნილს არ იძლევა.

აქვს გემო:

ე) სილვინი (KCl). ფერი რძისებრ-თეთრი. გემო მოიმწარო-მლაშე. ადვილად იპობა კუბის წახნაგებზე.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალიუმის სასუქის მისაღები ნედლეული.

ვ) გლაუბერის მარილი, ანუ მირაბილიტი ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$). უფერო ან თეთრი ფერის. გემო მწარე-მლაშე, შემამცივნებელი. ჰაერზე კარგავს წყალს და ფხვიერი, თეთრი ფხვნილით იფარება.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სოდის მისაღები ნედლეული.

ზ) ნატრიუმის ($NaNO_3$) და კალიუმის (KNO_3) გვარჯილა. თეთრი, ყვითელი, მურა-მოწითალო. გემო მომლაშო, შემამცივნებელი. გახურებისას ნახშირთან შერეული იძლევა აფეთქებას (კალიუმის — ძლიერს, ნატრიუმის — უფრო სუსტს).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: აზოტოვანი სასუქების მისაღები ნედლეული.

თ) კარნალიტი ($KCl \cdot MgCl_2 . 6H_2O$). ფერი წითელი, მოყვითალო. გემო მწარე. ადვილად იხსნება წყალში და ჰაერში შემავალი სინოტივის გავლენითაც კი შეიძლება წყლად იქცეს. ამიტომ კარნალიტი კარგად თავდაცულ ჭურჭელში უნდა ინახებოდეს. გადანატეხი უსწორმასწორო.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალიუმის სასუქების მისაღები ნედლეული.

გემო არა აქვს:

ი) ტალკი [$Mg_3(OH)_2[Si_4O_{10}]$] შეხებით ცხიმოვანი. ფერი მომწვანო-თეთრი, ღია მწვანე, მომწვანო-ნაცრისფერი, მოყვითალო-თეთრი, თეთრი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სიმჟავეგამძლე და ცეცხლგამძლე მასალა; იყენებენ როგორც მოსაფრქვევს.

კ) თაბაშირი ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). უფერო, თეთრი, მონაცრისფრო, მოყვითალო, მოვარდისფრო, წითელი. უფერო თაბაშირი გამჭვირვალეა. თაბაშირის დანარჩენი სახეები სინათლეს ან ოდნავ ატარებს, ან გაუმჭვირვალეა. გვხვდება მთლიანი მარცვლოვანი (ალებასტრი), მკვრივი ან სქელი ფურცლოვანი მასების სახით. ხანდახან თაბაშირი წარმოადგენს ერთმანეთისადმი პარალელურად განლაგებულ წვრილ წიწვისებურ კრისტალებს — სელენიტს ანდა გამჭვირვალე კრისტალების გროვას.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: იყენებენ საარქიტექტურო და სკულპტურულ სამუშაოებში, სამშენებლო საქმეში და გოგირდმჟავას წარმოებაში, მედიცინაში (თაბაშირის სახვევები და სხვ.). სელენიტი სანაკეთო ქვაა.

ლ) თეთრი ქარსი, ანუ მუსკოვიტი [$KAl_2(OH,F)_2[AlSi_3O_{10}]$] უფერო, თეთრი, ფურცლოვანი, ქერცლოვანი. დანის წვერით ადვილად სცილდება თხელი, დრეკადი ფურცლები.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული ელექტროწარმოებისათვის. ძველ რუსეთში გამჭვირვალობის გამო მუსკოვიტს მინების მაგიერ ფანჯრებში სვამდნენ.

მ) მურა ქარსი [$KMg_3(OH,F)_2[AlSi_3O_{10}]$] ფერი მურა. ფურცლოვანი, ქერცლოვანი. დანის წვერით ადვილად სცილდება დრეკადი თხელი ფირფიტები. წააგავს ვერმიკულიტს. განსხვავება — მურა ქარსს ასანთის ალი არ ცვლის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ისეთივე, როგორიც თეთრი ქარსისა.

ნ) ვერმიკულიტი [$(Mg,Fe^{\cdots},Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$] ფერი ბრინჯაოსფერ-ყვითელი, მოოქროსფრო-ყვითელი, მოყვითალო-მურა, ხანდახან მომწვანო ფერი გადაჰკრავს, ფურცლოვანი, ქერცლოვანი. დანის წვერით ადვილად იპობა მოქნილ, მაგრამ არადრეკად ფურცლებად. წააგავს მურა ქარსს (ფლოგოპიტს). ქარსისაგან განსხვავებით გათბობისას ასანთის ალის ზემოთ იბურცება, ჰიასავით იკლაკნება, იპობა თხელ ფურცლებად. ამ დროს მოცულობა 18 — 25-ჯერ იზრდება.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: იყენებენ როგორც სითბოსაიზოლაციო მასალას ქვაბების, ღუმელებისა და ორთქლის მილების შემოსაცხებად. ვერმიკულიტი არის აგრეთვე შესანიშნავი ხმისმშთანთქმელი მასალა. იყენებენ თვითმფრინავების კაბინების, საგანგებო ლაბორატორიებისა და სხვ. მოსაწყობად. იგი გვხვდება შპალერების წარმოებაშიც (გამოწვის შემდეგ იძენს ლამაზ მოოქროსფრო და მოვერცხლისფრო ფერს). ვერმიკულიტს იყენებენ საბჭოთა კავშირის, ინგლისის, ამერიკის შეერთებული შტატების, იტალიის და სხვა ქვეყნების სოფლის მეურნეობაში, როგორც ნაყო-

ფიერების ქვას. მას აქვს უნარი ნიადაგს წყალი და მარილი შეუნარჩუნოს. ვერმიკულიტის გამოყენება ზოგიერთ ადგილებში ბოსტნეულის მოსავალს 20-ჯერ ზრდის. იგი მცენარეთა ფესვებს სიცხეში გადახურებისაგან იცავს, ხოლო დაბალი ტემპერატურისას — დაზრობისაგან.

ო) შავი ქარსი, ანუ ბიოტიტი } $K(Fe,Mg)_3(OH,F)_2\ [AlSi_3O_{10}]$; ფერი შავი. ფურცლოვანი, ქერცლოვანი. ფურცლები ადვილად სცილდება დანის წვერით.

ფხვნილი ყვითელი, ნარინჯისფერი, წითელი:

პ) აურიპიგმენტი (AS_2S_3). ფერი ლიმონისებრ-ყვითელი. ფხვნილი ღია ფერის ლიმონისებრ-ყვითელი. თანამგზავრი — რეალგარი (ნარინჯისფერ-წითელი ფერის).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: დარიშხანის მადანი.

ჟ) რეალგარი (AsS). ფერი ნარინჯისფერ-წითელი. ფხვნილი ნარინჯისფერ-წითელი (განსხვავება სინგურისაგან). თანამგზავრი — აურიპიგმენტი (ლიმონისებრ-ყვითელი ფერის).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: დარიშხანის მადანი.

რ) სინგური (HgS). ფერი ხასხასა წითელი, მუქი წითელი. ფხვნილი სისხლისებრ-წითელი (განსხვავება რეალგარისაგან). თანამგზავრი— სურმის კრიალა (ტყვიისფერ-ნაცრისფერი).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვერცხლისწყლის მადანი.

ფხვნილი ნაცრისფერი, შავი:

ს) გრაფიტი (C). შეხებით ცხიმოვანი. ფერი შავი. მთლიანი მკვრივი ან ქერცლოვანი მასა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული ფანქრების წარმოებისათვის.

2. ფრჩხილი ვერ კაწრავს მინერალს; მინერალი ვერ კაწრავს მინას.

იწვის ან ადვილად დნება:

ა) თვითნაბადი გოგირდი (S). ფერი ღია ყვითელი, მომწვანო, მურა, შავი, ნაცრისფერი. იწვის ასანთზე ლურჯი ალით, გამოყოფს მკვეთრ, მახრჩობელა სუნს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: გოგირდმჟავას მისაღები ნედლეული.

ბ) ქარვა ($C_{10}H_{16}O_4$). ფერი თაფლისებრ-ყვითელი, მურა, მურა წითელი, შავი, თეთრი. ასანთზე იწვის და გამოყოფს სასიამოვნო, მიხაკის სუნს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სანაკეთო მასალა.

გ) ქვანახშირი. ფერი მუქი მურა, შავი. ფხვნილი მუქი მურა. იწვის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: განამარხებული საწვავი.

დ) ანტრაციტი. ფერი შავი. ფხვნილი შავი. ბრჭყვიალა. მყიფე. იწვის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: განამარხებული საწვავი.

არ იწვის:

ფხვნილი თეთრი ან ფხვნილს არ იძლევა:

აქვს გემო:

ე) ქვამარილი, სუფრის მარილი, ანუ გალიტი (NaCl). უფერო, თეთრი, მონაცრისფრო, ლურჯი, წითელი. გემო მლაშე. ადვილად იპობა კუბის წახნაგებზე.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მარილმჟავას მისაღები ნედლეული; იხმარება საკვებში, აგრეთვე თევზიისა და ხორცის დასამარილებლად და დასაკონსერვებლად.

ვ) სილვინი (KCl) ფერი რძისებრ-თეთრი. გემო მოომწარო-მლაშე. ადვილად იპობა კუბის წახნაგებზე.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალიუმის სასუქის მისაღები ნედლეული.

ზ) გლაუბერის მარილი, ანუ მირაბილიტი ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$). უფერო, თეთრი. გემო მწარე-მლაშე. ჰაერზე კარგავს წყალს და იფარება ფხვიერი თეთრი ფხვნილის ფენით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სოდის მისაღები ნედლეული. იყენებენ ნავთობგადამმუშავებელ ქარხნებში..

თ) კარნალიტი ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$). ფერი წითელი, მოყვითალო. გემო მწარე. ჰაერში შემავალი სინესტის ზეგავლენით სითხედ იქცევა. გადანატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალიუმის სასუქების მისაღები ნედლეული.

გემო არა აქვს:

ი) კალციტი, ანუ კირის შპატი ($CaCO_3$). უფერო (ისლანდიური შპატი), თეთრი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, იისფერი, მურა, შავი. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ისლანდიურ შპატს იყენებენ ოპტიკურ წარმოებაში.

კ) დოლომიტი [$CaMg(CO_3)_2$]. ფერი თეთრი, ნაცრისფერი, მომწვანო, შავი. ფხვნილადქცეული დუღს მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ცეცხლგამძლე სამშენებლო მასალა.

ლ) მაგნეზიტი ($MgCO_3$). მარმარილოს მსგავსი მმასები, რომლებიც თეთრი ან მონაცრისფრო წაგრძელებულლი მარცვლებისაგანაა აგებული, ანდა თეთრი, კრემისფერი, მოყვითალო, მურა და ნაცრისფერი მკვრივი ფაიფურისმაგვარი წარმონაქმნები. ფხვნილი დუღს შემთბარი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ცეცხლგამძლე სამშენებლო მასალა.

მ) სიდერიტი, ანუ რკინის შპატი ($FeCO_3$). ფერი მოყვითალო-ნაცრისფერი, მოყვითალო-მურა, მურა. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: რკინის მადანი.

ნ) ანჰიდრიტი ($CaSO_4$). ფერი თეთრი, მოცისფრო-მოლურჯო, იისფერი, მოწითალო, მოვარდისფრო. ერთიანნი მარცვლოვანი მარმარილოსებური მასა. მარილმჟავაზე აარ რეაგირებს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: გოგირდმჟავას მისაღები ნეღლეული; ლამაზი შეფერილობის სახესხვაობებს იყენებენ როგორც სანაკეთო ქვებს.

ო) ფლუორიტი, ანუ მდნობი შპატი (CaF_2). უფერო, მონაცრისფრო, მოვარდისფრო, წითელი, მომწვანო, ცისფერი, იისფერი შავამდე, ხანდახან ზოლებიანი; ხშირად

ეითსა და იმავე ნიმუშსაც ეცვლება ფერი. გვხვდება ერთიანი მარცვლოვანი, მკვრივი ან მიწისმაგვარი, აგრეთვე სვეტისებური აგებულების მასის სახით. ხანდახან აქვს კუბის ფორმის კრისტალები.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მდნობი (ფტორწყალბადის) სიმჟავის მისაღები ნედლეული.

ბ) აპატიტი $[Ca_5(F,Cl)(PO_4)_3]$. ფერი მკრთალი მწვანე, მოცისფრო-მწვანე, მოლურჯო-მწვანე, ხანდახან მკრთალი მწვანე ნაცრისფერი ლაქებით. მთლიანი მარცვლოვანი მასები ანდა ექვსკუთხა, პრიზმული, ფირფიტისებური კრისტალები.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ფოსფოროვანი სასუქების მისაღები ნედლეული.

ე) დრუნგალი, ანუ სერპენტინი $\{Mg_6(OH)_2[Si_4O_{10}]\}$ ფერი მოყვითალო-მწვანე, მუქი მწვანე, შავამდე. ხშირად შეინიშნება ფერის ცვლა ნიმუშის სხვადასხვა ნაწილებში. ერთიანი მკვრივი მასა, ხანდახან შეიცავს აზბესტის ძარღვებს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ლამაზი შეფერილობის სახესხვაობებს იყენებენ როგორც სანაკეთო ქვებს.

რ) ქრიზოტილი—აზბესტი, ანუ მთის ხელი $\{Mg_6(OH)_8[Si_4O_{10}]\}$ ფერი მომწვანო-ყვითელი ოქროსფერი ელფერით, თითქმის თეთრი. შედგება უწვრილესი ბოჭკოებისაგან, რომლებიც ბზარების კედლების მიმართ პერპენდიკულარულადაა განლაგებული და ადვილად იღებს ბამბის სახეს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ცეცხლგამძლე მასალა.

ს) თეთრი ქარსი, ანუ მუსკოვიტი $\{KAl_2(OH,F)_2[AlSi_3O_{10}]\}$ უფერო, თეთრი. ფურცლოვანი, ქერცლოვანი. დანის წვერით ადვილად სცილდება მოქნილი, დრეკადი ფურცლები.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული ელექტრომრეწველობისათვის.

ტ) მურა ქარსი (ფლოგოპიტი) $\{KMg_3(OH,F)_2[AlSi_3O_{10}]\}$ ფერი მურა. ფურცლოვანი, ქერცლოვანი. დანის წვერით ადვილად სცილდება მოქნილი, დრეკადი ფურცლები. წააგავს ვერმიკულიტს. განსხვავება — მ მურა ქარსი ასანთის ალისაგან არ იცვლება.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: იგივე, რაც თეთრი ქარსისა.

ფხვნილი ყვითელი, მურა, წითელი:

უ) მურა რკინაქვა ანუ ლიმონიტი $(I(Fe_2O_3 \cdot nH_2O)$. ფერი მურა-ჟანგისფერი, რკინისებრ-შავი; ხშირად შეინიშნება ოხრა-ყვითელი ფერის ლაქები. ფხვნილი მუმურა-ჟანგისფერი ან ოხრა-ყვითელი. აქვს ნადენი წარმონაქმნების (სტალაქტიტები და სხვა ფორმები), მკვრივი მასებების ან წიდის მსგავსი გროვების სახე.

ფ) თუთიის კრიალა, ანუ სფალერიტი (ZnS). ელვარება ალმასისებური. ფერი ყვითელი, მურა, მოწითალო, მუმურა შავი. ფხვნილი ღია ყვითელი, ღია მურა ფერის. მსუბუქი. გაპობისას იძლევა სწორ ზედაპირს რამდენიმე მიმართულებით (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან). გვხვდება ერთიანი მარცვლოვანი მასების ანდა სხვა მინერალებსა და ქანებში ჩანაწინწკლების სახით. თანამგზავრები: ტყვიის კრიალა (ტყვიისებრ-ნაცრისფერი), გოგირდის ალმადანი (ღია ფერის, თითბრისებრ-ყვითელი), სპილენძის ალმადანი (თითბრისებრ-ყვითელი).

ქ) ვოლფრამიტი $[(Fe,Mn)WO_4]$. ფერი მუქი, შავამდე. მძიმე. გაპობისას ერთი მიმართულებით სწორ ზედაპირს იძლევა (განსხვავება თუთიის კრიალასაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვოლფრამის მადანი.

ღ) სინგური (HgS). ფერი ხასხასა წითელი, მუქი წითელი. ფხვნილი სისხლისებრ-წითელი. თანამგზავრი — სურმის კრიალა (ტყვიისებრ-ნაცრისფერი, ფოლადისებრ-ნაცრისფერი).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვერცხლისწყლის მადანი.

ყ) წითელი რკინაქვა, ანუ ჰემატიტი (Fe_2O_3). ფერი ალუბლისებრ-წითელი, მუქი წითელი. ფხვნილი ალუბლისებრ-წითელი (მწიფე ალუბლის მსგავსი).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: რკინის მადანი.

ფხვნილი მწვანე:

შ) მალაქიტი $\{Cu_2(OH)_2[CO_3]\}$ ფერი ხასხასა მწვანე, ბალახისებრ-მწვანე. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სანაკეთო, დეკორატიული ქვა.

ფხვნილი ცისფერი, იისფერი:

ჩ) აზურიტი $[Cu_3(OH)_2(CO_3)_2]$. ფერი ლურჯი. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სპილენძის მადანი.

ც) ფლუორიტი, ანუ მდნობი შპატი (CaF_2). ფერი იისფერი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მდნობი (ფტორწყალბადის) მჟავას მისაღები ნედლეული.

ფხვნილი ნაცრისფერი, შავი:

ა) ფოსფორიტი $[Ca_5(Cl,F)(PO_4)_3]$. ფერი მუქი ნაცრისფერი, შავი. გვხვდება სხვადასხვა ფორმის ბებერების, ხანდახან კი ბურთულების სახით. გაპობისას ხშირად ამჟღავნებს რადიალურ-სხივურ აგებულებას. ნაჭრების ერთმანეთზე ხახუნისას დამწვარი ძვლის სუნს გამოსცემს.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ფოსფორული სასუქების მისაღები ნედლეული.

ბ) თუთიის კრიალა, ანუ სფალერიტი (ZnS). ფერი ნაცრისფერი, შავამდე. მსუბუქი. გაპობისას რამდენიმე მიმართულებით გადანატეხის სწორ ზედაპირს იძლევა (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან). თანამგზავრები: ტყვიის კრიალა (ტყვიისებრ-ნაცრისფერი), გოგირდის ალმადანი (ღია ფერის, თითბრისებრ-ყვითელი), სპილენძის ალმადანი (თითბრისებრ-ყვითელი).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: თუთიის მადანი.

გ) ვოლფრამიტი $[(Fe,Mn)WO_4]$. ფერი მურა, შავამდე. მძიმე. გაპობისას ერთი მიმართულებით იძლევა სწორ ზედაპირს (განსხვავება თუთიის კრიალასაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვოლფრამის მადანი.

8. მინერალი კაწრავს მინას, მაგრამ ვერ კაწრავს მთის ბროლს.

უფერო, თეთრი ფერის, ღია ნაცრისფერი:

დ) მ ი ნ დ ვ რ ი ს შ პ ა ტ ი (ორტოკლაზი) { $K[AlSi_3O_8]$ } ფერი თეთრი, ღია ნაცრისფერი. გაპობისას ორი მიმართულებით იძლევა სწორ, კრიალა, თითქოს გაშლიფულ ზედაპირს, მესამე მიმართულებით კი უსწოროს (განსხვავება კვარცისაგან). ერთიანი მარცვლოვანი მკვრივი მასა, ან ჩანაწინწკლები ქანში.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ნედლეული ფაიფურ-ქაშანურისა და მინის წარმოებისათვის.

ე) კ ვ ა რ ც ი (SiO_2). ფერი თეთრი ან ღია ნაცრისფერი. მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო (განსხვავება მინდვრის შპატისაგან). ერთიანი მარცვლოვანი მკვრივი მასა; გვხვდება აგრეთვე ქანში ჩანაწინწკლებისა და ფხვიერი კვარცის ქვიშის სახით.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ნედლეული მინის წარმოებისათვის.

ვ) მ თ ი ს ბ რ ო ლ ი (SiO_2). უფერო. აქვს ექვსწახნაგა პრიზმული კრისტალების სახე, რომლებიც პირამიდებით ბოლოვდება, ანდა ერთიანი მკვრივი მასის უსწორმასწორო გადანატეხით.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ფერადი ქვა.

ფერი ყვითელი, მურა, ვარდისფერი, წითელი:

ფხვნილს იძლევა:

ზ) მ უ რ ა რ კ ი ნ ა ქ ვ ა, ანუ ლ ი მ ო ნ ი ტ ი ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). ფერი მურა ჟანგისფერი. ფხვნილი მურა ჟანგისფერი, ოხრა-ყვითელი. აქვს ერთიანი მკვრივი მასების ან ნადენი წარმონაქმნების (სტალაქტიტები და სხვა ფორმები) სახე. ხანდახან წიდისებურია ანდა შეცემენტებული ფხვიერი წვრილ-წვრილი ბურთულების სახე აქვს.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: რკინის მადანი.

თ) წ ი თ ე ლ ი რ კ ი ნ ა ქ ვ ა, ანუ ჰ ე მ ა ტ ი ტ ი (Fe_2O_3). ფერი ალუბლისებრ-წითელი. ფხვნილი ალუბლისებრ-წითელი (მწიფე ალუბლის მსგავსი). ერთიანი მარცვლოვანი მკვრივი მასა.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: რკინის მადანი.

ი) ვ ო ლ ფ რ ა მ ი ტ ი [(Fe,Mn)WO_4]. ფერი მურა. ფხვნილი მურა, თითქმის შავი. მძიმე. გაპობისას ერთი მიმართულებით მონატეხის სწორ ზედაპირს იძლევა (განსხვავება კალის ქვისაგან).

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ვოლფრამის მადანი.

კ) კ ა ლ ი ს ქ ვ ა, ანუ კ ა ს ი ტ ე რ ი ტ ი (SnO_2). ფერი მურა. ფხვნილი ღია მურა, თეთრი. მძიმე. გადანატეხის ზედაპირი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან).

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: კალის მადანი.

ფხვნილს არ იძლევა:

ლ) მ ი ნ დ ვ რ ი ს შ პ ა ტ ი (ო რ ტ ო კ ლ ა ზ ი). { $K[AlSi_3O_8]$ } ფერი ყვითელი, მოვარდისფრო, წითელი. ელვარება მინისა. გაპობისას ორი მიმართულებით სწორი, კრიალა ზედაპირი შეინიშნება, მესამე მიმართულებით კი — უსწორმასწორო და მქრქალი (განსხვავება ნეფელინისაგან). ერთიანი მარცვლოვანი მკვრივი მასა ან ჩანაწინწკლები ქანში.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ნედლეული ფაიფურ-ქაშანურისა და მინის წარმოებისათვის.

მ) ნ ე ფ ე ლ ი ნ ი, ანუ ც ხ ი მ ო ვ ა ნ ი ქ ვ ა. { $(NaK)[AlSiO_4]$ } მონაცრისფრო-თეთრი, მოყვითალო, მორუხო, მოწითალო ელფერით. ელვარება ცხიმოვანი. ერთიანი მკვრივი მასა. გადანატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო (განსხვავება მინდვრის შპატისაგან).

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ალუმინის მადანი.

ნ) ქ ა ლ ც ე დ ო ნ ი (SiO_2). ელვარება ცვილისებური. ფერი ყვითელი, ღია ყავისფერი, მუქი მურა, წითელი. ერთიანი მკვრივი ნადენი მასა, რომლის შიგნით ზოგჯერ გვხვდება სიცარიელეები კვარცის წვრილი კრისტალებით. გადანატეხი უსწორმასწორო. გადანატეხში ხშირად იძლევა ბასრ, მჭრელ ნაპირებს.

ო) გ რ ა ნ ა ტ ი. ფერი მუქი მურა, მუქი წითელი, წითელი, მურა წითელი. გვხვდება ცალკეული კრისტალების, აგრეთვე ქანში ჩანაწინწკლების სახით.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ფერადი ქვა.

ფერი მწვანე:

პ) რ ქ ა ტ ყ უ ა რ ა — { $Ca_2Na(Mg\ Fe^{..})_4(Al, Fe^{...})\ [(Si, Al)_4O_{11}]\ (OH)_2$ }.

ჟ) ა ვ გ ი ტ ი { $Ca, Na)\ (Mg, Fe^{..}, Al, Fe^{...})\ [(Si, Al)_2O_6]$ } ფერი მუქი მწვანე. ერთიანი მასა, რომელიც პრიზმული ან წიწვისებური მარცვლებისაგან შედგება. ამას გარდა გვხვდება ქანში ჩანაწინწკლების სახით. ფხვნილი მომწვანოა. რქატყუარა ახასიათებს ღია შეფერილობის ქანებს, ავგიტი კი — მუქ ქანებს. ამ ორი მინერალის გარჩევა მხოლოდ მიკროსკოპით შეიძლება.

რ) ა მ ა ზ ო ნ ი ს ქ ვ ა, ანუ ა მ ა ზ ო ნ ი ტ ი { $K[AlSi_3O_8]$ } ფერი ღია მწვანე, ბალახისებრ-მწვანე. ფხვნილს არ იძლევა. გაპობისას ორი მიმართულებით სწორი, კრიალა ზედაპირი შეინიშნება, მესამე მიმართულებით კი — მქრქალი და უსწორმასწორო. ერთიანი მარცვლოვანი მკვრივი მასა.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: სანაკეთო ქვა.

ფერი ცისფერი, ლურჯი, იისფერი:

ს) ქ ა ლ ც ე დ ო ნ ი (SiO_2). ელვარება ცვილისებური. ფერი მოცისფრო-ნაცრისფერი, მოლურჯო. მონატეხი უსწორმასწორო. ერთიანი მკვრივი მასა, რომლის შიგნითაც ხანდახან შეინიშნება სიცარიელეები კვარცის წვრილი კრისტალებით. მონატეხში ხშირად იძლევა ბასრ, მჭრელ ნაპირებს.

ტ) ა მ ე თ ი ს ტ ო (SiO_2). ელვარება მინისებური. ფერი იისფერი. ექვსწახნაგა პრიზმული კრისტალები, რომლებიც პირამიდებით ბოლოვდება ან ერთიანი მკვრივი მასა. მონატეხი უსწორმასწორო.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: ფერადი ქვა.

ფერი მუქი ნაცრისფერი, შავი.

ფხვნილს იძლევა:

უ) მ უ რ ა რ კ ი ნ ა ქ ვ ა, ანუ ლ ი მ ო ნ ი ტ ი ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). ფერი რკინისებრ-შავი. ფხვნილი მურა ჟანგისფერი.

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: რკინის მადანი.

ფ) წ ი თ ე ლ ი რ კ ი ნ ა ქ ვ ა, ანუ ჰ ე მ ა ტ ი ტ ი (Fe_2O_3). ფერი რკინისებრ-შავი. ფხვნილი ალუბლისებრ-წითელი (მწიფე ალუბლის მსგავსი).

პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა: რკინის მადანი.

ქ) მაგნიტური რკინაქვა, ანუ მაგნეტიტი (Fe_3O_4). ფერი რკინისებრ-შავი. ფხვნილი შავი. მაგნიტური.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: რკინის მადანი.

ღ) ქრომიანი რკინაქვა, ანუ ქრომიტი ($Cr_2O_3 \cdot FeO$). ფერი რკინისებრ-შავი. ფხვნილი მურა (განსხვავება მაგნიტური რკინაქვისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ქრომის მადანი.

ყ) ვოლფრამიტი [$(Fe,Mn)WO_4$]. ფერი შავი. ფხვნილი მურა, თითქმის შავი. მძიმე. გაპობისას ერთი მიმართულებით მონატეხის სწორ ზედაპირს იძლევა (განსხვავება კალის ქვისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ვოლფრამის მადანი.

შ) კალის ქვა, ანუ კასიტერიტი (SnO_2). ფერი შავი. ფხვნილი ღია მურა, თეთრი. მძიმე. გაპობისას ყველა მიმართულებით გადანატეხის უსწორმასწორო ზედაპირს იძლევა (განსხვავება ვოლფრამიტისაგან).

პრაქტიკული მნიშვნელობა: კალის მადანი.

ჩ) ფოსფორიტი [$Ca_5(Cl,F)(PO_4)_3$]. ფერი მუქი ნაცრისფერი. გვხვდება სხვადასხვა ფორმის ბებერების, აგრეთვე ბურთულების სახით. განაპობში ხშირად ამჟღავნებს რადიალურ-სხივურ აგებულებას. ნატეხების ერთმანეთზე ხახუნისას დამწვარი ძვლის სუნს გამოსცემს. ფხვნილი მინერალზე უფრო ბაცი ფერისაა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ფოსფორული სასუქების მისაღები ნედლეული.

ც) რქატყუარა

{$Ca_2Na(Mg,Fe^{··})_4\ (Al,\ Fe^{···})\ [(Si,Al)_4O_{11}]_2(OH)_2$}

და ავგიტი {$(Ca,Na)\ (Mg,Fe^{··},\ Al,Fe^{···})\ [(Si,Al)]_2O_6$} ფერი შავი. გვხვდება პრიზმული ან წიწვოვანი აგებულების ერთიანი მასების ან ქანებში ჩანაწინწკლების სახით. ფხვნილი მწვანე ან შავი. რქატყუარა ახასიათებს ღია ფერის ქანებს, ავგიტი კი — უფრო მუქი ფერისას. ამ ორი მინერალის გარჩევა მხოლოდ მიკროსკოპით შეიძლება.

ფხვნილს არ იძლევა:

ა) ლაბრადორი (მინდვრის შპატი). ფერი მუქი ნაცრისფერი, მომწვანო-ნაცრისფერი. ახასიათებს ლურჯი ელფერი, რაც ხშირად ჩანს მონატეხის სწორ ზედაპირზე. ყველაზე უფრო ხშირად გვხვდება მსხვილმარცვლოვანი მასების სახით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მოსაპირკეთებელი სამშენებლო მასალა.

ბ) კვარცი (SiO_2). ელვარება მინისებური. ფერი ბოლისებური (რაუხტოპაზი), შავი (მორიონი). ექვსწახნაგა პრიზმული კრისტალები, რომლებიც პირამიდებით ბოლოვდება; გავრცელებულია აგრეთვე ერთიანი მკვრივი მასებისა და ქანში ჩანაწინწკლების სახით. მონატეხი უსწორმასწორო.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული რადიომრეწველობისათვის.

გ) ქალცედონი (SiO_2). ელვარება ცვილისებური. ფერი ნაცრისფერი, შავი ერთიანი, მკვრივი. მონატეხის ნაპირები ბასრი, უსწორმასწორო.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: დეკორატიული სამშენებლო მასალა.

მინერალი ჭრელია, მრავალფერი:

დ) იასპი (SiO_2). შეფერილობა ჭრელი, მრავალფერი. ერთიანი მკვრივი მასა. მონატეხი უსწორმასწორო. ხშირად შეინიშნება სხვა ფერის ძარღვები.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სანაკეთო დეკორატიული ქვა.

ე) აგატი (SiO_2). შეფერილობა ზოლიანი. სხვადასხვა ფერის ცალკეული ფენები ზოლებადაა დალაგებული.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: სანაკეთო და დეკორატიული ქვა.

4. მინერალი კაწრავს არა მარტო მინას, არამედ მთის ბროლსაც.

უფერო:

ვ) ტოპაზი {$Al_2(F,OH)_2[SiO_4]$} წყლისებრ-გამჭვირვალე. მონატეხის ზედაპირი ერთი მიმართულებით სწორი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ძვირფასი ქვა.

ზ) ალმასი (C). გამჭვირვალე. მონატეხის ზედაპირი უსწორმასწორო. მყიფე.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ძვირფასი ქვა.

ფერი ვარდისფერი, წითელი:

თ) ლალი, ანუ კორუნდი (Al_2O_3). ფერი ვარდისფერი, წითელი, გამჭვირვალე.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ძვირფასი ქვა.

ფერი მწვანე:

ი) ბერილი {$Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$} ფერი მკრთალი მწვანე, მუქი მწვანე (ზურმუხტი). მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ფერადი ქვა.

ფერი ცისფერი, ლურჯი:

კ) კორუნდი (Al_2O_3). ფერი მოცისფრო-ნაცრისფერი, ცისფერი, ლურჯი (საფირონი). ერთიანი წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი. კრისტალები თითისტარისა და კასრის ფორმისა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: აბრაზიული მასალა.

ლ) აკვამარინი, ანუ ბერილი {$Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$} ფერი მოლურჯო-ცისფერი (ზღვის წყლის ფერი). მონატეხი ყველა მიმართულებით უსწორმასწორო. კრისტალები ექვსწახნაგა პრიზმის სახისა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ფერადი ქვა.

III. მინერალი მქრქალი

იწვის:

მ) ტორფი. ფერი მურა, ყვითელი. შედგება სახეშეცვლილი მცენარეული ნარჩენებისაგან. ძალიან მსუბუქი. მშრალი ასანთზე იწვის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: განამარხებული საწვავი.

ნ) მურა ნახშირი. ფერი მურა, შავი. ფხვნილი მურა. ერთიანი მკვრივი ან მიწისმაგვარი მასა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: განამარხებული საწვავი.

არ იწვის.

ო) თეთრი თიხა, ანუ კაოლინიტი {$Al_4(OH)_8[Si_4O_{11}]$} ფერი თეთრი. წყალთან ერთად ქმნის პლასტიკურ მასას. დაორთქლებისას იგრძნობა თიხის სუნი.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული ფაიფურის წარმოებისათვის.

ბ) ცარცი ($CaCO_3$). ფერი თეთრი. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნედლეული ცემენტის წარმოებისათვის; იყენებენ აგრეთვე, როგორც საწერ მასალას.

ფერი ყვითელი, წითელი, მურა:

ე) ბოქსიტი ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$). ფერი აგურისფერ-წითელი, მურა წითელი. გარეგნულად მიწისმაგვარი, თიხის მსგავსი. თიხისაგან განსხვავებით წყალთან ერთად არ ქმნის პლასტიკურ მასას.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ალუმინის მადანი.

რ) ყვითელი ოხრა, ანუ მურა რკინაქვა ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). ფერი ოხრა-ყვითელი. მიწისმაგვარი, ფხვნილისებური. ხელებს სვრის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მინერალური საღებავი.

ს) წითელი ოხრა, ანუ ჰემატიტი (Fe_2O_3). ფერი ალუბლისებრ-წითელი. მიწისმაგვარი, ფხვნილისებური. ხელებს სვრის.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მინერალური საღებავი.

ფერი მწვანე:

ტ) სპილენძის მწვანე, ანუ მალაქიტი [$Cu_2(OH)_2[CO_3]$] ფერი მწვანე. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მინერალური საღებავი.

უ) გარნიერიტი [$Ni_4(OH)_4[Si_4O_{10}]4H_2O$] ფერი მოცისფრო-მწვანე, ვაშლისებრ-მწვანე, ბალახისებრ-მწვანე, მკვრივი, მიწისებური მასა.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: ნიკელის მადანი.

ფერი ცისფერი, ლურჯი:

ფ) სპილენძის ლურჯი, ანუ აზურიტი [$Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$]. ფერი ლურჯი, ცისფერი. დუღს გახსნილი მარილმჟავას მოქმედებით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მინერალური საღებავი.

ფერი შავი:

ქ) პიროლუზიტი (MnO_2). ფერი შავი. ხელებს სვრის. გვხვდება ერთიანი მიწისმაგვარი მასის სახით ან შედგება შეცემენტებული წვრილი, ფხვიერი ბურთულებისაგან.

პრაქტიკული მნიშვნელობა: მარგანეცის მადანი.

როგორ განვსაზღვროთ ესა თუ ის ქანი

ბევრი ქანი ძვირფასი სამშენებლო მასალა ან რომელიმე მეტალის მადანია. იმისათვის, რომ ვიმსჯელოთ ქანის ღირებულებასა და მრეწველობაში მისი გამოყენების შესაძლებლობის შესახებ, პირველ რიგში აუცილებელია, განვსაზღვროთ ეს ქანი, ე. ი. დამახასიათებელი ნიშნებით გავიგოთ მისი სახელწოდება და შემდეგ მის ყველა თვისებას გავეცნოთ.

განსაკუთრებით რთულ, რამდენიმე მინერალისაგან შემდგარ ქანებს საგანგებო ლაბორატორიებში საზღვრავენ მიკროსკოპის, ქიმიური ანალიზებისა და კვლევის სხვა მეთოდების დახმარებით.

ქანის მიახლოებით განსაზღვრა მიკროსკოპის გარეშეც შეიძლება. ველზე მომუშავე გეოლოგებიც სწორედ ასე იქცევიან. ეს განსაზღვრა სავსებით ხელმისაწვდომია ნორჩი გეოლოგებისთვისაც. საჭიროა მხოლოდ გვქონდეს მილიმეტრებიანი ქაღალდი, ლუპა, რომელიც სულ ცოტა ოთხჯერ მაინც გაადიდებს საგანს, დანა ან ნემსი, გახსნილი მარილმჟავა და გეოლოგიური ჩაქუჩი.

თუ ქანი ფხვიერია და დიდრონი ნამტვრევებისაგან შედგება, მაშინ ნამტვრევებს მილიმეტრებიანი ქაღალდით ზომავენ და თან აკვირდებიან, როგორი ფორმა აქვთ მათ: დაკუთხული (ღორღი), თუ მომრგვალებული (ხვინჭა, კენჭი). თუ ნამტვრევები წვრილია, ისეთი, როგორც ქვიშის მარცვლებია, მათ თხელ ფენად ყრიან მილიმეტრებიან ქაღალდზე და აკვირდებიან (უკეთესია ლუპით), რა ზომისაა ქანის ცალკეული მარცვლები და რომელი მინერალის განსაზღვრა შეიძლება მათ შორის.

ფხვიერი ქანები მკვრივი ქანების დაშლის შედეგად ჩნდება, ამიტომ მათი ნამტვრევები შეიძლება გრანიტის, ფიქლისა, კირქვისა და სხვა რომელიმე ქანისა იყოს. იმისათვის, მაგალითად, რომ ქვარგვალი აღვწეროთ, აუცილებელია დავაზუსტოთ, სახელდობრ რომელი ქანებისაგან შედგება ცალკეული კენჭები და ნამტვრევები.

მკვრივი ქანები გვხვდება გაშიშვლებებში. როცა მკვრივი ქანის გამოსავალს წააწყდებით, ჯერ უნდა დაათვალიეროთ, როგორაა იგი ჩაწოლილი: შრეებად, ერთიან მასად თუ ძარღვების სახითაა გამოსული. შრეებად, ჩვეულებრივ, დანალექი და ხშირად მეტამორფული ქანებიც ლაგდება. მასიურობაა უფრო მაგმურ ქანებს ახასიათებს. ისინი ხშირად მართკუთხაა და მრავალკუთხა ნამტვრევებადაა დაპობილი ბზარებით.

ძარღვების სახე სხვადასხვა წარმოშობის ქანებს აქვს.

ქანის განსაზღვრისათვის აუცილებელია გავიგოთ, როგორი აგებულება აქვს მას და რომელი მინერალებისაგან შედგება. ქანს ყოველთვის მისი საღი ზედაპირით საზღვრავენ. გამოფიტვის შედეგად ქანის ზედაპირი ხშირად ძალზე იცვლება. ამისათვის ახალი, სახეშეუცვლელი ზედაპირის მისაღებად კლდეს ჩაქუჩით უნდა ჩამოვამტვრიოთ ქანის ნაჭერი ან ნამტვრევი უნდა გავტეხოთ. ქანის ახალი

ზედაპირი ლუპით უნდა გაისინჯოს. იგი შეიძლება იყოს მიწისმაგვარი (მაგალითად, თიხა), ან მინისმაგვარი (მაგალითად, ობსიდიანი), ან მარცვლოვანი (მაგალითად, გრანიტები), ან პორფირული, როცა მინისმაგვარ ან მეტად წვრილმარცვლოვან მასაში დიდრონი მარცვლები გვხვდება (მაგალითად, პორფირიტი).

იმისათვის, რომ ქანის სიმაგრე განსაზღვრონ, მის ნატეხს დანით ან ფრჩხილით კაწრავენ. თუ ქანი მაგარი მინერალებისაგან შედგება, იგი არც გაიჭრება დანით და არც მოიფხიკება. მაგრამ ზოგიერთი ქანიდან (მაგალითად, ქვიშნარიდან) დანით გაკაწვრისას შეიძლება ცალკეული მარცვლები გამოცვივდეს, რომელთა სიმაგრე დანის სიმაგრეზე მეტი იქნება.

დანალექი ქანები ხშირად უფრო ნაკლები სიმაგრისა და გამძლეობის მინერალებისაგან შედგება, ვიდრე მაგმური ან მეტამორფული ქანები.

ხშირად ქანები შეიძლება სიმკვრივითაც გაირჩეს. მაგმური და მეტამორფული ქანები, ჩვეულებრივ, დანალექ ქანებზე უფრო მძიმეა. განსაკუთრებით მძიმეა ის მაგმური ქანები, რომლებიც მუქი მინერალებისაგან შედგება.

სიმძიმის მიახლოებით განსაზღვრისათვის ქანის დაახლოებით ქათმის კვერცხისოდენა ნამტვრევებს ხელით ადარებენ ერთმანეთს.

ხშირად ქანები შეიძლება ფერის მიხედვით გამოვიცნოთ. გაბრო და დიორიტები ყოველთვის მუქი ფერისაა, გრანიტზე უფრო მუქი. ტრაქიტები და ლიპარიტები ჩვეულებრივ ღია ფერისაა, თითქმის თეთრი; დრუნგალი — ნაცრისფერ-მწვანე.

ქანი მინერალებისაგან შედგება. ამიტომ ქანის სახელწოდების დადგენისას აუცილებელია მისი შემადგენელი მინერალების განსაზღვრა. მინერალის განსაზღვრის წესებს თქვენ ნახავთ სტატიაში „როგორ გამოვიცნოთ მინერალები“ (იხ. გვ. 147). მაგრამ ქანის შემადგენელი მინერალები ძალზე პატარებია და მათი ცნობა არც ისე ადვილია.

მინერალებს ქანში, უპირველეს ყოვლისა, ფერის მიხედვით აარჩევენ. ჩვეულებრივ, უფრო მუქია ბიოტიტი, რქატყუარები; უფრო ღია ფერისაა კვარცი, მინდვრის შპატები, თეთრი ქარსი — მუსკოვიტი, კალციტი. ქანებისათვის მეტად დამახასიათებელია მათში კვარცისა და მინდვრის შპატების არსებობა ან არარსებობა. კვარცი და მინდვრის შპატები დანაზე მაგარია და ამიტომ დანა ვერ კაწრავს მათ, მაშინ, როცა კალციტზე განაკაწრი რჩება. კვარცი მინდვრის შპატისაგან გაინირჩევა იმით, რომ არ იტკეჩება. იმისათვის, რომ გავიგოთ, არის თუ არა ქანში კალციტი, ქანს მარილმჟავა უნდა დავაწვეთოთ: თუ ქანი კალციტს შეიცავს, მაშინ იგი შიშინით გამოყოფს ნახშირმჟავას. კალციტის არსებობა ყველაზე მეტად დანალექი ქანებისთვისაა დამახასიათებელი (კირქვები). ქარსების: ბიოტიტისა და მუსკოვიტის გამოცნობაც მათი კაარგი ტკეჩვადობით შეიძლება, რომელსაც ერთი მიმართულება აქვს. ისინი ადვილად იყოფა თხელ ფირფიტებად დანის ან ნემსის წვერით.

ხელსაყრელია, თუ მინერალებზე დაკვირვებას ლუპის საშუალებით ვაწარმოებთ.

ქანის განსაზღვრისას აუცილებელია მისი რაც შეიძლება მეტი თავისებურება შევნიშნოთ.

მოკლე მსაზღვრელში ქანები მათი თვისებების მიხედვით ჯგუფებადაა დაყოფილი. უპირველეს ყოვლისა, ქანები იყოფა ორ ჯგუფად: ფხვიერ და მკვრივ ქანებად. თითოეული ამ ჯგუფის ფარგლებში ქანები ისაზღვრება მათი სხვადასხვა თვისების, მაგალითად: მარცვლოვანობის, შრეებრიობის (ან ფიქლისებურობის), ფერისა და სხვათა მიხედვით. თუ ყურადღებით წაიკითხავთ მოკლე მსაზღვრელის ტექსტს, დავრწმუნდებით, რომ იგი მეტად იოლი გამოსაყენებელია.

ქანების მოკლე მსაზღვრელი

I. ფხვიერი ქანები

ქანის შემადგენელი ნამტვრევები დაკუთხულია, ზომა — 1-დან 10 სმ-მდე — ღორღი.

ქანის შემადგენელი ნამტვრევები მომრგვალებულია;

1) ცალკეული მარცვლები 2 მმ-ზე ნაკლებია—ქვიშაქვა;
2) „ „ 2-დან 10 მმ-მდე — ხვინჭა;
3) „ „ 1-დან 10 სმ-მდე — კენჭი;
4) „ ნამტვრევები 10 სმ-ზე მეტია — რიყის ქვა.

II. მკვრივი ქანები

ქანი შედგება სხვადასხვა ზომის ცალკეული მარცვლებისა და ნამტვრევებისაგან, შუალედებში მათი შემაკავშირებელი ცემენტია:

1) ცალკეული მარცვლები, მომრგვალებული, წვრილი — 2 მმ-ზე ნაკლები — ქვიშნარი;

2) ცალკეული მარცვლები, მომრგვალებული, სხვადასხვა ზომის — 1-დან 10 სმ-მდე — კონგლომერატი;

3) ცალკეული ნამტვრევები, დიდრონი, დაკუთხული — 1-დან 10 სმ-მდე — ბრექჩია.

ქანი მარცვლოვანია, კრისტალური; ქანის შემადგენელი ცალკეული მარცვლები (კრისტალები) მჭიდროდაა ერთმანეთთან განლაგებული.

ა) არაფენოვანი ქანი:

1) შედგება მხოლოდ კვარცის მარცვლებისაგან — კვარციტი;
2) შედგება კვარცის, მინდვრის შპატის, ქარსის ან რქატყუარასაგან, ფერი ღია ნაცრისფერი, მოწითალო ან ვარდისფერი — გრანიტი;
3) კვარცი არ არის, შედგება მინდვრის შპატის, ქარსის — ბიოტიტის ან რქატყუარასაგან, წააგავს გრანიტს, უფრო ხშირად ვარდისფერია, უფრო იშვიათად მოვარდისფრო-ნაცრისფერი — სიენიტი;
4) შედგება მინდვრის შპატის (პლაგიოკლაზის) და რქატყუარას ან ქარსის — ბიოტიტისაგან, წვრილმარცვლოვანი, ნაცრისფერი — დიორიტი;
5) შედგება მინდვრის შპატის (პლაგიოკლაზის) და მუქი მინერალებისაგან, მსხვილმარცვლოვანი, თითქმის შავი ფერის, ხშირად განსაკუთრებული პლაგიოკლაზის — ლაბრადორის — შემცველობის გამო ლურჯ ფერს დაიკრავს — გაბრო;

6) შედგება ერთი მინერალის — ოლივინისაგან, შავი მომწვანო ელფერით — დ უ ნ ი ტ ი;
7) შედგება კვარცისა და მინდვრის შპატის დიდრონი, დაკუთხული კრისტალებისაგან, რომლებიც ერთმანეთშია შეზრდილი და ძველ ებრაულ დამწერლობას წააგავს — პ ე გ მ ა ტ ი ტ ი (ანუ „საწერი გრანიტი“);
8) შედგება კალციტის წვრილი მარცვლებისაგან, დუღს მარილმჟავას მოქმედებით, სხვადასხვა ფერის — მ ა რ მ ა რ ი ლ ო.

ბ) შ რ ე ე ბ რ ი ვ ი ა ნ ფ ი ქ ლ ი ს ე ბ რ ი ქ ა ნ ი:

1) შედგება კვარცის, მინდვრის შპატისა და ქარსის მარცვლებისაგან (იგივე შემადგენლობა აქვს, როგორიც გრანიტს) — გ ნ ე ი ს ი;
2) შედგება მხოლოდ ქარსისა და კვარცისაგან — ქ ა რ ს ი ა ნ ი ფ ი ქ ა ლ ი.

ქანი ერთგვაროვანია, არამარცვლოვანი; ხანდახან მთლიან, ერთგვაროვან მასაში შეინიშნება ცალკეული მარცვლები:

ა) ქ ა ნ ი ე რ თ გ ვ ა რ ო ვ ა ნ ი ა, მ ო ნ ა ტ ე ხ ი მ ი ნ ი ს ე ბ უ რ ი ან ნ ი ჟ ა რ ი ს ე ბ უ რ ი მ ჭ რ ე ლ ი ნ ა პ ი რ ე ბ ი თ:

1) ფერი ნაცრისფერი, შავი, ხანდახან მურა, ლაქებიანი, ელვარება მინისებური — ო ბ ს ი დ ი ა ნ ი;
2) ფერი ყვითელ-ნაცრისფერი, ხანდახან შავი; მჭრქალი, არ ბრწყინავს — კ ა ჟ ი;
3) ზოლებიანი, ლაქებიანი, სხვადასხვა ფერის — ი ა ს პ ი.

ბ) ქ ა ნ ი ე რ თ გ ვ ა რ ო ვ ა ნ ი ა, ხ ა ნ დ ა ხ ა ნ მ ა რ ც ვ ლ ო ვ ა ნ ი:

1) რბილი, დანით იჭრება, დასველების შემდეგ თითებით ისრისება წვრილ ფხვნილად და ქმნის პლასტიკურ მასას; მურა ნაცრისფერი, ხანდახან თეთრი — თ ი ხ ა;
2) არ ისრისება, თიხაზე უფრო მკვრივია, იპობა თხელ მაგარ ფირფიტებად — თ ი ხ ა-ფ ი ქ ა ლ ი;
3) თეთრი, რბილი, ფრჩხილით იკაწრება, ხელებს სვრის, ტოვებს თეთრ ხაზს, მარილმჟავას მოქმედებით დუღს — ც ა რ ც ი;
4) თეთრი, მსუბუქი, ხელებს სვრის, წააგავს ცარცს, მაგრამ მარილმჟავას მოქმედებით არ დუღს — ქ ვ ა ც ა რ ც ი;
5) თეთრი, მოყვითალო, ნაცრისფერი, მკვრივი ან მარცვლოვანი, ხშირად შეიცავს სხვადასხვა განამარხებულ ნაშთებს, მარილმჟავას მოქმედებით დუღს — კ ი რ ქ ვ ა:
6) მკვრივი ან მარცვლოვანი, დუღს მხოლოდ შემთბარი მარილმჟავას მოქმედებით, ფერი თეთრი, მოყვითალო, მურა — დ ო ლ ო მ ი ტ ი;
7) ადვილად იკაწრება და იჭრება დანით, წყალში იხსნება, გემოთი მლაშეა, გამჭვირვალე ან ნახევრადგამჭვირვალე, გაპობისას იძლევა გლუვ, ბრჭყვიალა ზედაპირს — ქ ვ ა მ ა რ ი ლ ი;
8) წყალში არ იხსნება, ქათქათა თეთრი, მოვარდისფრო ან მოყვითალო, გვხვდება ბოჭკოვანი აგებულების, გაპობისას ხშირად გლუვ, კრიალა ზედაპირს იძლევა, ფირფიტოვანი, ხანდახან გამჭვირვალე — თ ა ბ ა შ ი რ ი;
9) რბილი, დანით იკაწრება, ერთგვაროვანი, მკვრივი, მწვანე, მუქი მწვანე ან ლაქებიანი, ნაპირებთან გამჭვირვალე — დ რ უ ნ გ ა ლ ი.

გ) ქ ა ნ ი ს ე რ თ ი ა ნ მ ა ს ა შ ი შ ე ი ნ ი შ ნ ე ბ ა ც ა ლ კ ე უ ლ ი მ ა რ ც ვ ლ ე ბ ი (ჩ ა ნ ა წ ი ნ წ კ ლ ე ბ ი):

1) ღია ფერის, ხშირად თეთრი, მინდვრის შპატისა და ხანდახან ქარსის ჩანაწინწკლებით — ლ ი პ ა რ ი ტ ი, ტ რ ა ქ ი ტ ი;
2) მუქი, მინდვრის შპატების, რქატყუარებისა და სხვა მუქი მინერალების ჩანაწინწკლებით — პ ო რ ფ ი რ ი ტ ი;
3) შავი, მძიმე, მინდვრის შპატების, ხანდახან ოლივინისა და მუქი მინერალების ძალზე წვრილი ჩანაწინწკლებით — ბ ა ზ ა ლ ტ ი.

*

მსაზღვრელში შეტანილია მხოლოდ ძალზე გავრცელებული მაგმური, დანალექი და მეტამორფული ქანები.

გეოლოგიური ცოდნის განვითარების მოკლე ქრონოლოგიური ტაგულა

უძველესი ხანა

624 — 547 *. უძველესი ნეპტუნისტი, ფილოსოფოსი თალესი ამტკიცებდა, რომ ყველაფერი, რაც არსებობს, მათ შორის დედამიწაც მასზე მცხოვრები ცოცხალი ორგანიზმებით, შეიქმნა და იქმნება წყლისაგან და კვლავ წყლად იქცევა. წყალი თალესს პირველყოფილ ქაოსურ თხევად მასად წარმოედგინა. სახელწოდება „ნეპტუნისტები“ წარმოიშვა ძველრომაული ზღვის ღმერთის ნეპტუნის სახელისაგან.

დაახლ. 530 — 470 *. უძველესი პლუტონისტი ფილოსოფოსი ჰერაკლიტე ამტკიცებდა, რომ ყველაფერი, რაც არსებობს, ცეცხლიდანაა წარმოშობილი და კვლავ ცეცხლით შთაინთქმება. სახელწოდება „პლუტონისტები“ წარმოიშვა მიწისქვეშა სამეფოს ძველბერძნული ღმერთის პლუტონის სახელისაგან.

დაახლ. 500 წ. ძველბერძენი ფილოსოფოსისა და მათემატიკოსის პითაგორეს მიმდევრები იმ დასკვნამდე მივიდნენ, რომ დედამიწა მრგვალია.

დაახლ. 485 — 425 *. ძველბერძენმა სწავლულმა ემპედოკლემ პირველმა გამოთქვა მოსაზრება იმის შესახებ, რომ დედამიწის ბირთვი ცეცხლოვან-თხიერია. იგი ამტკიცებდა, რომ ყველაფერი, რაც არსებობს, ოთხი ელემენტის, ანუ სტიქიისაგანაა წარმოშობილი. ესენია: ცეცხლი, მიწა, წყალი და ჰაერი, რომლებიც არ ისპობა, მაგრამ ცვლილებებს განიცდის.

384 — 322 *. ძველბერძენმა ფილოსოფოსმა არისტოტელემ პირველმა დაასაბუთა მეცნიერულად დედამიწის სფეროსებურობა. მისი წარმოდგენით დედამიწა ატმოსფეროთი გარშემორტყმული ბურთია. თავის თხზულებაში „მეტეოროლოგია“ არისტოტელემ გადმოგვცა მოსაზრება დედამიწის ზედაპირის ცვლილებებსა და მადნების წარმოშობაზე.

ახ. წ. 23 — 79 *. ძველრომაელმა სწავლულმა პლინიუს უფროსმა დაწერა თავისი თხზულება „ბუნებრივი ისტორია“ 37 წიგნად. მან მოგვცა ახალი მტკიცებები დედამიწის სფეროსებურობის შესახებ და სწორად ახსნა ზღვის მოქცევები და უკუქცევები დედამიწის წყლის გარსზე მზისა და მთვარის მოქმედების შედეგად. თავისი ისტორიის ოთხ ტომში პლინიუსმა უამრავი ცნობა მოგვცა იმ დროისათვის ცნობილ მინერალებსა და ქანებზე. პლინიუს უფროსი დაიღუპა იტალიაში ვულკან ვეზუვის ამოფრქვევაზე დაკვირვების დროს.

შუა საუკუნეები

(VI ს. — XVII ს. შუა წლები)

1021 — 1023. შუააზიელმა (ტაჯიკმა) სწავლულმა იბნ-სინამ (ავიცენამ) თავისი გეოლოგიური იდეები გადმოგვცა თხზულებაში „წიგნი გამომრთელებისა“. იბნ-სინას მთების წარმოშობა აინტერესებდა და მინერალებისა და მეტეორიტების შემადგენლობასა და თვისებებს სწავლობდა.

1048. უზბეკმა სწავლულმა ენციკლოპედისტმა ბირუნიმ დაწერა წიგნი „ძვირფას მინერალთა ამოსაცნობ ცნობათა კრებული“, რომელშიც იმ დროისათვის ცნობილი დაახლოებით ასი მინერალი აღწერა. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო ის, რომ მან 18 მინერალის სიმკვრივე დაადგინა.

1201—1274*. აზერბაიჯანელმა მათემატიკოსმა და ასტრონომმა მუჰამედ ნასირედინმა, რომელიც ტუსის სახელითაა ცნობილი, დაწერა წიგნი „მოძღვრება მინერალებზე“. ამ ნაშრომში მან 34 მინერალი აღწერა.

1452 — 1519 *. დიდი იტალიელი მხატვარი და სწავლული ლეონარდო და ვინჩი მილანში არხების მშენებლობაზე დაკვირვებისას გეოლოგიისა და პალეონტოლოგიის შესწავლას შეუდგა. იგი სასტიკად შეებრძოლა იმ დროს გამეფებულ შუა საუკუნეების წარმოდგენას დედამიწის წარმოშობასა და მის ისტორიაზე.

1530 — 1533. გერმანელმა ბუნების მკვლევარმა აგრიკოლამ (გეორგ ბაუერმა) დაწერა წიგნი მინერალოგიაზე, სამთო საქმეზე, მადნებისა და მეტალურგიის გამდიდრებაზე, რასაც თავის დროზე ძალზე დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა.

ახალი ხანა

(XVII ს. შუა წლები — XX ს)

1669. დანიელმა ნ. სტენომ შეისწავლა ტოსკანის გეოლოგიური აგებულება, სწორი წარმოდგენა მოგვცა დანალექი ქანების წარმოშობის პროცესზე და მოწინავე შეხედულებები გამოთქვა გეოლოგიის სხვადასხვა საკითხებზე.

1686. ჟ. რიშეს მიერ კაიენაში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე ნიუტონმა „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისების“ ხელნაწერში პირველმა მოგვცა ჩვენი პლანეტის ფორმის მათემატიკური დასაბუთება. დედამიწას აქვს სფეროიდის — ბურთისმაგვარი სხეულის — ფორმა, რომელიც პოლუსებთან შებრტყელებულია.

1700. სასარგებლო ნამარხების საძებნად და დასაზვერად პეტრე I რუსეთში დააარსა „მადნისმთხრელ საქმეთა უწყება“.

1719. პეტრე I დააარსა ბერგ-კოლეგია, ანუ სამთო საქმეთა კოლეგია, რომელსაც ჰყავდა „მადნის დამსმენთა“ — მაძიებელ-მზვერავთა ჯგუფი.

1723. რუსი მადნისმცოდნის გ. კაპუსტინის ექსპედიციამ დონბასში ქვანახშირის მადანი აღმოაჩინა.

1763. მ. ლომონოსოვის წიგნში „მეტალურგიის, ანუ მადნის საქმის პირველი საფუძველი“ დამატების სახით გამოქვეყნებულია მისი შესანიშნავი გეოლოგიური თხზულება „მიწის ფენათა შესახებ“.

1774. გაიხსნა პეტერბურგის უმაღლესი სამთო სასწავლებელი.

1774. ფრანგმა გეოლოგმა ნ. დემარემ შეისწავლა უძველესი ვულკანიზმი ცენტრალურ საფრანგეთში და დაადგინა,

---

* მითითებულია დაბადებისა და გარდაცვალების წლები.

რომ ბაზალტის ფენებსა და ოვერნის ჩამქრალ ვულკანებს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს. მანვე შეადგინა ცენტრალური საფრანგეთის პირველი გეოლოგიური რუკა.

1788. ჯ. გეტონმა, რომელიც წლების განმავლობაში სწავლობდა ქანებს, გამოსცა ნაშრომი „დედამიწის თეორია". გეტონის თეორიის მთავარი დებულება ის იყო, რომ ყველა ქანი უშუალოდ თუ არაპირდაპირი გზით დედამიწის შინაგანი სითბოს გავლენით წარმოიშვა. გეტონის მიმდევრებს ვულკანისტები ან პლუტონისტები ეწოდა.

1791. გერმანელმა გეოლოგმა ა. ვერნერმა წამოაყენა ნეპტუნიზმის პრიმიტიული თეორია, რომლის თანახმადაც ყველა ქანი და მათ შორის მაგმური ქანებიც ზღვის ფსკერის დანალექებისაგანაა წარმოშობილი. ვერნერის იდეები ფართოდ გავრცელდა, რამაც შეაჩერა გეოლოგიის განვითარება XVIII — XIX სს. მიჯნაზე გეტონს ეკუთვნის აგრეთვე ქანებისა და მინერალების კლასიფიკაცია მათი გარეგანი ნიშნების მიხედვით.

1809. გამოჩენილმა რუსმა მინერალოგმა ვ. სევერგინმა მოამზადა და გამოაქვეყნა წიგნი „რუსეთის სახელმწიფოს მინერალოგიური მიწისაღმწერლობის ცდა". ეს ნაშრომი იყო მთელი სახელმწიფოს გეოლოგიური აგებულების პირველი მიმოხილვა.

1812. გამოვიდა ჟ. კიუვეს კაპიტალური ნაშრომი „მსჯელობანი დედამიწის ზედაპირზე მომხდარ გადატრიალებათა გამო". ამ ნაშრომში კიუვემ წამოაყენა კატასტროფების თეორია, რომელთა შედეგადაც დედამიწაზე მთელი ორგანული სამყარო ისპობოდა, ხოლო შემდეგ სიცოცხლის ახალ-ახალი ფორმები ჩნდებოდა.

1813. ინგლისელმა გეოდეზისტმა ვ. სმიტმა პირველმა შეადგინა ინგლისის გეოლოგიური რუკა, რომელშიც ქანები ასაკის მიხედვით იყო დაყოფილი. გეოლოგიური რუკების შედგენის ეს პრინციპი ძირითადში დღემდეა შემონახული.

1817. პეტერბურგში დაარსდა მინერალოგიური საზოგადოება.

1820. სამთო ინჟინერმა ე. კოვალევსკიმ პირველმა ჩაატარა დონბასის გეოლოგიური აგებულების ფართო კვლევა.

1828. გამოვიდა ჟ. კიუვეს თხზულებათა პირველი ტომი ხერხემლიან განამარხებულთა შესახებ, რამაც საფუძველი ჩაუყარა ახალ მეცნიერებას — პალეონტოლოგიას.

1883 — 1909. გამოვიდა ე. ზიუსის ძირითადი მეცნიერული ნაშრომი „დედამიწის სახე" 3 ტომად. ამ თხზულებაში ზიუსმა შეაჯამა XIX — XX სს. მიჯნაზე დაგროვილი გეოლოგიური ცოდნა.

1886 — 1906. შუა აზიის გეოლოგიური შესწავლის საფუძველზე გამოვიდა ი. მუშკეტოვის კაპიტალური ნაშრომი „თურქესტანი" 2 ტომად. ამ ნაშრომში მუშკეტოვმა მოგვცა შუა აზიის გეოლოგიური აგებულების პირველი მეცნიერული სქემა.

1919 — 1924. ა. არხანგელსკი და ი. გუბკინი ხელმძღვანელობდნენ კურსკის მაგნიტური ანომალიის შემსწავლელ სამუშაოებს.

1925. გეოფიზიკოსმა ა. ვეგენერმა წამოაყენა მატერიკების გადაადგილების ჰიპოთეზა.

1931 — 1949. გამოვიდა ვ. ობრუჩევის მრავალტომიანი ნაშრომი „ციმბირის გეოლოგიური კვლევის ისტორიის" შესახებ.

1932. გამოვიდა ი. გუბკინის კაპიტალური ნაშრომი „მოძღვრება ნავთობის შესახებ", რამაც საფუძველი ჩაუყარა ნავთობის გეოლოგიას.

1932. გამოვიდა ა. არხანგელსკის კაპიტალური ნაშრომი „სსრკ გეოლოგიური აგებულება და გეოლოგიური ისტორია".

1935 — 1938. გამოვიდა აკადემიკოს ვ. ობრუჩევის კაპიტალური ნაშრომი „ციმბირის გეოლოგია" 3 ტომად, რომელშიც ავტორმა განაზოგადა ციმბირის გეოლოგიაზე არსებული უხვი მასალა.

1936 — 1940. ა. არხანგელსკის ხელმძღვანელობით ჩატარდა დიდი კომპლექსური ექსპედიციები ყაზახეთისა (1935 — 1938) და საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის (1938 — 1940) გეოლოგიური აგებულების შესწავლის მიზნით.

1961 წ. მარტი. დაარსდა სამეცნიერო გეოლოგიურ დაწესებულებათა საერთაშორისო კავშირი.

1961. საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის მიერ ჩატარებულ გეოლოგიურ გამოკვლევათა საფუძველზე შესაძლებელი შეიქნა დედამიწის ისტორიის ზოგიერთი საკითხის დაზუსტება. დაადგინეს, რომ რიფული პერიოდის ხანგრძლიობა 900 მლნ წელს უდრის.

რა წავიკითხოთ გეოლოგიაში

ლიტერატურის ანოტირებული სია

(რუსულ ენაზე)

დედამიწის აგებულება და მისი ისტორია

ალტშულერი ს. შვიდი სწავლულის ნაამბობი. ნახ. ა. ნიკონოვისა. მ., „დეტსკი მირი“, 1961. 63 გვ.

ამ წიგნში მოთხრობილია დედამიწის წარმოშობაზე, მის შინაგან აგებულებაზე, იმაზე. თუ როგორ გაჩნდნენ პირველი ადამიანები (V — VI კლ.).

შერი ს. ქვის მატიანეთა ფურცლებზე. მ., დეტგიზი, 1958. 176 გვ. ილუსტრ. (VI — VIII კლ.).

მოთხრობები ჩვენი ქვეყნის გეოლოგიურ წარსულზე, მის სასარგებლო ნამარხებსა და წიაღის მზვერავებზე.

ბუბლეინიკოვი თ. დედამიწის საიდუმლოებანი. დ. შჩერბაკოვის რედაქციით. მ., „მოსკოვსკი რაბოჩი“, 1958. 136 გვ. ილუსტრ. ღა რუკ.

ავტორი მოგვითხრობს დედამიწის შინაგან აგებულებაზე, რელიეფის ცვლილებებზე, მადნის, ქვანახშირისა და ნავთობის საბადოების წარმოშობაზე (VI — VIII კლ.).

მაქსიმოვიჩი გ. და მაქსიმოვიჩი ნ. წარსულის მოწმენი (რას მოგვითხრობენ ქვები). მ., გოსტეხიზდატი, 1955. 32 გვ. ილუსტრ. (მეცნ.-საგანმან. ბ-კა).

ქვების შესწავლისას მეცნიერები იგებენ, როგორ იცვლებოდა მილიონობით წლების განმავლობაში დედამიწის ზედაპირის რელიეფი, ჰავა, როგორ ჩნდებოდა სასარგებლო ნამარხთა საბადოები, რისგან შედგება სამყაროს სხვა პლანეტები. საჭიროა მხოლოდ, ყური მივუგდოთ ქვებს. ავტორები მოგვითხრობენ, როგორ ისწავლეს ადამიანებმა ქვების „ენა“ (VII — VIII კლ.).

მალახოვი ა. მანტიის საფარქვეშ. მ., „მოლოდაია გვარდია“, 1964. 204 გვ. ილუსტრ.

წიგნში აღწერილია იმ გეოლოგების საძიებო და კვლევითი სამუშაოები, რომლებიც დედამიწის წიაღს შეისწავლიან, მოცემულია აგრეთვე სხვადასხვა ჰიპოთეზები დედამიწის აგებულებაზე.

ბელოუსოვი ვ. დედამიწა, მისი აგებულება და განვითარება. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1963. 152 გვ. ილუსტრ.

რისგან შედგება დედამიწის ქერქი? რა პროცესების შედეგად შეიცვალა მისი სახე? როგორ წარმოიშვა მატერიკები და ოკეანეები? ამ კითხვებზე პასუხობს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტის ვ. ბელოუსოვის წიგნი (VII — VIII კლ.).

ობრუჩევი ვ. მთებისა და მატერიკების წარმოშობა. მ., დეტგიზი, 1956. 126 გვ. (სასკოლო ბ-კა).

აკადემიკოსი ცოცხლად და ხატოვნად მოგვითხრობს, რას წარმოადგენს დედამიწის ზედაპირი, როდის და როგორ გაჩნდა მატერიკები, რისგან შედგება მთები, როგორ ინგრევა ისინი და კვლავ როგორ წარმოიქმნება (VII — VIII კლ.).

კასტერე ნ. ოცდაათი წელი მიწის ქვეშ. თარგმ. ფრანგულიდან. მ., გეოგრაფგიზი, 1959. 166 გვ. ილუსტრ. (მოგზაურობა. თავგადასავლები. ფანტასტიკა).

ცნობილი ფრანგი მკვლევარი აგვიწერს იმ თავგადასავლებს, რომლებიც მას გამოქვაბულების შესწავლისას გადახდა თავს. კასტერე თავის შვილებს ბავშვობიდანვე აჩვევდა, არ შინებოდათ გამოქვაბულებისა და ისინიც მამის საიმედო თანაშემწენი გახდნენ ძნელსა და სახიფათო ექსპედიციებში (VI — VIII კლ.).

ადაბაშევი ი. გონება სტიქიის წინააღმდეგ. მ., „მოლოდაია გვარდია“, 1962. 271 გვ. ილუსტრ. და რუკ.

შორეულ წარსულში ადამიანს პანიკურად ეშინოდა მიწისძვრების, გვალვების, წყალდიდობისა და სხვ. სტიქიურ მოვლენებს დღესაც საკმაო უბედურება მოაქვს ადამიანებისათვის. ამ მოვლენებთან ბრძოლას მეცნიერები მათივე შესწავლიდან და შეცნობიდან იწყებენ. და ეს წიგნიც სტიქიის წინააღმდეგ გონების ბრძოლას ეძღვნება (VII — VIII კლ.).

შალიმოვი ა. დედამიწის პულსი (ნარკვევები მიწისძვრებზე). ნახ. ბ. პიატუნინისა. ლ., დეტგიზი, 1957. 86 გვ. (მოსწავლის დასახმარებლად).

ამ პატარა, საინტერესო წიგნის მიზანია მკითხველს დაანახოს, როგორი გულმოდგინებით მუშაობენ მეცნიერები მიწისძვრების საიდუმლოს ამოცნობაზე, რა გააკეთეს მათ უკვე და რა ბევრი რამ დარჩათ გასაგები, გამოსაკვლევი და გადასაწყვეტი (V — VIII კლ.).

აპროდოვი ვ. დედამიწის სუნთქვა. ვულკანები და მიწისძვრები. მ., გეოგრაფგიზი, 1963. 112 გვ. (VII — VIII კლ.).

ობრუჩევი ვ. სახალისო გეოლოგია. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1961. 367 გვ. ილუსტრ.

„გეოლოგია გვასწავლის ფართოდ გახელილი თვალებით შევხედოთ გარემომცველ ბუნებას და გავიგოთ მისი განვითარების ისტორია“. საინტერესოდ და ცოცხლად მოგვითხრობს ყველაფერ ამაზე აკადემიკოსი ობრუჩევი.

წიგნის ცალკე თავების სათაურებია: „რას გვიამბობს ხრამის ძირში მოწანწკარე ნაკადული?“ „როგორ მუშაობს წყალი მიწის ქვეშ?“ „რატომ ირყევა მიწა ხან აქ და ხან იქ?“ (VII — VIII კლ.).

ტაზიევი გ. შეხვედრები ეშმაკთან. თარგმ. ფრანგულიდან. მ., უცხოური ლიტერატურის გამომც., 1961. 102 გვ. ილუსტრ.

ბელგიელი ვულკანოლოგი გ. ტაზიევი ხშირად ასუ-

ლა ცეცხლისმფრქვეველ მწვერვალებზე და სხვადასხვა ვულკანების კრატერებსაც სწვევია. კრატერის ძირში „ეშმაკის“ კლანჭებში მოქცეული ტაზიევი დიდის გატაცებით ასრულებდა კინოოპერატორისა და მეცნიერის სამუშაოებს და შიშს მხოლოდ მაშინ გრძნობდა, როცა სამუშაოს ამთავრებდა. წიგნში უხვადაა ფერადი ფოტოები — კადრები ფილმიდან „შეხვედრები ეშმაკთან“ (VII — VIII კლ.).

სასარგებლო ნამარხები და მათი ძებნა

დ ი ჟ უ რ ი ბ. მიწის ფარანი. ნახ. ლ. დურასოვისა. მ., დეტგიზი, 1961. 189 გვ. ილუსტრ.

ამ წიგნის გმირებია საბჭოთა გეოლოგები თავიანთი „ჯადოსნური“ ხელსაწყოებით — „მიწის ფარნებით“, რომელთა დახმარებითაც ისინი დედამიწის სიღრმეში იცქირებიან, და ზღაპრული ქონდრისკაცები, რომლებსაც ხელში პაწაწინა ფარნები უჭირავთ. მოთხრობას თურგაის ველზე, უძველესი, ახლა კი გამქრალი სრუტის ადგილზე მინერალების ძებნის შესახებ ხშირად ენაცვლება თავშესაქცევი ზღაპარი მადნისმთხრელების მეგობარ ქონდრისკაცებზე (V — VI კლ.).

გ რ ო დ ე ნ ს კ ი გ. ურალის საკუჭნაო (ილმენის ნაკრძალში). ნახ. ვ. შევჩენკოსი. ლ., დეტგიზი, 1962. 124 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბ-კა).

ამ წიგნის კითხვისას თქვენ ძალაუნებურად იმოგზაურებთ ურალის ბუნებრივ მუზეუმში — ილმენის ნაკრძალში, სადაც 144 მინერალი იპოვეს, რომელთა შორისაც 50 ძალზე იშვიათია. ეს ნაკრძალი დღეს ცოცხალი სახელმძღვანელოა გეოლოგების, მინერალოგებისა და სტუდენტებისათვის (VI—VII კლ.).

რ ი ჩ ი ვ., ჩ ე რ ნ ე ნ კ ო მ. მესამე პოლუსი (მოთხრობა კურსკის რკინაზე). ნახ. ვ. მიხაილოვისა. მ., დეტგიზი, 1960. 160 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბ-კა).

წიგნში მოთხრობილია მსოფლიოში უდიდესი რკინის განძის აღმოჩენაზე, იმაზე, თუ როგორ იღებენ მადანს, როგორ დაუმეგობრდა ადამიანს წყალი მაღაროში და ბევრ სხვა საინტერესო ამბებზე (VI — VII კლ.).

ო ს ი პ ო ვ ი ი. შავი კლდეების განძი. მ., დეტგიზი, 1956. 142 გვ. ილუსტრ.

ავტორი მოგვითხრობს კასპიის ნავთობზე შავი კლდეების რაიონში, საბჭოთა მშრომელებზე, რომლებმაც შორს ზღვაში შექმნეს ნავთის სარეწები და ნაპირიდან 100 კმ დაშორებით ფოლადის ხიმინჯებზე მთელი ქალაქი ააგეს (VI — VIII კლ.).

ჟ ე მ ჩ უ ჟ ნ ი კ ო ვ ი ი., გ ო რ ი გ. ქვანახშირი, ნახ. ვ. გამბისა და ი. ლობიჩევისა. ლ., დეტგიზი, 1956. 77 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბ-კა).

ამ წიგნში აღწერილია, როგორ წარმოიქმნება ქვანახშირი, როგორ მოიპოვებენ მას და რა და რა პროდუქტებს იღებენ მისგან (VI — VIII კლ.).

მ უ ზ ი ს ი ა. შეულამაზებელი მთები. მ., გეოგრაფგიზი, 1961. 78 გვ. ილუსტრ.

მოთხრობა ალტაის ერთ-ერთ გეოლოგიურ ექსპედიციაზე. მკითხველი ბევრ საინტერესო ამბავს გაიგებს ამ მდიდარი მხარის, წიაღის მზვერავთა ცხოვრებისა და მუშაობის შესახებ (VII — VIII კლ.).

ფ ე რ ს მ ა ნ ი ა. მოგონებები ქვაზე. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1960. 167 გვ. ილუსტრ. (მეცნ.-პოპულ. სერია).

წიგნში შეტანილია საინტერესო და პოეტური მოთხრობები ძვირფას ქვებზე, ურალის ფერად ქვებზე, მარმარილოზე და სხვ. ავტორი აგვიწერს ჩვენი სამშობლოს წიაღისეულ სიმდიდრეს, მკვლევარებსა და შესანიშნავ ოსტატებს, რომლებიც ქვებს ამუშავებენ (VII — VIII კლ.).

ფ ე რ ს მ ა ნ ი ა. მოგზაურობა ქვისთვის. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1960. 392 გვ. ილუსტრ.

გამოჩენილი მეცნიერი საინტერესოდ აგვიწერს თავის მრავალრიცხოვან მოგზაურობებსა და ექსპედიციებს, გვიზიარებს შთაბეჭდილებებს ბავშვებისა და ახალგაზრდების მოგზაურობაზე ყირიმში, ურალის, კოლის ნახევარკუნძულისა და შუა აზიის ექსპედიციებზე (VII — VIII კლ.).

ფ ე რ ს მ ა ნ ი ა. სახალისო მინერალოგია. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1959. 238 გვ. ილუსტრ.

წიგნში აღწერილია ქვის შესანიშნავი თვისებები (ფერის ცვლა, მსგავსება მცენარეებსა და ცხოველებთან და ა. შ.). იგი ეხება იმ ადამიანებს, რომლებიც ქვას აიძულებენ საზოგადოების კეთილდღეობას მოემსახუროს (VII — VIII კლ.).

ფ ე რ ს მ ა ნ ი ა. სახალისო გეოქიმია. დედამიწის ქიმია. გამოც. მე-4, აკად. დ. შჩერბაკოვის წინასიტყვაობით. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1959. 399 გვ. ილუსტრ., 11 ფურც. ილუსტრ.

„გეოქიმია სწავლობს დედამიწის ცალკეულ ქიმიურ ელემენტებს, როგორ მოგზაურობენ ისინი, როგორ უერთდებიან ერთმანეთს და ქმნიან მაგარ მინერალებს, როგორ იხსნებიან ისევ და კვლავ მოძრავნი ხდებიან“. ასე განსაზღვრავს ავტორი ახალგაზრდა მეცნიერების — გეოქიმიის ამოცანებს, რომლის ერთ-ერთი ფუძემდებელი თვითონ არის (VII — VIII კლ.).

ი ა კ ო ვ ლ ე ვ ი ა. დედამიწის სიცოცხლე. ნახ. მ. გეტმანსკისა. მ., დეტგიზი, 1959. 157 გვ. ილუსტრ.

შეიძლება თუ არა ქვა გაიზარდოს, იცოცხლოს, მოკვდეს? რამდენი წლისაა ჩვენი პლანეტა? ვარდება თუ არა ვარსკვლავები? როდის წარმოიშვა დედამიწაზე სიცოცხლე და როდის გაჩნდა ადამიანი? ეს წიგნი უამრავ ასეთ შეკითხვაზე გაგცემთ პასუხს. წიგნის ბოლოს თქვენ ნახავთ პრაქტიკულ რჩევა-დარიგებას, როგორ მოაწყოთ გეოლოგიური ლაშქრობები, როგორ შეაგროვოთ ქანების ნიმუშები, როგორ შეადგინოთ კოლექციები (VII — VIII კლ.).

ბ ო კ ს ე რ მ ა ნ ი ი. უჩინარი სათბობი. მ., დეტგიზი, 1958. 143 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბ-კა).

„უჩინარი სათბობი“ საწვავი გაზია, რომელსაც მარტო სათბობად როდი იყენებენ. გაზისაგან შეიძლება მივიღოთ კაუჩუკი, პლასტმასები. ავტორი მოგვითხრობს, როგორ გაჩნდა ბუნებრივი საწვავი გაზის საბადოები, როგორ პოულობენ მათ, როგორ იღებენ გაზს და როგორ გადასცემენ მას შორ მანძილებზე (VII — VIII კლ.).

დედამიწის წიაღის მკვლევარნი

ლაპიდუსი მ. მიწისქვეშა საიდუმლოებათა ამომცნობი. მ., „სოვეტსკაია როსია“, 1963. 384 გვ. ილუსტრ. (საბჭოთა რუსეთის ადამიანები).

წიგნი ეძღვნება რუსი მეცნიერის, პატრიოტისა და კომუნისტის, მეცნიერების ახალი დარგის — ნავთობის გეოლოგიის — ფუძემდებლის ი. გუბკინის ცხოვრებასა და მოღვაწეობას.

ბაიანი ო. რუსული გეოლოგიის მამამთავარი (მოთხრობები აკადემიკოს ა. კარპინსკის ცხოვრებასა და მოღვაწეობაზე). მ., დეტგიზი, 1955. 263 გვ. ილუსტრ. და რუკ.

წიგნის წინასიტყვაობაში აკადემიკოსი ვ. ობრუჩევი წერს: „იმედი მაქვს, რომ წიგნის წაკითხვის შემდეგ ბევრს დაებადება სურვილი, მიბაძოს კარპინსკის როგორც მეცნიერების მიღწევათა ათვისებაში, აგრეთვე ადამიანებისადმი დამოკიდებულებაშიც“. (VII — VIII კლ.).

დუმიტრაშკო ნ. მოგზაურის ოქროს ვარსკვლავი. გამოც. მე-2, შესწ. და დამ., მ., გეოგრაფგიზი, 1963. 71 გვ.

წიგნი დაწერილია შესანიშნავ მეცნიერსა და მაღალი სულის ადამიანზე ვ. ობრუჩევზე, რომელმაც მთელი თავისი ნიჭი ადამიანებს მოახმარა.

მურზაევი ე., ობრუჩევი ვ., რიაბუხინი გ. ვლადიმერ ათანასეს ძე ობრუჩევი. 1863 — 1956. ცხოვრება და მოღვაწეობა. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1959. 302 გვ. ილუსტრ. (მეცნ.-პოპულ. სერია) (VIII კლ.).

ბაიანი ო. წიაღის მზვერავი. მოთხრობები აკადემიკოს ა. ფერსმანის ცხოვრებიდან. ლ., დეტგიზი, 1959. 232 გვ. ილუსტრ.

წიგნში აღწერილია შესანიშნავი საბჭოთა მეცნიერის, მინერალოგ-გეოქიმიკოსის ცხოვრება, მისი მოგზაურობა ურალზე, შუა აზიასა და კოლის ნახევარკუნძულზე (VII — VIII კლ.).

სიცოცხლის წარმოშობა დედამიწაზე

ამ განყოფილებაში მოცემულია წიგნები ჩვენი დედამიწის უძველესი დროის შესახებ, იმაზე, თუ როგორ გამოითვალეს რამდენი წლისაა დედამიწა, როდის გაჩნდა პირველი მცენარეები და ცხოველები, პირველი ადამიანები, ვინ იყო მათი წინაპრები, როგორ გაიგეს ადამიანებმა ის, რაც არც ერთ ადამიანს არ უნახავს.

მეცნიერული ცოდნა სიცოცხლის წარმოშობაზე დაგეხმარებათ გაერკვეთ დედამიწისა და ყველა ცოცხალი ორგანიზმის წარმოშობის შესახებ შეთხზული რელიგიური ლეგენდების სიცრუესა და უაზრობაში. მომავალში კი მთელი ეს მეცნიერული მონაცემები ბევრ თქვენგანს დედამიწის სიმდიდრეების ძებნაშიც დაეხმარება.

გოლოსნიცკი ლ. მოგზაურობა წარსულში, ნახ. ა. კელეინიკოვისა. მ., დეტგიზი, 1957. 112 გვ., ილუსტრ. (სასკოლო ბ-კა) (VI — VII კლ.).

ბორჩევი ა. მოთხრობები მწვანე მეგობარზე. მ., დეტგიზი, 1955. 176 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბ-კა).

წიგნში აღწერილია როგორ წარმოიშვა და განვითარდ დედამიწაზე მცენარეები (VII — VIII კლ.).

გრომოვი ვ. დედამიწის წარსულიდან. გამოც. მე-3. მ. გოსტეხიზდატი, 1955. 64 გვ. ილუსტრ. და რუკ. (მეცნ. საგანმან. ბ-კა) (VII — VIII კლ.).

ტროფიმოვი ბ. სიცოცხლე შორეულ საუკუნეებში მ., გოსკულტპროსვეტიზდატი, 1957. 150 გვ. ილუსტრ (VII — VIII კლ.).

ოპარინი ა. სიცოცხლის წარმოშობა. მ., ვოენიზდატი 1959. 127 გვ. ილუსტრ. (მეცნ.-პოპულ. ბ-კა).

„თუკი ადამიანი უფრო მარტივი აგებულების ძუძუმწოვრებისგან წარმოიშვა, ძუძუმწოვრები — ქვეწარმავლებისგან ქვეწარმავლები — წყალხმელეთა ორგანიზმებისგან, წყალხმელეთა ორგანიზმები — თევზებისგან და ა. შ., ის უმარტივესი ცოცხალი არსებები საიდანღა გაჩნდნენ, რომელნიც დედამიწაზე არსებული ყველა ცოცხალი ორგანიზმის წინაპრებს წარმოადგენენ?“ (VII — VIII კლ.).

ემე ა. მეცნიერება და რელიგია დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობის შესახებ. გამოც. მე-2, გადამ. მ., გოსპოლიტიზდატი, 1956. გვ. (VII — VIII კლ.).

ეიველმანსი ბ. უცნობ ცხოველთა კვალდაკვალ. ნახ. გ. ნიკოლსკისა. თარგმ. ფრანგულიდან. მ., „დეტსკი მირი“, 71 გვ.

ალბათ ბევრ თქვენგანს არ გაუგონია ჯუჯა სპილოების, ჯუჯა ბეჰემოთების, თათებიანი ჭიების, ფრინველისნაირტიანი მხეცისა და კუნძულ კომოდოს ურჩხულის შესახებ.

ბელგიელმა ზოოლოგმა ეიველმანსმა გადაწყვიტა, დაეწერა ყველასათვის გასაგები წიგნი ნაკლებად ცნობილ ცხოველთა და სხვა საკვირველ არსებათა შესახებ, რომლებიც დედამიწაზე ცხოვრობდნენ. წიგნში აღწერილი ამბები გამონაგონი როდია, ეს ნამდვილი ამბებია, რომელთაგან ბევრი არცთუ ისე დიდი ხნის წინათ მოხდა (V — VIII კლ.).

აკიმუშკინი ი. უცნობ ცხოველთა კვალი. მ., გეოგრაფგიზი, 1961. 256 გვ. ილუსტრ. (მოთხრობები ბუნებაზე).

ავტორს მკითხველი მიჰყავს ტროპიკულ ტყეში, ეხმარება მას ჩაიხედოს ზღვის სიღრმეში და მკითხველისთვისაც აშკარა ხდება, რა საოცარი არსებებია მიმალული ჩვენი დედამიწის ამ ძნელად მისადგომ უბნებში, რამდენი ახალი ცხოველი და ფრინველი აღმოაჩინეს მეცნიერებმა უკანასკნელი ნახევარი საუკუნის მანძილზე და რა ბევრია კიდევ აღმოსაჩენი და შესასწავლი (V — VIII კლ.).

მხატვრული ლიტერატურა

ბაჟოვი პ. მალაქიტის ზარდახშა. მოთხრობები. მ., გოსლიტიზდატი, 1957. 540 გვ. (V — VIII კლ.).

ბაჟოვის მთელი სიცოცხლე (1879 — 1950) ურალთანაა დაკავშირებული. იქ დაიბადა, იქ ცხოვრობდა, იქ მუშაობდა სოფლის მასწავლებლად, იბრძოდა საბჭოთა ხელისუფლები-

სათვის და ქმნიდა თავის შესანიშნავ თქმებს, რომლებითაც, როგორც ძვირფასი მარგალიტებით, სავსეა „მალაქიტის ზარდახშა“ და სხვა წიგნები.

ამ წიგნებში ბევრი ფანტაზიაა, მაგრამ, თუ ყურადღებით წავიკითხავთ, დავინახავთ, რომ თითოეულ თქმაში მოცემულია სიმართლე მშრომელ ადამიანებზე — ძველი ურალის სამთოელებზე.

ვ ე რ ნ ი ჟ. მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისაკენ. მეცნიერულ-ფანტასტიკური რომანი. თხზულებათა კრებული 12 ტომად, ტ. 2. მ., გოსლიტიზდატი, 1955. 225 გვ. (V — VII კლ.).

ვ ო ს კ რ ე ს ე ნ ს კ ი ს. კოჭლი დათვის ყურე. ნახ. ვ. ტაუბერისა. მოთხრობა. ლ., დეტგიზი, 1959. 216 გვ.

წიგნში აღწერილია ორი ბიჭის თავგადასავალი პრიმორსკის მხარეში, სადაც მათი მამები ქვანახშირის მადანსა და გემების გასაჩერებელ მყუდრო ყურეს ეძებენ. ექსპედიციაში ცხოვრების მძიმე პირობებმა ძალზე გამოუცვალა ბიჭებს ხასიათი, ისინი უფრო ვაჟკაცურები და მიზანდასახულები გახდნენ (V — VII კლ.).

ე ფ რ ე მ ო ვ ი ი. მთის სულების ტბა. ნახ. ვ. ტაუბერისა. მ. — ლ., დეტგიზი, 1954. 127 გვ. ილუსტრ. (VII — VIII კლ.).

სისხლივით წითელი ალები ტბის თავზე გადმოკიდებულ კლდეზე და მომწუანო-მოლურჯო გამჭვირვალე სვეტების ციმციმი აფრთხობდა ადამიანებს, ავადმყოფურ შეგრძნებას იწვევდა მათში. „მთის სულების ტბა“ არავის უშვებს თავის სამფლობელოშიო, ამბობდნენ მორწმუნენი. სწავლულმა გეოლოგმა კი საფრთხე არაფრად ჩააგდო, გაბსნა ამ საშინელი ტბის საიდუმლო და მისი სიმდიდრე ადამიანთა საკეთილდღეოდ გამოიყენა. კრებულში კიდევ ოთხი მეცნიერულ-ფანტასტიკური მოთხრობაა.

ო ს ი პ ო ვ ი ვ. ციმბირის ბაქნის საიდუმლო, მ., „მოლოდაია გვარდია“, 1958. 278 გვ. ილუსტრ.

პ უ დ ა ლ ო ვ ი ფ. კამბრიული ზღვის ლოცმანი, ნახ. ი. კოპილოვისა. მ., დეტგიზი, 1956. 487 გვ.

„განა ღირს ცხოვრება შეცდომას შეალიო?“ — ეუბნებოდნენ მეგობრები მოთხრობის გმირს, სტუდენტ ვასილ ზირიანოვს, რომელსაც არ ასვენებდა კამბრიულ ფენებში, მუდმივი მზრალობის ქვეშ, ნავთობის პოვნის იდეა. დაუცხრომელმა მეოცნებემ რუსებისა და იაკუტების ჯგუფთან ერთად ათასი დაბრკოლების მიუხედავად დაამტკიცა თავისი ჩანაფიქრის სისწორე (VI — VIII კლ.).

ტ ი ხ ო ვ ა ტ. ტაიგა და მთები. გეოლოგ ტაგილოვას მოთხრობებიდან. ნახ. ე. ზახაროვისა. [ლ] ლენიზდატი, 1962. 193 გვ. ილუსტრ.

გეოლოგი-მზვერავი ტიხოვა აზიის უდაბნოებშიც იყო, პამირის მთებშიც და შორეული აღმოსავლეთის ტაიგაშიც. მის მოთხრობებს საფუძვლად უდევს ექსპედიციის მასალები (V — VIII კლ.).

ტ ი ხ ო ვ ა ტ. ენისეის სარტყელი. ნახ. ა. ოვჩინიკოვისა. ლ., დეტგიზი, 1962. 192 გვ. ილუსტრ.

წიგნში აღწერილია გეოლოგების თავგადასავალი და მათი აღმოჩენები ყრუ ტაიგაში, აგრეთვე, როგორ ეძებდნენ ისინი დიდი მადნის შემცველ სარტყელს — „ენისეის სარტყელს“ (VI — VIII კლ.).

(ქ ა რ თ უ ლ ე ნ ა ზ ე)

ბ უ ბ ლ ე ი ნ ი კ ო ვ ი ფ. დედამიწის გამოცანები (თარგმ. ქ. ნადირაძისა). თბ., 1952, 140 გვ.

გ ა პ ა ე ვ ი ა. დედამიწა (თარგმ. მ. ლორთქიფანიძისა). თბ., 1940, 140 გვ.

დ ო ნ დ უ ა დ. როგორ გავეგნოთ გარემოში. თბ., 1943, 44 გვ.

დ ო ნ დ უ ა ღ. გარემოში გაგნება და გარემოს აგეგმვა. თბ., 1952, 82 გვ.

ზ ა რ ი ძ ე გ. როგორ წარმოიშვა დედამიწა, თბ., 1951, 40 გვ.

კ ო ლ ხ ი დ ა შ ვ ი ლ ი მ. მეცნიერება და რელიგია დედამიწის წარმოშობის შესახებ. თბ., 1957, 174 გვ.

ლ ვ ო ვ ი ვ. როგორ წარმოიშვა დედამიწა (თარგმ. შ. ა-ძის). თბ., 1935, 117 გვ.

ნ ო დ ი ა მ. როგორ ვითარდებოდა შეხედულება დედამიწის შესახებ. თბ., 1956, 54 გვ.

ო გ ო რ ო დ ნ ი კ ო ვ ი კ. რაზე დგას დედამიწა (თარგმ. დ. იობაშვილისა). თბ., 1950, 31 გვ.

ს უ ბ ო ტ ი ნ ი მ. დედამიწის წარმოშობა და ასაკი (თარგმ. ლ. ესაიაშვილისა). თბ., 1949, 48 გვ.

შ მ ი დ ტ ი ო. ოთხი ლექცია დედამიწის წარმოშობის თეორიაზე (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა). თბ., 1953, 85 გვ.

შ ო კ ი ნ ი პ. როგორ და რისთვის ზომავენ სიმძიმის ძალას (თარგმ. კ. აბაშიძისა). თბ., 1955, 76 გვ.

სახელთა და საგანთა საძიებელი

ა

აბსოლუტური გეოლოგიური ასაკი — წლების რიცხვი ქანების ან მინერალების წარმოშობის მომენტიდან დღემდე. — 8. 119

აგასისი, ჟან ლუი რუდოლფი (1807 — 1873) — შვეიცარიელი ბუნების მკვლევარი და გეოლოგი. — 131

ავაჩა (ავაჩინსკაია სოპკა)—მოქმედი ვულკანი კამჩატკაზე, კამჩატკის პეტროპავლოვსკიდან ჩრდილოეთით. — 87

ავგიტი — მუქი მწვანე და შავი ფერის მინერალი, შედის მრავალი მაგმური ქანის შემადგენლობაში. — 154

აზურიტი (სპილენძის ლაჟვარდი) — ლაჟვარდისფერ-ლურჯი მინერალი, სპილენძის წყლის კარბონატი, სპილენძის მადანი. — 153

აისბერგი — მცურავი ყინულის მთა. — 132

ალაიდი — მოქმედი ვულკანი ამავე სახელწოდების კუნძულზე (კურილის კუნძულები). — 91

ალებასტრი — თაბაშირის წვრილმარცვლოვანი სახესხვაობა, სანაკეთო ქვა. — 151

ალმასი — ყველაზე დიდი სიმაგრის მინერალი, შემადგენლობით სუფთა ნახშირბადი, უმაღლესი ხარისხის ძვირფასი და ტექნიკური ქვა. — 22, 49, 51, 147 — 148

ალპები — მაღალმთიანი მხარე დას. ევროპაში, უმაღლესი წერტილია მონბლანი (4810 მ). — 116, 132

ალპური მთათწარმოშობა — ქანების დანაოჭება, რომელიც ძირითადში კაინოზოური ერის მესამეულ პერიოდში მოხდა. — 121, 132

ალუმინი — დედამიწის ქერქში ფართოდ გავრცელებული ელემენტი; მეტალი, რომელსაც მტკიცე და მსუბუქი შენადნობებისათვის იყენებენ. — 45

ალუნიტი — მინერალი, ალუმინის ღია ფერის სილიკატი (იხ. სილიკატები). ნედლეული ალუმინისა და ზეცეცხლგამძლე მასალებისათვის. — 45.

ანდები — ყველაზე გრძელი და ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი მთიანი სისტემა დედამიწაზე, გასდევს სამხ. ამერიკის წყნარი ოკეანის სანაპიროს. — 110

ანდეზიტი — ქანი, რომელიც ზედაპირზე ამონთხეული მაგმის გაცივების შედეგადაა წარმოშობილი; შედგება ანდეზინის, ავგიტისა და ვულკანური მინისაგან. — 29, 54

ანტრაციტი — განამარხებული ქვანახშირის სახესხვაობა, რომელიც ყველაზე მეტ ნახშირბადს შეიცავს; მაღალი ხარისხის სათბობი. — 37, 38, 151

აპატიტი — მინერალი, კალციუმის ფოსფატი, ნედლეული ძვირფასი ფოსფორული სასუქის მისაღებად.—8, 148

არქაული ანუ არქეოზოური ერა (ბერძნული სიტყვებიდან „არქაიოს“ (არქეო) — უძველესი, „ზოე“ — სიცოცხლე) — ედამიწის გეოლოგიური ისტორიის უძველესი ეტაპი. — 102

არქეოპტერიქსი — იურული პერიოდის განამარხებული ფრინველი. — 114

არქეოციატები — კამბრიული პერიოდის გადაშენებული უხერხემლო ზღვის ცხოველები. — 104

არქოზავრი — მეზოზოური პერიოდისათვის დამახასიათებელი უძველესი ქვეწარმავალი. — 112

არხანგელსკი, ანდრეი დიმიტრის ძე (1879 — 1940) — გამოჩენილი საბჭოთა გეოლოგი, აკადემიკოსი. — 139, 140, 142

ასბესტი (მთის სელი) — ბოჭკოვანი მინერალი, ნედლეული სიმჟავეგამძლე და ცეცხლგამძლე მასალებისათვის. — 49, 51, 153

აურიპიგმენტი — ოქროსფერი, ლიმონისებრ-ყვითელი მინერალი, დარიშხანისა და გოგირდის ნაერთი; იყენებენ მედიცინაში, პიროტექნიკასა და სოფლის მეურნეობაში მინდვრის მავნებლებთან ბრძოლაში. — 152

აქვამარინი — მოცისფრო-მწვანე მინერალი, ბერილის გამჭვირვალე სახესხვაობა, ძვირფასი ქვა. — 155

ბ

ბაზალტი — ზედაპირზე ამონთხეული მაგმის გაცივების შედეგად წარმოშობილი შავი ფერის ქანი, შემადგენლობით გაბროს ანალოგიური (იხ. გაბრო). — 75, 126, 127, 158

ბათოლიტები — სიღრმის მაგმური ქანების მასივები, რომლებიც დიდ სიღრმეზეა ჩაწოლილი. — 27

ბარხანები — ქარის მიერ მოტანილი ფხვიერი ქვიშის გროვები, რომლებიც არ არის გამაგრებული მცენარეულით; აქვთ ნამგლისებური მოყვანილობა. — 137

ბაქნები — დედამიწის ქერქის უბნები, რომელთაც ორიაროსიანი აგებულება აქვთ. უძველესი, დანაოჭებული კრისტალური ქანები მშვიდად გაწოლილი დანალექი ქანებითაა დაფარული. — 136, 139, 140

ბელემნიტები — მეზოზოური ერის ბინადარი განამარხებული თავთფეხიანი მოლუსკები. — 112

ბენეტიტები — იურული და ცარცული პერიოდების გადაშენებული ხისმაგვარი მცენარეები. — 114

ბერილი — მინერალი, შემადგენლობით ბერილიუმის სილიკატი (იხ. სილიკატები), ძვირფასი ქვა და მასალა ბერილიუმის მისაღებად. — 17, 47, 155.

ბიოტიტი (შავი ქარსი) — მაგნეზია-რკინოვანი მინერალი, შედის ბევრი მაგმური ქანის შემადგენლობაში. — 152, 157

ბოქსიტი — დანალექი ქანი, ძირითადი მადანი ალუმინისა და გალიუმის მისაღებად. — 32, 45, 62, 156

ბრექჩია — ქანი, რომელიც შედგება სხვადასხვა ქანების შეცემენტებული ნამსხვრევებისაგან. — 32, 157

ბრინჯაო — სპილენძის შენადნობი კალასთან, ალუმინთან, ტყვიასთან, ბერილიუმთან და სხვა მეტალებთან; დიდი გამოყენება აქვს მანქანათმშენებლობაში. — 34, 123

ბრონტოზავრი — განამარხებული ქვეწარმავალი ხვლიკისმაგვარმენჯიან დინოზავრთა ჯგუფიდან; ერთ-ერთი ყველა-

ზე დიდი ცხოველი დედამიწის ზურგზე. ბრონტოზავრები მეზოზოურ ერაში ცხოვრობდნენ. — 113

ბუშე, დე პერტი, ჟაკი (1788 — 1868) — ცნობილი ფრანგი არქეოლოგი. — 131

ბუხი, ლეოპოლდი (1774 — 1853) — გერმანელი გეოლოგი და პალეონტოლოგი, კატასტროფების თეორიის მომხრე. — 130 — 131

გ

გაბრო — მუქი ფერის სიღრმის მაგმური ქანი, რომელიც შედგება მინდვრის შპატებისა და მუქი ფერის მინერალებისაგან. — 64, 157

გალენიტი (ტყვიის კრიალა) — მინერალი, ტყვიისა და გოგირდის ნაერთი, ტყვიის მთავარი მადანი. — 44, 150

გამოფიტვა — ქანების თანდათანობითი ნგრევა, რასაც იწვევს ჰაერის ჟანგბადის, ორგანიზმების, ტემპერატურის ცვლისა და სხვადასხვა მარილებისა და მჟავების შემცველი წყლის მექანიკური და ქიმიური ზემოქმედება. — 77

გარნიერიტი — მწვანე ფერის მინერალი, ნიკელის სილიკატი, ნიკელის მნიშვნელოვანი მადანი. — 45, 156

გაფანტული მეტალები — მეტალები, რომლებიც დედამიწის ქერქში მცირე რაოდენობითაა და გაფანტულ მდგომარეობაშია (რენიუმი, ჰაფნიუმი, გერმანიუმი, ტალიუმი, ტელური და სხვ.). — 47 — 49

გაქვავებულობანი — წარსულ გეოლოგიურ ეპოქათა მცენარეებისა და ცხოველთა ორგანიზმების ნარჩენები, რომელთა მიხედვითაც ქანების შრეების შეფარდებით ასაკს საზღვრავენ. — 101

გეიზერი — ცხელი წყლისა და ორთქლის წყარო, რომელიც პერიოდულად შადრევნის სახით მოჩქეფს. — 96 — 99

გეიზერიტი — გეიზერებისა და სხვა ცხელი წყაროების დანალექები. — 97

გეოლოგია — მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის დედამიწის ქვის გარსის (დედამიწის ქერქის) შემადგენლობასა და მისი განვითარების ისტორიას — 7

გეოლოგიური პერიოდი — დროის მონაკვეთი (ერის ნაწილი), როდესაც წარმოიქმნა გეოლოგიური სისტემის შემადგენელი ქანები. — 101, 119

გეოლოგიური რუკა — რუკა, რომელზეც აღნიშნულია ამა თუ იმ ადგილის გეოლოგიური აგებულება და სხვადასხვა გეოლოგიური ასაკის ქანების გავრცელება. — 64, 65, 135

გეოსინკლინი — დედამიწის დიდი უბნები, სადაც ინტენსიური მთათწარმოშობა და მაგმური მოქმედება მიმდინარეობს. — 133

გეოფიზიკა — იმ მეცნიერებათა ერთობლიობა, რომლებიც შეისწავლის დედამიწის სფეროს ფიზიკურ შემადგენლობასა და მასში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს. — 13, 68

გეოქიმია — მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის დედამიწის ქერქის ქიმიურ შემადგენლობასა და მასში ელემენტების გავრცელების კანონებს. — 162

გეტონი, ჯემსი (1726 — 1797) — გამოჩენილი შოტლანდიელი ნატურალისტი და გეოლოგი. — 126

გინკგოვანები — შიშველთესლიან მცენარეთა კლასი, რომლებიც ფართოდ იყო გავრცელებული მეზოზოურ ერაში. — 110

გნეისი — მეტამორფული ქანი, შედგება კვარცის, მინდვრის შპატებისა და მუქი ფერის მინერალებისაგან. — 26, 158

გობის მიწისძვრა — უზარმაზარი ძალის მიწისძვრა მონღოლეთში 1957 წ. — 81

გოგირდის ალმადანი — იხ. პირიტი.

გოლიცინი, ბორის ბორისის ძე (1862 — 1916) — რუსი ფიზიკოსი, აკადემიკოსი, სეისმოლოგიის მეცნიერების ფუძემდებელი (იხ. სეისმოლოგია). — 84, 85

გონდვანა — უძველესი მატერიკი, რომელიც გეოლოგების ვარაუდით სამხრეთ ნახევარსფეროში არსებობდა პალეოზოურ ერაში (აერთიანებდა ბრაზილიას, აფრიკის ნაწილს, არაბეთს, ინდოეთსა და დას. ავსტრალიას). — 133

გრავიმეტრიული დაზვერვა — დედამიწის უბნების გეოლოგიური აგებულების გამოვლინება დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა ადგილებში სიმძიმის ძალის ცვლის მონაცემების მიხედვით. — 68

გრავიმეტრიული ვარიომეტრი — ხელსაწყო, რომლითაც საზღვრავენ სიმძიმის ძალის ცვლას დედამიწის ზედაპირზე. — 69

გრანატები — მინერალები სილიკატების ჯგუფიდან (იხ. სილიკატები); სხვადასხვა ფერის, გამოირჩევიან დიდი სიმაგრით, ლამაზი ბუნებრივი დაწახნაგებით; იყენებენ როგორც აბრაზიულ (გასაპრიალებელ) მასალასა და ნახევრად ძვირფასს ქვას. — 49

გრანიტი — სიღრმის მაგმური ქანი, ჩვეულებრივ, შედგება მინდვრის შპატის, კვარცის, რქატყუარასა და ქარსისაგან. — 56, 61, 75, 126, 127, 157

გრაფიტი — მინერალი, სუფთა ნახშირბადის სახესხვაობაა, იყენებენ მეტალურგიაში, ელექტროტექნიკაში და ფანქრებისს დასამზადებლად. — 22, 149 152

გუბკინი, ივანე მიხეილის ძე (1871 — 1939) — გამოჩენილი საბჭოთა გეოლოგი, აკადემიკოსი, საბჭოთა ნავთობის გეოლოგიის ფუძემდებელი. — 138

დ

დაიკა — მინერალური სხეული, რომელიც წარმოიქმნებბა დედამიწის ქერქში პარალელურკედლებიანი ნაპრალების მაგმით ამოვსებისას. — 28

დანალექი ქანები — წარმოქმნილია ადრინდელი ქანებისს ნამტვრევებისაგან წყლის ხსნარების მარილების დაკრისტალების გზით, აგრეთვე ორგანიზმების ცხოველმოქმედების შედეგად. — 13, 14, 30 — 32, 75, 124

დანა ჯემსი (1813 — 1895) — ამერიკელი გეოლოგი, გეოსინკლინების თეორიის ავტორი (იხ. გეოსინკლინი). — 139

დარვინი, ჩარლზ რობერტი (1809 — 1882) — გენიალური ინგლისელი მეცნიერი, მოგზაური, დედამიწაზე სიცოცხლის განვითარების შესახებ მატერიალისტური მოძღვრების ფუძემდებელი. — 101, 130

დედამიწის ქერქი (ლითოსფერო) — დედამიწის გარეთა, მაგარი ქვის გარსი. — 11, 33, 133

დევონური პერიოდი (დევონი) — პალეოზოური ერის მეოთხე პერიოდი, რომელიც დაახლოებით 80 მლნ წელს ფარძელდებოდა. — 108 — 109, 121, 127

დიატომიტები — ჯავშნიანი ერთუჯრედიანი მცენარეები, რომლებიც მტკნარ წყლებსა და ზღვებში ცხოვრობენ. — 331 — 32

„დიდი გეიზერი" — ყველაზე დიდი გეიზერი ისლანდიაში. — 98

დინიქტისი — გიგანტური განამარხებული ჯავშნიანი თევზი, რომელიც დევონურ პერიოდში იყო გავრცელებული. — 108

დინოზავრი — დიდი ქვეწარმავალი ხვლიკი, რომლის სიგრძე 25 მ აღწევდა; გავრცელებული იყო მეზოზოურ ერაში. — 116

დიორიტი — სიღრმის მაგმური ქანი, შედგება უმთავრესად პლაგიოკლაზისა და რქატყუარასაგან. — 157

დიპლოდოკი — განამარხებული გიგანტური დინოზავრი, რომელიც მეზოზოური ერის იურულ პერიოდში ცხოვრობდა. — 113

დიცინოდონტი — განამარხებული მხეცისმაგვარი ქვეწარმავალი, რომელიც პერმულსა და ტრიასულ პერიოდებში ცხოვრობდა. — 112

დოლომიტი — მინერალი, შემადგენლობით მაგნიუმის კარბონატი; იყენებენ როგორც ცეცხლგამძლე მასალას მეტალურგიაში, ქიმიასა და მინის წარმოებაში. — 32, 45, 158

დუნიტი — სიღრმის მაგმური ქანი, შედგება უმთავრესად ოლივინისაგან. — 29, 64, 157

ე

ელასმოტერიუმი — განამარხებული ცხოველი მარტორქებიხს ჯგუფიდან; აღმოჩენილია მეოთხეულ დანალექებში. — 1117

ელუვიონი — ქანების გამოფიტვის პროდუქტი, რომელიც თავისი წარმოშობის ადგილზევე რჩება. — 77

ეპიცენტრი — მიწისძვრის სიღრმისეული კერის თავზე მოქცეული მიწის ზედაპირის ნაკვეთი, რომლის ფარგლებშიც მიწისქვეშა ბიძგების ძალა მაქსიმალურ სიდიდეს აღწევს.—81

ერა — გეოლოგიური ქრონოლოგიის ყველაზე დიდი ქვედანაყოფი, რომელიც შეესაბამება დედამიწისა და მისი ორგანული სამყაროს განვითარების გარკვეულ ეტაპს. — 101

ვ

ვანადიუმი—მოვერცხლისფრო-თეთრი, ძნელდნობადი მეტალი, რომელსაც საგანგებო ფოლადის მისაღებად იყენებენ. — 46

ვეზუვი — მოქმედი ვულკანი სამხ. იტალიაში, ქ. ნეაპოლის მახლობლად. — 92

ვერმიკულიტი — მინერალი, რკინა-მარგანეზიანური ჰიდროქარსი, რომელიც გახურებისას საგრძნობლად იზრდება მოცულობაში. ფართოდ იყენებენ მშენებლობაში, გემთმშენებლობაში, ელექტროტექნიკასა და სოფლის მეურნეობაში. — 51, 151

ვერნადსკი, ვლადიმერ ივანეს ძე (1863 — 1945) — გამოჩენილი საბჭოთა მინერალოგი და კრისტალოგრაფი, გეოქიმიის (იხ. გეოქიმია) ერთ-ერთი ფუძემდებელი. — 12, 16

ვერნერი, აბრამ გოტლიბი (1750 — 1817) — გერმანელი გეოლოგი და მინერალოგი. — 125, 126, 128

ვოლფრამი — ძნელდნობადი მეტალი, იყენებენ ვარვარა ძაფებისა და მაღალი ხარისხის ფოლადის დასამზადებლად. — 46

ვოლფრამიტი — მინერალი, ვოლფრამის მჟავის რკინა-მარგანეცის მარილი, ვოლფრამის ერთ-ერთი ძირითადი მადანი. — 47

ვულკანო — მოქმედი ვულკანი ლიპარის კუნძულებზე ტირენის ზღვის სამხ.-აღმ. ნაწილში. — 86

ვულკანოლოგია — გეოლოგიური მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ვულკანების წარმოშობას, განვითარებასა და გავრცელებას. — 88

ვულკანური ქანები (ეფუზიური, ანუ ამონთხეული)—წარმოიქმნება ვულკანების ამოფრქვევისას. — 124, 129

ზ

ზაუროლოფი — გიგანტური განამარხებული ცხოველი იხვნისკარტა დინოზავრების ჯგუფიდან; ცხოვრობდა მეზოზოური ერის ცარცული პერიოდის წყალსაცავებში. — 116

ზიუსი, ედუარდ-ფრიდრიხი (1831 — 1914) — გამოჩენილი ავსტრიელი გეოლოგი; ავტორი თხზულებისა „დედამიწის სახე", რომელშიც განაზოგადა მისი დროის გეოლოგებისათვის ცნობილი ყველა დაკვირვება. — 132

ზუმფარა — ქანი, რომელიც შედგება კორუნდის, მაგნეტიტის, ჰემატიტის, პირიტის, ქარსის, კვარცისა და სხვ. წვრილმარცვლოვანი ნარევისაგან; იყენებენ მეტალებისა და ქვების თრაშვისათვის. — 48

ზურმუხტი — ბერილის მეტად ლამაზი, მუქი მწვანე, გამჭვირვალე სახესხვაობა; ძვირფასი ქვა. — 51

თ

თაბაშირი — მინერალი, ძალიან რბილი, იყენებენ მშენებლობაში, ქიმიასა და სოფლის მეურნეობაში. — 148, 151

თავთფეხიანი მოლუსკები — ზღვის მტაცებელი მოლუსკები (რვაფეხები, მელანთევზები, კალმარები და სხვ.). განამარხებული ფორმები ცნობილია კამბრიული პერიოდიდან; ფართოდ გავრცელდა მეზოზოურ ერაში. — 112

თვითნაბადი გოგირდი — ყვითელი ფერის მინერალი, იყენებენ გოგირდმჟავას მისაღებად. — 89, 151, 152

თიხა-ფიქალი — მუქი ნაცრისფერი ან შავი ქანი, ადვილად იპობა თხელ ფირფიტებად. შემკვრივებული და გადაკრისტალებული თიხა, რომელშიც კვარცია შერეული. — 30, 54, 57, 158

ი

იალბუზი — კავკასიონის უმაღლესი მწვერვალი, ჩამქრალი ვულკანის კონუსი. — 86, 92, 95

იასპი — დიდი სიმაგრისა და სხვადასხვა შეფერილობის, კაჟოვანი შემადგენლობის ძვირფასი სანაკეთო ქვა. — 155, 158

ილმენიტი (ტიტანიანი რკინაქვა) — მინერალი, რომელიც შედგება ტიტანის, რკინისა და ჟანგბადისაგან; ტიტანისა და რკინის მთავარი მადანი. — 150

ინდრიკოტერია — გიგანტური ურქო მარტორქა, რომელიც აღმოაჩინეს მესამეული პერიოდის დანალექებში თერგაის ველზე. — 117

ინოსტრანცევია — განამარხებული მტაცებელი ქვეწარმავალი, რომელიც აღმოჩენილია მეზოზოური ერის პერმული პერიოდის დანალექებში. — 111 — 112

ინფუზორიები — უმარტივესი ერთუჯრედიანი ორგანიზმები. — 104

იურული პერიოდი ანუ იურა — მეზოზოური ერის მეორე პერიოდი; ამ დროს გაჩნდა პირველი ფრინველები და ძუძუმწოვრები. — 55, 121, 127

იხტიოზავრები — განამარხებული ზღვის ქვეწარმავლები, რომლებიც აღმოაჩინეს მეზოზოური ერის დანალექებში. — 114

კ

კაინოზოური ერა, ანუ კაინოზოი (ბერძნული სიტყვებიდან „კაინოს“ — ახალი, „ზოე“ — სიცოცხლე) — მეხუთე გეოლოგიური ერა (დედამიწის ისტორიის დასაწყისიდან). იყოფა მესამეულ და მეოთხეულ პერიოდებად. — 102, 116

კალედონური მთათწარმოშობა — ქანების დანაოჭება კამბრიულსა და სილურულ პერიოდში. — 122

კალის ქვა — იხ. კასიტერიტი.

კალიუმის მარილები — მინერალები, რომლებიც შეიცავენ კალიუმს (სილვინიტს, კარნალიტსა და სხვ.). იყენებენ ქიმიურ მრეწველობაში, კერძოდ, მინერალური სასუქების დასამზადებლად. — 56, 138, 149, 151 — 152

კალციტი — მინერალი, შემადგენლობით კალციუმის კარბონატი. — 32, 147, 148, 157

კამბრიული პერიოდი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის პალეოზოური ერის პირველი პერიოდი. — 122, 127

კანეკლიანები — ზღვის უხერხემლო ცხოველები (ზღვის ვარსკვლავები, ზღარბები, შროშანები და სხვ.); პირველად გაჩნდნენ პროტეროზოურ ერაში. — 108

კაპუსტინი, გრიგოლ გრიგოლის ძე (XVIII ს.) — რუსი მადანმცოდნე, დონეცკის ქვანახშირის აუზის აღმომჩენი. — 36

კაჟი — კვარცის ფარულკრისტალური სახესხვაობა. — 158

კარნალიტი — ზღვიური წარმოშობის მინერალი, კალიუმისა და მაგნიუმის მისაღები ნედლეული. — 149, 152, 155

კარპინსკი, ალექსანდრე პეტრეს ძე (1847 — 1936) — გამოჩენილი გეოლოგი და პალეონტოლოგი, აკადემიკოსი, დიდი საზოგადო მოღვაწე, საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტი 1936 წლამდე. — 135, 136

კარსტი (კარსტული მოვლენები) — ქანების (კირქვების, დოლომიტების, თაბაშირის, ქვამარილის) გახსნა მიწისქვეშა წყლების გავლენით, რის შედეგადაც ზედაპირზე ძაბრები და შეკრული ქვაბულები ჩნდება, მიწის ქვეშ კი — სიცარიელეები და მღვიმეები. — 79

კასიტერიტი (კალის ქვა) — მინერალი, კალის ჟანგი, კალის მნიშვნელოვანი მადანი. — 45, 150, 154

კვარცი — დედამიწის ქერქში ყველაზე მეტად გავრცელებული მინერალი, სილიციუმის ორჟანგი. — 148, 154, 157

კვარც-პორფირი — მაგმური ქანი, რომელიც შემადგენლობით გრანიტებს უახლოვდება; წარმოქმნილია უძველესი ვულკანების ლავის გაცივების შედეგად. — 28

კვარციტი—მეტამორფიზებული (იხ. მეტამორფიზმი) ქანი, კვარცისაგან წარმოიქმნა. — 33, 52, 157

კიბომორიელები—ფეხთსახსრიან ცხოველთა ქვეკლასი; განამარხებული სახით ცნობილია კამბრიული პერიოდის დაწყებამდე. — 107

კილაუეა — მოქმედი ვულკანი ჰავაის კუნძულებზე. — 91

კირქვა — დანალექი, უმეტესად ორგანული წარმოშობის ზღვის ქანი; შედგება კალციტისაგან, რომელთანაც თიხოვანი მასალა, კაჟმიწა და რკინის ჟანგებია შერეული. — 54, 56, 74, 125

კიუვე, ჟორჟი (1769 — 1832) — გამოჩენილი ფრანგი პალეონტოლოგი. — 101, 128

კოვალევსკი, ვლადიმერ ონოფრეს ძე (1842 — 1883) — გამოჩენილი რუსი ბიოლოგი-დარვინისტი, ევოლუციური პალეონტოლოგიის ფუძემდებელი. — 101

კონგლომერატი — ქანი, რომელიც შეცემენტებული, მომრგვალებული რიყის ქვებისა და კენჭებისაგან შედგება. — 32, 157

კორდაიტები — ქვანახშირისა და პერმული პერიოდების განამარხებული მძლავრი მერქნიანი მცენარეები. — 110

კორუნდი — მინერალი, ალუმინის ჟანგი, მეტად მაგარი; გამჭვირვალე ფერადი კრისტალები, ძვირფასი ქვები (ლია წითელი — ლალი, ლურჯი — საფირონი) — 49, 148

კოტლასია—განამარხებული ცხოველი, გარდამავალი ფორმა წყალხმელეთებსა და ქვეწარმავლებს შორის. — 111

კრისტალები — მაგარი სხეულები, რომლებსაც დნობის გარკვეული წერტილი და ბუნებრივი მრავალწახნაგოვანი ფორმა აქვთ, რაც მათი შინაგანი აგებულებითაა განპირობებული. — 16 — 25

კროპოტკინი, პეტრე ალექსის ძე (1842 — 1921) — ცნობილი რუსი გეოგრაფი, გეოლოგი, აღმ. ციმბირის მკვლევარი. — 132

კურსკის მაგნიტური ანომალია — რკინის მადნის უდიდესი საბადო საბჭოთა კავშირსა და მთელ მსოფლიოში, მდებარეობს საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის ცენტრში. — 33, 42

ლ

ლავა — გამლღვალი, თხევადი ან ბლანტი მაგმა, რომელიც დედამიწაზე ამოიფრქვევა ვულკანების კრატერებისა და დედამიწის ქერქის ნაპრალებიდან. — 28

ლაიელი, ჩარლზი (1797 — 1875) — გამოჩენილი ინგლისელი გეოლოგი. — 129 — 131

ლაკოლითები — მაგმური ქანების კვერების მსგავსი მასივები, რომლებიც დედამიწის ქერქიდან უმნიშვნელო სიღრმეზეა გაცივებული დანალექ შრენარებს შორის. — 27, 28, 29

ლალი — იხ. კორუნდი.

ლანტანოზუხი — პრიმიტიული ხერხემლიანი ცხოველი, რომელიც სტეგოცეფალებსა და პრიმიტიულ ქვეწარმავლებს წააგავს; პერმული პერიოდის ხმელეთის ბინადარი. — 111

ლაპილი (იტალიურად — „კენჭები") — ლავის გაცივებული შხეფები, წარმოიქმნება ვულკანების ამოფრქვევისას. — 89

ლატიმერია — მაჯაფარფლიანი თევზი, რომელიც სამხ. აფრიკის სანაპიროებთან აღმოაჩინეს. — 109

ლეონარდო და ვინჩი (1452 — 1519) — დიდი იტალიელი მხატვარი და მეცნიერი. — 124

ლეპიდოდენდრონი — უზარმაზარი განამარხებული მერქნიანი მცენარე, რომელიც ფართოდ იყო გავრცელებული ქვანახშირის პერიოდში. — 109

ლიკოპოდიუმისებრნი — უმაღლეს სპოროვან მცენარეთა ტიპი, რომელსაც მიეკუთვნება ქვანახშირისა და პერმული პერიოდების უამრავი დიდრონმერქნიანი განამარხებული მცენარე. — 107

ლიმონიტი — რკინის წყლიანი ჟანგი; ლიმონიტის დაგროვებით იქმნება მურა რკინაქვის საბადო. — 43, 150, 154

ლიოსი — ფოროვანი, წვრილმარცვლოვანი, ფხვიერი ქანი; შედგება მტვრის, თიხის, ქვიშისა და კალციუმის კარბონატის ნაწილაკებისაგან. — 32

ლიპარიტი — მაგმური ქანი, რომელიც შემადგენლობით გრანიტს წააგავს. — 158

ლომონოსოვი, მიხეილ ვასილის ძე (1711 — 1765) — დიდი რუსი მეცნიერი, თანამედროვე ბუნებისმეტყველების ერთ-ერთი ფუძემდებელი, პოეტი. — 125, 126, 127

მ

მაგმა — რთული შემადგენლობის გამლღვალი ცეცხლოვანი მასა, რომელიც დედამიწის ღრმა ზონებში წარმოიქმნება. — 20, 29, 75, 88, 134

მაგმური ქანები — ქანი, რომელიც მაგმის გაცივებისა და მისი დაკრისტალების შედეგად წარმოიშვება. — 26, 75

მაგნეზიტი — მინერალი, მაგნიუმის კარბონატი, ფართოდ იყენებენ მეტალურგიაში როგორც ცეცხლგამძლე მასალას. — 45, 152

მაგნეტიტი (მაგნიტური რკინაქვა) — მინერალი, რკინის ჟანგეული, რკინის მნიშვნელოვანი მადანი. — 42, 53, 150

მაგნიტური ანომალია — დედამიწის მაგნეტიზმის ელემენტების ადგილობრივი გადახრა, რაც დედამიწის ქერქში დიდი რაოდენობის რკინის მადნის, უმთავრესად მაგნიტური რკინაქვის არსებობითაა გაპირობებული. — 60, 68

მალაქიტი (სპილენძის მწვანე) — მინერალი, სპილენძის კარბონატი, ხასხასა მწვანე ფერის, ძვირფასი სანაკეთო ქვა. — 60, 153

მანტია — დედამიწის ერთ-ერთი შიგნითა გარსი დედამიწის ქერქსა და დედამიწის ბირთვს შორის. — 14, 16

მარგალიტი — მოლუსკის ნიჟარის შიგნითა, სადაფის ფენის გამონაყოფი ნიჟარაში მოხვედრილი უცხო სხეულის ირგვლივ. — 52

მარგანეცი — ძნელდნობადი მეტალი, რომელსაც იყენებენ მეტალურგიაში მაღალხარისხოვანი, განსაკუთრებული ფოლადის მისაღებად. — 43, 52

მარმარილო — მეტამორფიზებული, გადაკრისტალებული კირქვა. — 18, 54, 158

მარჯნები — ზღვის უხერხემლო ცხოველები, რომლებიც სილურული პერიოდიდან არსებობენ. — 105

მასტოდონოზავრები — უდიდესი განამარხებული წყალხმელეთები; ცხოვრობდნენ ტრიასულ პერიოდში. — 109

მასტოდონტები — განამარხებული ძუძუმწოვრები ხორთუმიანთა ჯგუფიდან, ცხოვრობდნენ მესამეულ და მეოთხეულ პერიოდებში. — 117, 128

მატერიკები (კონტინენტები) — დედამიწის ხმელეთის ყველაზე დიდი მასივები, რომლებსაც თითქმის ყოველი მხრიდან ზღვები და ოკეანეები ესაზღვრება. — 140

მაუნა-ლოა — მოქმედი ვულკანი ჰავაის კუნძულებზე წყნარ ოკეანეში. — 92

მაჯაფარფლიანი თევზები — უძველესი განამარხებული თევზები, რომლებიც პალეოზოური ერის ზღვებში ცხოვრობდნენ. ჩვენამდე ამ თევზების რამდენიმე სახემ მოაღწია. — 108

მეზოზოური ერა — მეოთხე ერა დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის დასაწყისიდან. — 112, 121

მეოთხეული პერიოდი, ანუ ანთროპოგენი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის კაინოზოური ერის უკანასკნელი (თანამედროვე) პერიოდი. — 117, 121, 127

მესამეული პერიოდი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის კაინოზოური ერის პირველი პერიოდი. — 116, 117, 121, 127

მესინა — ქალაქი და ნავსადგური იტალიაში კ. სიცილიაზე. — 80, 81

მეტამორფიზმი — ქანების ცვლის პროცესი დედამიწის სიღრმეში მაღალი ტემპერატურისა და წნევის, მაგმური გაზებისა და ხსნარების ქიმიური ზემოქმედების შედეგად. — 33

მეტამორფული ქანები — ქანები, რომლებმაც მეტამორფიზმი განიცადეს (გნეისები, ფიქლები, კვარციტები, მარმარილო და სხვ.). — 32 — 33

მთის ბროლი — მინერალი, კვარცის კრისტალური, უფე-

რო, გამჭვირვალე სახესხვაობა; აქვს პიეზოელექტრული თვისებები (იხ. პიეზოელექტრული თვისებები); იყენებენ ხელსაწყო-იარაღების დასამზადებლად და როგორც სანაკეთო ქვას. — 17, 147, 148

მინდვრის შპატები — მნიშვნელოვან ქანმაშენ მინერალთა ჯგუფი, რომელიც შედგება ალუმინის, სილიციუმის, ჟანგბადის, კალიუმის, ნატრიუმისა და კალციუმისაგან. — 17, 52, 148, 154

მინერალები — დედამიწის ქერქის შემადგენელი ბუნებრივი ქიმიური ნაერთები. — 19, 25 — 28, 33, 147 — 156

მინერალის პიეზოელექტრული თვისება—მინერალის ფირფიტის ზედაპირზე ურთიერთსაწინააღმდეგო ელექტრომუხტების წარმოშობა მისი შეკუმშვისა და გაჭიმვის დროს. — 24, 25

მირაბილიტი (გლაუბერის მარილი) — მინერალი, ნატრიუმის წყლიანი სულფატი; იყენებენ ქიმიურ, სამღებრო და მრეწველობის სხვა დარგებში. — 50

მიწისძვრა — დედამიწის ქერქის ცალკეული უბნების რხევა, რასაც იწვევს ქანების მასების ადგილის შეცვლა დედამიწის შინაგან ძალთა ზეგავლენით, კერძოდ, ვულკანების ამოფრქვევისას. — 13, 70, 80 — 86

მოლიბდენიტი — მინერალი, მოლიბდენის სულფიდი, მოლიბდენის მთავარი სამრეწველო მადანი. — 53, 150

მონ-პელე — მოქმედი ვულკანი კ. მარტინიკაზე. — 92

მორენა — ყინვარების მიერ გადატანილი და დალექილი ქანების შეუცემენტებელი ნამტვრევები. — 79

მოხოროვიჩიჩის ზედაპირი — საზღვარი დედამიწის ქერქსა და ქერქქვეშა ნივთიერებას შორის, განსაზღვრულია სეისმური ტალღების გავლის სისწრაფის ცვლის საფუძველზე. — 14

მურა ნახშირი — განამარხებული ნახშირი, გარდამავალი სტადია განამარხებულ ტორფსა და ქვანახშირს შორის. — 36

მურა რკინაქვა — იხ. ლიმონიტი.

მურჩისონი, როდერიკ იმპი (1792 — 1871) — ინგლისელი გეოლოგი, პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიის წევრი. — 127, 135

მუსკოვიტი (თეთრი ქარსი) — მინერალი, რომელსაც იყენებენ მრეწველობაში როგორც მაღალხარისხოვან ელექტროსაიზოლაციო მასალას. — 153, 157

მუშკეტოვი, ივანე ვასილის ძე (1850 — 1902) — რუსი გეოლოგი და გეოგრაფი. — 137

მწვანე ევგლენა — უმარტივესი ერთუჯრედიანი ცოცხალი ორგანიზმი. — 103

ნ

ნავთობი — მუქი ფერის ზეთოვანი სითხე, ძვირფასი საწვავი სასარგებლო ნამარხი; შემადგენლობით ნახშირწყლების ნარევი. — 32, 38, 39, 55

ნაწლავღრუიანები—პრიმიტიულ მრავალუჯრედიან ცხოველთა ტიპი; ცნობილია პროტეროზოური ერიდან. — 104

ნეოგენი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის კაინოზოური ერის მესამეული პერიოდის მეორე ნახევარი. — 121

ნეფელინი — მინერალი, რომელიც შედგება ნატრიუმის, ალუმინის, სილიციუმისა და ჟანგბადისაგან; იყენებენ მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში. — 45

ო

ობრუჩევი, ვლადიმერ ათანასეს ძე (1863 — 1956) — უდიდესი საბჭოთა მეცნიერი, აკადემიკოსი, გამოჩენილი გეოლოგი, გეოგრაფი, მოგზაური, ცენტრალური აზიისა და აღმოსავლეთ ციმბირის მკვლევარი. — 137, 140

ობსიდიანი (ვულკანური მინა) — ამონთხეული ვულკანური ქანი; იყენებენ როგორც სანაკეთო ქვას. — 52, 158

ოგი, გუსტავ ემილი (1861 — 1927) — გამოჩენილი ფრანგი გეოლოგი. — 133

ოპარინი, ალექსანდრე ივანეს ძე (დაიბ. 1894) — აკადემიკოსი, მცენარეთა ბიოქიმიის სპეციალისტი. — 103

ორდოვიკული პერიოდი — პალეოზოური ერის მეორე გეოლოგიური პერიოდი. — 122

ორმაგადმსუნთქავი თევზები — ძვლოვანი თევზების კლასი, რომელიც გავრცელებული იყო დევონურსა და ქვანახშირის პერიოდებში. — 108

ოქრო — კეთილშობილი მეტალი, ბუნებაში ჩვეულებრივ, თვითნაბადი სახით გვხვდება, უფრო იშვიათად — ვერცხლსა და სხვა მეტალებთან შერეული. — 34, 45 — 46

პ

პავლოვი, ალექსი პეტრეს ძე (1854 — 1929) — გამოჩენილი საბჭოთა გეოლოგი, აკადემიკოსი. — 136

პალეოგენი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის კაინოზოური ერის მესამეული პერიოდის პირველი, უძველესი ნახევარი. — 121

პალეოგეოგრაფია — მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის იმ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებს, რომლებიც არსებობდა დედამიწის ზედაპირზე უწინდელ გეოლოგიურ ეპოქებში. — 120, 136

პალეოზოური ერა (ბერძნული სიტყვებიდან „პალაიოს“ (პალეოს) — უძველესი, „ზოე“ — სიცოცხლე) — მესამე ერა დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის დასაწყისიდან. იყოფა კამბრიულ, ორდოვიკულ, სილურულ, დევონურ, ქვანახშირისა და პერმულ პერიოდებად. — 102, 104

პალეოთერიუმი — ცხოველი უძველესი ცხენების ოჯახიდან, რომელიც მესამეულ დროში ცხოვრობდა. — 128

პეგმატიტები — მაგმური ქანები, რომლებიც ძარღვებს ქმნიან; შედგება მინდვრის შპატის კრისტალებისაგან, რომლებშიც კვარცის კრისტალებია შეზრდილი; ხშირად შეიცავს ძვირფას იშვიათ მეტალებსა და ფერად ქვებს. — 29, 45, 158

პემზა — ამონთხეული, ვულკანური, ფოროვანი ქანი, იყენებენ როგორც სამშენებლო და აბრაზიულ მასალას. — 87, 89

პარეიაზავრები — დიდი განამარხებული ცხოველები პრიმიტიულ ქვეწარმავალთა კლასიდან; ცხოვრობდნენ პერმულ პერიოდში. — 111

პერიდოტიტები — სიღრმის მაგმური ქანები, რომლებიც შედგება ოლივინის, ავგიტისა და რქატყუარასაგან. — 15, 61, 64, 67

პერმული პერიოდი, ანუ პერმი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის პალეოზოური ერის მეექვსე და უკანასკნელი პერიოდი. — 110, 122

პეტროგრაფია — გეოლოგიის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის ქანების წარმოშობასა და აგებულებას, მათ ადგილმდებარეობას და წოლის პირობებს. — 135

პიეზოკვარცი — კვარცის კრისტალები, რომლებსაც პიეზოელექტრული თვისებები აქვთ. — 24

პითეკანთროპი — ადამიანის უძველესი განამარხებული სახე, რომლის ნარჩენები ნაპოვნია კ. იავაზე. — 118

პირიტი (გოგირდის ან რკინის ალმადანი) — მინერალი, რკინისა და გოგირდის ნაერთი, იყენებენ გოგირდმჟავას მისაღებად და ძვირფასი მინარევების გამოსაყოფად. — 44, 50, 150

პიროლუზიტი — მინერალი, მარგანეცის ჟანგეული, მარგანეცის მნიშვნელოვანი მადანი. — 43, 156

პლატინა — ღია ნაცრისფერი, კეთილშობილი მეტალი. ახასიათებს დნობის მაღალი და დუღილის ძალზე მაღალი (4350°) ტემპერატურა; მჟავაგამძლე, იყენებენ ქიმიურ, ელექტროტექნიკურ მრეწველობასა და საიუველირო საქმეში. — 34, 46, 59

პლეზიოზავრები — განამარხებული ზღვის მტაცებელი ქვეწარმავლები, რომლებიც მეზოზოურ ერაში ცხოვრობდნენ. — 114

პოლიმეტალური საბადოები — მადნის საბადოები, რომლებიც რამდენიმე სასარგებლო მეტალს შეიცავს (ტყვიას, თუთიას, სპილენძს, ვერცხლს, ოქროს და ბევრ იშვიათსა და გაფანტულ მეტალს). — 44

პორფირიტი — მაგმური ქანი. — 158

პროტეროზოური ერა, ანუ პროტეროზოი (ბერძნული სიტყვებიდან „პროტეროს“ — პირველი, „ზოე“—სიცოცხლე)— მეორე დიდი ეტაპი დედამიწის გეოლოგიურ ისტორიაში. — 102, 122

პსილოფიტები—დედამიწის გეოლოგიურ ისტორიაში ყველაზე უძველესი მიწისზედა მცენარეები; ცნობილია კამბრიული პერიოდიდან. — 107

პტეროდაქტილები—განამარხებული ქვეწარმავლები ხვლიკების ჯგუფიდან; ცხოვრობდნენ იურულ და ცარცულ პერიოდებში. — 114

პტეროზავრები — განამარხებული ქვეწარმავლები, ფრთოსანი ხვლიკები, აღმოჩენილია იურული და ცარცული პერიოდების დანალექებში. — 114

რ

რადიოაქტიური მადნები — მადნები, რომლებიც სითბური და სხივური ენერგიის გამოსხივების უნარის მქონე რადიოაქტიურ მეტალებს (ურანს, თორიუმს, რადიუმს და სხვ.) შეიცავს. — 120

რადიოლარიები—უმარტივესი, მიკროსკოპული ზღვის ორგანიზმები, რომლებსაც კაჟის ჩონჩხი აქვთ, ცხოვრობენ თბილ ზღვებში პროტეროზოური ერიდან დღემდე. — 104

რადიონახშირბადული მეთოდი — ქანების აბსოლუტური ასაკის დადგენის საშუალება ორგანულ ქანებში დარჩენილი რადიოაქტიური ნახშირბადის რაოდენობის მიხედვით. — 120

რეპტილიები — იხ. ქვეწარმავლები.

რკინიანი კვარციტები — უძველესი, ძალზე მეტამორფიზებული (იხ. მეტამორფიზმი) ქანები; რკინის მაღალხარისხოვანი მადანი. — 33

ს

საგოურები — მერქნიანი გვიმრები და პალმისმაგვარი ხეები შიშველთესლიან მცენარეთა კლასიდან; ფართოდ იყო გავრცელებული ქვანახშირისა და იურულ პერიოდებში. — 113

სასარგებლო ნამარხები — მინერალებისა და ქანების ბუნებრივი დაგროვება დედამიწის ქერქში, რაც მრეწველობას ხმარდება. — 11, 33 — 73, 123

საფირონი — იხ. კორუნდი.

საწვავი ფიქლები — ფიქლისებური (იხ. ფიქლები) აგებულების ქანები, რომლებსაც იყენებენ როგორც საწვავს და ნედლეულს გაზის, ბენზინისა და ნავთის მისაღებად. — 37

სეისმოგრამა — დედამიწის ქერქის რხევის ჩანაწერი, მიღებული სეისმოგრაფის დახმარებით. — 82, 83

სეისმოლოგია — გეოფიზიკის დარგი, რომელიც შეისწავლის მიწისძვრებს, მიწისძვრების წარმომშობ მიზეზებსა და მათ გავრცელებას დედამიწაზე. — 13

სენ-პიერი — ქალაქი კ. მარტინიკაზე, კარიბის ზღვის ნავსადგური; მთლიანად დაინგრა 1902 წ. ვულკან მონ-პელეს ამოფრქვევის დროს. — 92

სერიციტი — მინერალი, ქარს-მუსკოვიტის (იხ. მუსკოვიტი) წვრილქერცლიანი სახესხვაობა. — 32

სიდერიტი — მინერალი, რკინის კარბონატი, იყენებენ როგორც რკინის მადანს. — 152

სიენიტი — მაგმური ქანი; შემადგენლობით უკვარცო გრანიტი. — 157

სილვინი — მინერალი, რომელიც შედგება კალიუმისა და ქლორისაგან. კალიუმის მისაღები მნიშვნელოვანი წყარო. — 151, 152

სილიკატები — სილიციუმის ჟანგის შემცველ ქანმაშენ მინერალთა ერთ-ერთი ძირითადი ჯგუფი. — 45, 47

სილურული პერიოდი (სილური) — პალეოზოური ერის მესამე პერიოდი. — 122, 127

სმიტი, უილიამი (1769 — 1839) — ინგლისელი მიწისმზომელი, გეოლოგი; პირველმა განსაზღვრა გაქვავებულობების მიხედვით ქანების შეფარდებითი ასაკი. — 127

სოკოლოვი, დიმიტრი ივანეს ძე (1788 — 1852) — რუსი გეოლოგი. — 135

სპილენძი — ღია წითელი ფერის მეტალი; ძნელდნობადი, რბილი, გვხვდება როგორც თვითნაბადი, ასევე სხვა ელემენტებთან ნაერთების სახითაც; ფართოდ იყენებენ ელექტროტექნიკაში, მეტალურგიასა და მედიცინაში. — 34, 53

სტეგოცეფალები — განამარხებული წყალხმელეთები, ხშირია დევონური, პერმული და ტრიასული პერიოდების დანალექებში. — 110

სტენო, ნილსი (1638 — 1686) — დანიელი ბუნებისმკვლევარი. — 124

სტრატიგრაფია — გეოლოგიის ნაწილი, რომელიც ქანების შეფარდებით და აბსოლუტურ ასაკს ადგენს. — 127

სფალერიტი (თუთიის კრიალა)—მინერალი, თუთიის სულფიდი, თუთიისა და ზოგიერთი გაფანტული მეტალის მნიშვნელოვანი მადანი. — 44, 153

სხივფარფლიანი თევზები — ძვლოვანი თევზების ჯგუფი; ცნობილია დევონური პერიოდიდან. — 108

ტ

ტალკი — მინერალი, რომელიც შეიცავს მაგნიუმს, სილიციუმსა და ჟანგბადს; იყენებენ როგორც ცეცხლგამძლე მასალას ფარმაცევტულ, ქიმიურ და მრეწველობის სხვა დარგებში. — 54, 148, 151

ტერიოდონტები — განამარხებული ცხოველები მტაცებელ ქვეწარმავალთა რაზმიდან; ცხოვრობდნენ პერმულსა და ტრიასულ პერიოდებში. — 115

ტექტონიკა — გეოლოგიის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის დედამიწის ქერქის მოძრაობას, ქანების წოლის ფორმასა და მათი განვითარების ისტორიას. — 56, 82

ტიმირიაზევი, კლიმენტი არკადის ძე (1843 — 1920) — დიდი რუსი ბოტანიკოსი. — 101

ტირანოზავრი — დიდი განამარხებული ცხოველი მტაცებელ დინოზავრთა ჯგუფიდან, ნაპოვნია ცარცული პერიოდის დანალექებში. — 116

ტკეჩვადობა — მინერალის თვისება, გაიპოს გარკვეული მიმართულებით ისე, რომ განაპობის ზედაპირი სწორი იყოს. — 148

ტოპაზი — მინერალი სილიკატების ჯგუფიდან; შეიცავს ალუმინსა და ფტორს; იყენებენ რადიოტექნიკაში, საიუველირო საქმეში და როგორც აბრაზიულ (სათრაშავ) მასალას. — 51, 148, 155

ტორფი — ორგანული წარმოშობის ქანი; ძვირფასი სათბობი; იყენებენ ქიმიურ მრეწველობაში, სამშენებლო საქმესა და სოფლის მეურნეობაში. — 35, 36

ტრიასული პერიოდი, ანუ ტრიასი (ბერძნული სიტყვაა, „ტრიას“ — სამისგან შემდგარი) — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის მეზოზოური ერის პირველი პერიოდი. — 112, 121, 127

ტრილობიტები — განამარხებული ზღვის ფეხთსახსრიანი ცხოველები, რომლებიც პალეოზოურ ერაში ცხოვრობდნენ. — 105

ტუფი — ქანი, რომელიც წარმოშობილია ვულკანის ფხვიერი ამონასროლების, უმეტესად ფერფლისაგან (ვულკანური ტუფი) და აგრეთვე ცხელი ან ცივი წყაროებიდან კალციტის დალექვის შედეგად (კირიანი ტუფი). — 54, 89

უ

ურანი — რადიოაქტიური მეტალი. — 34, 120

ფ

ფერადი მეტალები — მეტალთა ჯგუფი, რომელშიც შედის სპილენძი, ტყვია, თუთია, ნიკელი, კობალტი, ალუმინი. — 44 — 46

ფილიერები — ძნელდნობადი მეტალების ან ალმასის ნაჩვრეტებიანი დისკოები. ამ ნაჩვრეტების გავლით ჭიმავენ ვარვარა ძაფებსა და ბოჭკოებს. — 22

ფირუზი — ცისფერი მინერალი, შემადგენლობით ფოსფორის მჟავას სპილენძ-ალუმინის მარილი; ნახევრად ძვირფასი და სანაკეთო ქვა. — 51

ფიქლები — ფენოვანი აგებულების მეტამორფული ქანების დიდი ჯგუფი, იპობა თხელ ფირფიტებად. — 37, 158

ფლუორიტი (მდნობი შპატი) — მინერალი, ფტორიანი კალციუმი, მნიშვნელოვანი საწარმოო ნედლეული მეტალურგიისათვის, აგრეთვე ქიმიური და კერამიკული მრეწველობისათვის. — 14, 51, 148, 152

ფლოგოპიტი — მინერალი ქარსების კლასიდან; აქვს მეტად მაღალი ელექტროსაიზოლაციო თვისებები. — 51, 151, 153

ფორამინიფერები — მიკროსკოპული ზომის ზღვისა და მტკნარი წყლების უმარტივესი ორგანიზმები; განამარხებული სახით ცნობილია კამბრიული პერიოდიდან. — 104

ფუმაროლები — ჭავლის სახის ცხელი ვულკანური გაზების გამოსავლები ვულკანის ზედაპირზე. — 88

ფუძიამა — მოქმედი ვულკანი იაპონიაში. — 91

ქ

ქალკოზინი (სპილენძის კრიალა) — მინერალი, სპილენძის სულფიდი, იყენებენ სპილენძის გამოსადნობად. — 44

ქალკოპირიტი (სპილენძის ალმადანი) — მინერალი, სპილენძისა და რკინის სულფიდი, სპილენძის მისაღები ძირითადი მადანი. — 44, 148

ქანები — დედამიწის შემადგენელი ერთი ან რამდენიმე მინერალის შეხამება. — 25, 125, 157

ქარვა — მესამეული პერიოდის განსაკუთრებული სახის ფიჭვის განამარხებული ფისი, იყენებენ საგანგებო იზოლა-

ტორების, ლაქებისა და სხვადასხვა სამკაულების დასამზადებლად. — 51 — 52, 149

ქარსები — ქანმაშენ მინერალთა მნიშვნელოვანი ჯგუფი, ახასიათებს სრული ტკეჩვადობა. — 51, 148

ქვამარილი (გალიტი) — დანალექი ქანი, რომელსაც ფართოდ იყენებენ კვების, ქიმიურ და მრეწველობის სხვა დარგებში. — 50, 123, 147, 149

ქვანახშირი — ქანი, რომელიც წარმოშობილია უჰაერობისა და დიდი დაწოლის გამო შეცვლილი მცენარეული ნარჩენებისაგან; ძვირფასი სათბობი და ქიმიური ნედლეული. — 36 — 37, 54, 123

ქვანახშირის პერიოდი ანუ კარბონი (ლათინური სიტყვიდან „კარბო“ — ნახშირი) — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის პალეოზოური ერის მეხუთე პერიოდი. ასეთი სახელწოდება იმიტომ მიიღო, რომ იმ დროს დიდი რაოდენობით შეიქმნა ქვანახშირის საბადოები. — 121, 127

ქვაცარცი (დიატომიტი) — დანალექი ქანი, რომელიც შედგება ამორფული კაჟმიწისა და დიატომური წყალმცენარეების ჯავშნებისაგან. იყენებენ როგორც თერმოსაიზოლაციო მასალას ცემენტის, ნავთობისა და მრეწველობის სხვა დარგებში. — 31, 158

ქვეწარმავლები (რეპტილიები) — ხერხემლიან ცხოველთა კლასი, რომელმაც თავის უმაღლეს განვითარებას მეზოზოურ ერაში მიაღწია. დღევანდელი წარმომადგენლებია ნიანგები, გველები, კუ, ხვლიკები და სხვ. — 111, 121

ქვიშაქვა — დანალექი ქანი, რომელიც შეცემენტებულ ქვიშას წარმოადგენს. — 18, 55, 125, 157

ქრომიტი (ქრომიანი რკინაქვა) — მინერალი, ქრომის ძირითადი მადანი. — 44, 150

ღ

ღრუბლები — უხერხემლო, მრავალუჯრედიანი ზღვის ცხოველების ტიპი, რომლებიც ცნობილია კამბრიული პერიოდიდან. — 105

ყ

ყაზბეგი — ჩამქრალი ვულკანი კავკასიაში. — 86, 95

ყინვარი (გლეტჩერი) — ყინულის მასა, რომელიც სიმძიმის ძალის გავლენით მოძრაობს ხეობაში ან მთის ფერდობზე. — 131

შ

შახტი — ვერტიკალური ღრმა სამთო გამონამუშევარი, რომლიდანაც წარმოებს სასარგებლო ნამარხების დამუშავება; — 65, 72, 101

შეფარდებითი გეოლოგიური ასაკი—დრო, რომელიც მიუთითებს დედამიწის ისტორიაში მომხდარი მოვლენების თანმიმდევრობაზე. განსაზღვრავენ პალეონტოლოგიური ნარჩენებისა და ქანების მდგომარეობის მიხედვით. — 119, 127

შველიტი — მინერალი, რომელიც შედგება კალციუმის, ვოლფრამისა და ჟანგბადისაგან; ვოლფრამის მისაღები მნიშვნელოვანი მადანი. — 48

შიველუჩი — მოქმედი ვულკანი კამჩატკის ნახევარკუნძულზე. — 90

შიშველთესლიანი მცენარეები — უმაღლეს მცენარეთა (გვიმრების, კორდაიტების, წიწვიანებისა და სხვ.) ჯგუფი. — 110, 121

შლიხი — ფხვიერი ქანების რეცხვისას მიღებული მძიმე მინერალების ნარჩენები. — 66

შმიდტი, ოტო იულის ძე (1891 — 1956) — გამოჩენილი საბჭოთა მეცნიერი მათემატიკოსი, ასტრონომი და გეოფიზიკოსი, საბჭოთა კავშირის გმირი, არქტიკის მკვლევარი. — 12 — 13

შტოლნი — ჰორიზონტალური მიწისქვეშა გამონამუშევარი, რომელსაც მიწის ზედაპირზე ამოსასვლელი აქვს. — 71

შუნგიტის ფიქლები — უძველესი ქანები, კაკთიხოვანი ფიქლები, რომლებშიც თავს იყრის ნახშირბადული ორგანული ნივთიერება შუნგიტი. — 37

შურფი — 5 — 10 მ სიღრმის ვერტიკალური სამთო გამონამუშევარი. — 65, 71

ჩ

ჩანთოსნები — ყველაზე პრიმიტიულ ძუძუმწოვარ ცხოველთა ქვეკლასი. — 117

ც

ცარცული პერიოდი, ანუ ცარცი — დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის მეზოზოური ერის უკანასკნელი პერიოდი. — 116, 121, 127

ცირკონი — მინერალი, ცირკონიუმისა და რადიოაქტიური ელემენტების მისაღები მთავარი მადანი. — 48

ცუნამი — ვეებერთელა ზღვის ტალღები, რომლებიც მიწისძვრის დროს წარმოიშვება. — 86

ძ

ძვირფასი ქვები — მინერალები, რომლებსაც ახასიათებს გამჭვირვალობა, დიდი სიმაგრე და კარგი დაწახნაგების უნარი (ალმასი, ლალი, საფირონი, ზურმუხტი და სხვ.). — 11

წ

წყალხმელეთები (ამფიბიები) — ხერხემლიან ცხოველთა კლასი; ლარვის მდგომარეობაში წყალში ცხოვრობენ და ლაყუჩებით სუნთქავენ, ზრდასრულ მდგომარეობაში კი — ფილტვებით, ცნობილი არიან პალეოზოური ერის დევონური პერიოდიდან. — 109

ხ

ხავსცხოველები — უხერხემლო ცხოველთა კლასი, რომელსაც ეკუთვნის უმთავრესად ზღვის მიმაგრებული ფორმები; ცხოვრობენ კოლონიებად; ცნობილია პალეოზოური ერის სილურული პერიოდიდან. — 105

ჯ

ჯავშნიანი თევზები — განამარხებული ცხოველები, რომლებიც სილურსა და დევონში იყო გავრცელებული. — 108

ც

ჰარცინული მთათწარმოშობა — ქანების დანაოჭება, რომელიც ქვანახშირისა და პერმულ პერიოდებში მიმდინარეობდა. — 122

ჰემატიტი (რკინის კრიალა, წითელი რკინაქვა) — რკინის ქანგი, რკინის მაღალხარისხოვანი მადანი. — 42, 43, 154

ჰიდროთერმული ძარღვები — მინერალური სხეულები, წარმოშობილი დედამიწის ქერქის ბზარებში შეჭრილი ცხელი მაგმური ხსნარებიდან. — 30

ჰიდროსფერო — დედამიწის წყლის გარსი, რომელშიც შედის ზღვები, მდინარეები და ტბები. — 16

ჰიპოცენტრი — მიწისძვრის კერა, დედამიწის შიგნით მიწისძვრის წარმოშობის ადგილი. — 81

ჩემი ცხოვრების საქმე

ასტრონომია — მეცნიერება სამყაროს შესახებ

ჩვენს თვალწინ გადაშლილია ბუნების უზადო სილამაზე, მაგრამ უფრო დიადია ვარსკვლავიერი ცა.

ჩვენ შეგვიძლია შემოვუფრინოთ, ან გარს შემოვუაროთ დედამიწის მთელ სფეროს, მსოფლიოს, რომელშიაც ვცხოვრობთ. ვარსკვლავიერი ცა კი სხვა სამყაროებით აღსავსე, თვალუწვდენელი, დაუსრულებელი სივრცეა. ყოველი ვარსკვლავი, ბნელ ცაზე ოდნავ მოციმციმეც კი, წარმოადგენს ვეებერთელა მნათობს, რომელიც ხშირად მზეზე უფრო ცხელი და კაშკაშაა. მაგრამ ვარსკვლავები მზესთან შედარებით ბევრად უფრო შორს არიან ჩვენგან და ამიტომ გვეჩვენება, რომ სუსტად ანათებენ.

რას წარმოადგენს ეს სამყაროები და როგორ მოძრაობენ ისინი? რა მანძილზე არიან ჩვენგან? როგორ წარმოიშვა ცის მნათობები? როგორაა აგებული ვარსკვლავები? რა გადახდენიათ მათ წარსულში და რა მოელით მომავალში?

ყველა ამ საკითხს შეისწავლის ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა — მეცნიერება სამყაროს შესახებ.

მეცნიერებმა შეძლეს განესაზღვრათ მანძილები ვარსკვლავებამდე, გაეგოთ მზის მასა და მისი ქიმიური შედგენილობა, ეწინასწარმეტყველათ მთვარისა და მზის მომავალი დაბნელებანი, კუდიანი მნათობების — კომეტების გამოჩენის დრო. მაგრამ მრავალმა საუკუნემ განვლო, ვიდრე ადამიანები ამას შეძლებდნენ.

როდის და როგორ ჩაისახა მეცნიერება სამყაროს შესახებ?

ადამიანები ჯერ კიდევ შორეულ წარსულში ადევნებდნენ თვალს მზის მოძრაობას ცაზე. მათ ისწავლეს მზისა და ვარსკვლავების მდებარეობების მიხედვით დღე-ღამის განსაზღვრა.

ადამიანმა დიდი ხანია შეამჩნია ცაზე ვარსკვლავთ ჯგუფები, რომელთა მიხედვით შეიძლება მოიძებნოს გზის სწორი მიმართულება ხმელეთსა და ზღვაზე. ეს ცოდნა აუცილებელი იყო, რადგან ადამიანები გასცდნენ თავიანთ სადგომებს და იწყეს მოგზაურობა მთელს დედამიწაზე.

უძველეს ხალხებს დედამიწა ბრტყელი ეგონათ, ცა კი დედამიწაზე გადმოპირქვავებულ ნახევარსფეროდ წარმოედგინათ. თვით დედამიწას უძრავად თვლიდნენ და ფიქრობდნენ, რომ ყველა მნათობი დღე-ღამის განმავლობაში გარს უვლის მას. ადამიანებს არ შეეძლოთ ბუნების მოვლენების ახსნა, მათ მთელი სამყარო ზებუნებრივი არსებების, ღმერთების, ნამოქმედარი საოცრებებით აღსავსე ეგონათ.

გამოჩნდნენ ღმერთების მსახურნი — ქურუმები, რომლებიც ყველა ციურ მოვლენას ღმერთების ნებას მიაწერდნენ. იმ უძველეს წარსულში ბუნების მოვ-

ლენების მეცნიერულ ახსნაზე ლაპარაკიც ზედმეტი იყო. მაგრამ ცის მოვლენებზე დაკვირვებით კაცობრიობა თანდათანობით სულ უფრო მეტ ცოდნას აგროვებდა ციურ მნათობთა სამყაროს შესახებ. ადამიანებმა ცაზე შენიშნეს რამდენიმე განსაკუთრებით კაშკაშა მნათობი, რომლებიც ადგილს იცვლიდნენ თანავარსკვლავედებს შორის, ხან წინ, ხან უკან გადაადგილდებოდნენ, ხან კი უძრავად იდგნენ ადგილზე. ამ მოხეტიალე მნათობებს, ჩვეულებრივი ვარსკვლავებისაგან განსხვავებით, პლანეტები (ცთომილები) უწოდეს. ადამიანი ვერ ერკვეოდა ცის მოვლენათა რთულ სურათში, არ იცოდა პლანეტების მოძრაობის ჭეშმარიტი მიზეზები. ცთომილებს თვლიდნენ ღმერთების მაცნეებად, რომლებიც თითქოსდა მიწიერ მოვლენებსა და ადამიანთა ბედს განაგებდნენ.

გადიოდა საუკუნეები. დაკვირვებები ცის მოვლენებსა და მათ შორის პლანეტების მოძრაობებზე სულ უფრო ზუსტი ხდებოდა. სწავლულები ცდილობდნენ გაეგოთ და აეხსნათ ვარსკვლავთა, მთვარის, მზისა და პლანეტების ხილული მოძრაობის მიზეზები. მაგრამ ამ მოვლენების ახსნა შეუძლებელი იყო, თუ დედამიწას უძრავად ჩავთვლიდით. ისეთი აზრებისათვის კი, რომლებიც ეწინააღმდეგებოდა ეკლესიის შეხედულებებს, სწავლულებს სასტიკად სდევნიდნენ.

ადამიანის გონებას ბინდი ჰქონდა გადაკრული, ვიდრე არ შეიცნო დედამიწის ჭეშმარიტი ადგილი სამყაროში და არ უარყო მცდარი შეხედულება, თითქოს დედამიწა წარმოადგენდა ქვეყნიერების ცენტრს.

XVI ს. პოლონელმა ასტრონომმა ნიკოლოზ კოპერნიკმა დაამტკიცა, რომ დედამიწის სფერო მხოლოდ ერთი იმ პლანეტათაგანია, რომლებიც გარემოიქცევიან მზის ირგვლივ. მზე ანათებს დედამიწას, დედამიწა კი მზის სინათლეს სივრცეში არეკლავს. საკუთარი სინათლე არც სხვა პლანეტებსა აქვთ და ისინიც აგრეთვე მზის სხივებს არეკლავენ.

მთვარე დედამიწის უახლოესი ციური სხეულია: იგი გარემოიქცევა დედამიწის ირგვლივ, წარმოადგენს მის თანამგზავრს და თან დაყვება დედამიწას მზის ირგვლივ მოძრაობისას. მოგვიანებით ასეთივე თანამგზავრები აღმოუჩინეს ბევრ სხვა პლანეტასაც.

ყველა პლანეტა და მზე შეადგენენ ერთიან მზის სისტემას, რომლის ცენტრშიც გავარვარებული თვითმნათი მზე იმყოფება.

ურიცხვი ვარსკვლავი ცის თაღზე კი არ არის დამაგრებული, როგორც ამას ძველად ფიქრობდნენ, არამედ დედამიწიდან სხვადასხვა მანძილებზე, მზის სისტემის საზღვრებიდან ძალზე შორს იმყოფებიან. თითოეული ვარსკვლავი ჩვენი მზის მსგავსია.

რუსმა მეცნიერმა ვ. სტრუვემ დაახლოებით 130 წლის წინ პირველმა გაზომა მანძილი ერთ-ერთ უახლოეს ვარსკვლავამდე. ეს მანძილი უზარმაზარი აღმოჩნდა. მასზე შეიძლება წარმოდგენა შეგვექმნას, თუ ავიღებთ ბუნებაში ყველაზე უფრო დიდ სიჩქარეს — სინათლის სიჩქარეს. სინათლის სხივი წამში 300 000 კმ-ს გადის. მზიდან ჩვენამდე იგი მოდის 8,5 წუთში, უახლოესი ვარსკვლავიდან კი ოთხ წელზე მეტ ხანს უნდება. მეცნიერები სამყაროში უკვე აკვირდებიან ისეთ ვარსკვლავებსა და ვარსკვლავთა სისტემებს, რომელთაგან დედამიწამდე სინათლის მოსვლას მილიონობით, ასეულ მილიონობით და მილიარდობით წელიწადი სჭირდება.

თუ ცის შესწავლას შეუდგებით, დარწმუნდებით, რომ იგი განუწყვეტლივ მოძრაობს და იცვლება. აი, აინთო ახალი ვარსკვლავი და თავისი სიკაშკაშით

რამდენიმე დღის განმავლობაში დაჩრდილა სხვა ვარსკვლავები. რა მსოფლიო კატასტროფამ გამოიწვია მისი აკაშკაშება?

აი, მზის სისტემის ფარგლებში გამოჩნდა ცის ახალი სხეული — კომეტა, რომლის დიდი, თითქოსდა ცეცხლოვანი კუდი, მთელ ნახევარ ცაზეა გადაჭიმული. იგი სწრაფად გაიქროლებს პლანეტების მწყობრში, მდოვრედ შემოუვლის მზეს და გვშორდება. ზოგიერთი კომეტა კი, პლანეტების მსგავსად, მზის ირგვლივ ბრუნავს და თვალით უხილავ, უწვრილესი კენჭების გროვად იშლება. ეს კენჭები უდიდესი სიჩქარით დაქრიან და, თუ დედამიწის ატმოსფეროში შემოიჭრნენ, ვარვარდებიან და ანათებენ. ამ დროს ბნელ ცაზე ელვარებენ „ვარდნილი ვარსკვლავები“ — მეტეორები. უმეტეს შემთხვევაში ისინი ორთქლად იქცევიან, მაგრამ მათ შორის ზოგიერთები, უფრო დიდები, დედამიწამდეც აღწევენ.

ციდან ჩამოვარდნილი ქვა! შორეულ სამყაროთა მაცნე! იგი შეიძლება ვნახოთ მუზეუმების ვიტრინებში. ასტრონომები და ასტრონომიის მოყვარულნი მზრუნველობით აგროვებენ ციდან ჩამოვარდნილი ქვების ნამსხვრევებს. მაგრამ, რასაკვირველია, ეს ნივთიერებანი ციურ სხეულებზე შეიძლება სრულიად სხვა მდგომარეობაში იმყოფებოდნენ, ვიდრე დედამიწაზე.

ზოგჯერ, ზამთრის ღამეში, ცაზე ფერად პროჟექტორთა სინათლის მსგავსად, ერთმანეთზე გადაჭდობილი მოძრაობენ პოლარული ციალის სხივები[1]. ამ დროს მაგნიტური ისარი ძლიერ ირხევა, ხოლო რადიომიმღები იწყებს ტკაცანს. რა იწვევს ამ მოვლენას?

სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერებმა ბევრი რამ გააკეთეს სამყაროში მიმდინარე ყველა გრანდიოზულ და რთულ მოვლენათა ასახსნელად.

ასტრონომიის განვითარებისათვის ბევრი გაკეთდა და ამჟამადაც ბევრი კეთდება ჩვენს ქვეყანაშიც.

XVII ს. მიწურულში პეტრე პირველმა მოსკოვში, სუხარევის კოშკში, გახსნა სკოლა, სადაც ასწავლიდნენ ასტრონომიას. უფრო მოგვიანებით პეტერბურგში, მეცნიერებათა აკადემიასთან, გაიხსნა ობსერვატორია.

მ. ლომონოსოვისა და სხვა გამოჩენილი მეცნიერების, მისი თანამედროვეებისა და მიმდევართა შრომების წყალობით ასტრონომიამ ჩვენს ქვეყანაში უკვე დიდი ხანია განვითარების მაღალ დონეს მიაღწია.

ქვეყნების ზუსტი რუკების შედგენა მოითხოვდა დედამიწაზე ქალაქების მდებარეობათა ზუსტ განსაზღვრას, რაც მხოლოდ ვარსკვლავების მიხედვითაა შესაძლებელი. ცაზე ვარსკვლავთა ზუსტი განლაგების შესასწავლად და ვარსკვლავთ სამყაროს აგებულების გამოსაკვლევად 1839 წ. პეტერბურგის ახლოს, პულკოვოს გორაკებზე, აშენდა უდიდესი ობსერვატორია, რომელსაც მეცნიერებმა მსოფლიოს ასტრონომიული დედაქალაქი შეარქვეს. ზუსტი დაკვირვებების შესასწავლად ასტრონომები აქ დასავლეთ ევროპიდან და ამერიკიდანაც კი ჩამოდიოდნენ.

ამჟამად პულკოვოს გარდა, ჩვენ გვაქვს ბევრი სხვა ობსერვატორია, სადაც ცას შეისწავლიან.

---

[1] ეს მოვლენა მხოლოდ პოლარული ზონის მახლობლად შეიმჩნევა და ჩვენს განედებზე თითქმის არასოდეს არ გეხვდება (მთარგმნელთა შენიშვნა).

საბჭოთა ასტრონომიას თვალსაჩინო ადგილი უჭირავს მსოფლიო მეცნიერებაში. 1957 წლის 4 ოქტომბერს საბჭოთა კავშირში განხორციელდა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მსოფლიოში პირველი წარმატებითი გაშვება. პირველ თანამგზავრს მოჰყვა სხვა თანამგზავრებიც, რომლებმაც ადამიანს გზა გაუხსნეს საპლანეტათშორისო მოგზაურობისაკენ, ადამიანის უძველესი ოცნების — სამყაროს სიღრმეებში შეღწევის — განხორციელებისაკენ. საბჭოთა კოსმონავტები ი. გაგარინი და გ. ტიტოვი პირველნი აიჭრნენ კოსმოსში კოსმოსური ხომალდებით. მათ მიჰყვნენ სხვა საბჭოთა კოსმონავტებიც: ა. ნიკოლაევი, პ. პოპოვიჩი, ვ. ბიკოვსკი, ვ. ტერეშკოვა, ვ. კომაროვი, კ. ფეოკტისტოვი, ბ. ეგოროვი, პ. ბელიაევი, ა. ლეონოვი.

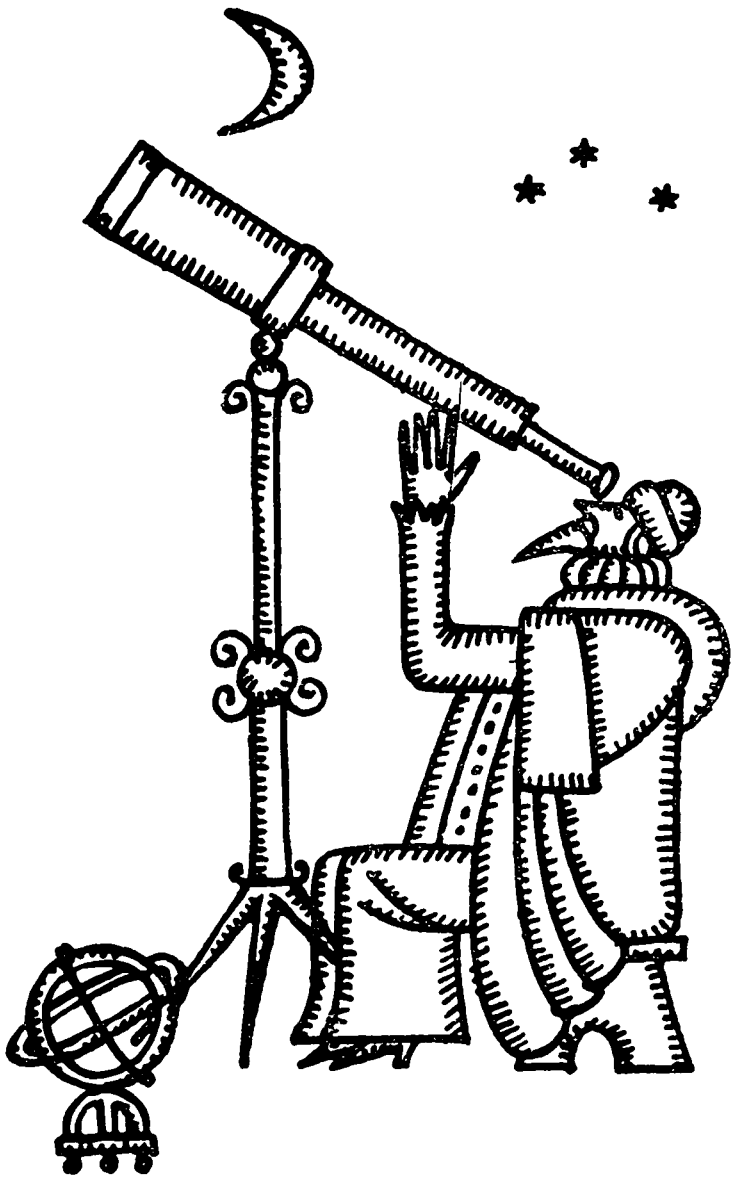
რაკეტებისა და კოსმოსური ხომალდების გაშვების თეორია მნიშვნელოვნად ეყრდნობა ასტრონომიულ მონაცემებს. საბჭოთა ასტრონომები მეცნიერებას სამყაროს შესახებ სხვა ქვეყნების მოწინავე მეცნიერებთან თანამშრომლობით ავითარებენ. კაპიტალისტურ ქვეყნებში მმართველი წრეები ცდილობენ, მეცნიერებისა და კერძოდ ასტრონომიის მიღწევები საკუთარი ინტერესებისათვის გამოიყენონ. რელიგიურ წარმოდგენათა ტყვეობაში მყოფი ზოგი ბურჟუაზიული მეცნიერი თავისი გამოკვლევებიდან მცდარ დასკვნებს აკეთებს და არასწორად განმარტავს მეცნიერულ აღმოჩენებს.

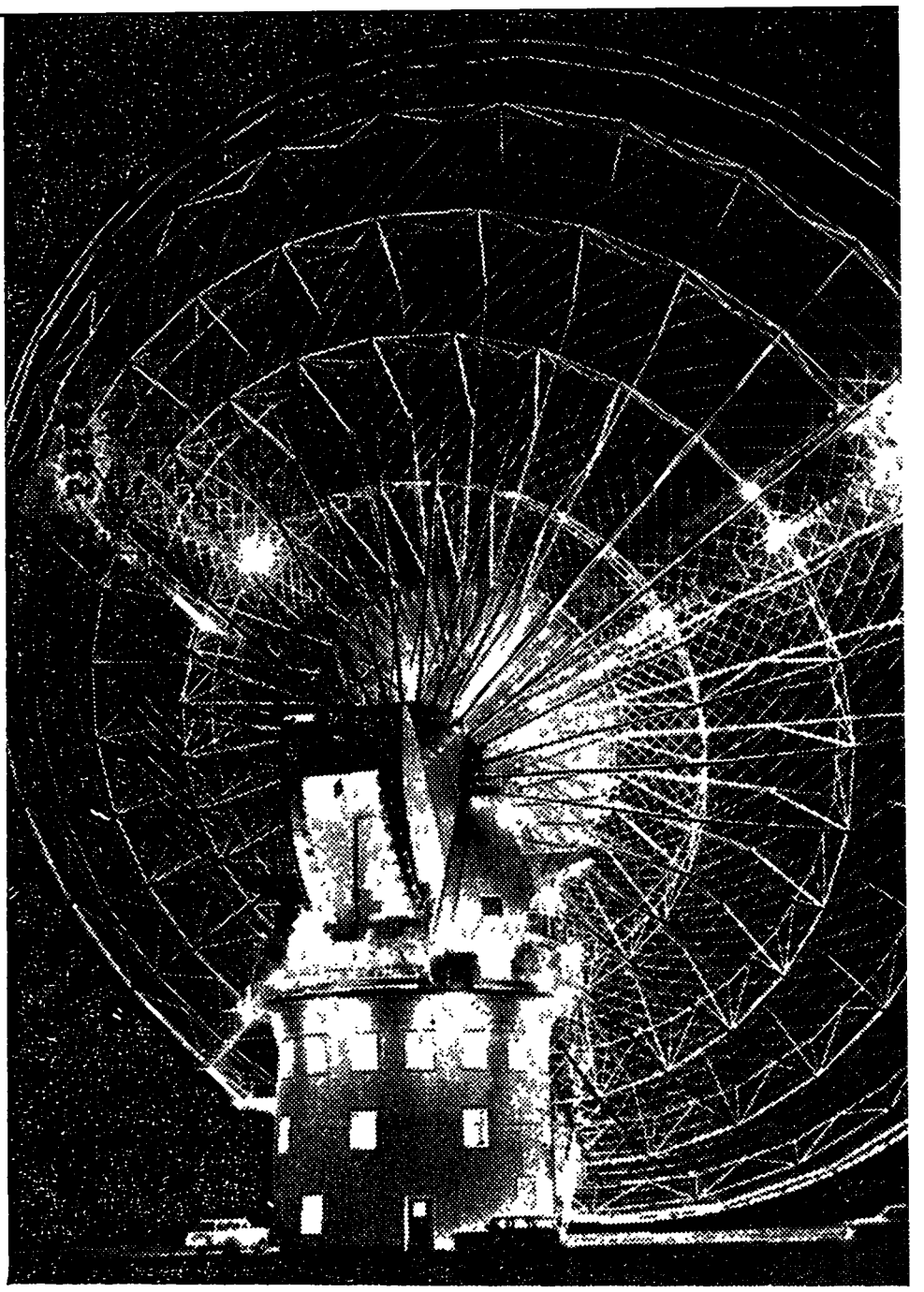
1958 წლის აგვისტოში მოსკოვში შედგა ასტრონომების საერთაშორისო ყრილობა, რომელშიც თითქმის ორმოცი სახელმწიფოს მეცნიერი მონაწილეობდა. ამ ყრილობაზე ნათლად გამოჩნდა საბჭოთა ასტრონომიის მიღწევები. სხვადასხვა ქვეყანაში გამართულ ყოველწლიურ საერთაშორისო კონფერენციებსა და თათბირებზე საბჭოთა ასტრონომები მოწინავე მეცნიერთა რიგებში დგანან.

1961 წ. ოქტომბერში საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის XXII ყრილობაზე მიიღეს ჩვენს ქვეყანაში კომუნისტური საზოგადოების აშენების გრანდიოზული, დიადი პროგრამა. ამ პროგრამის განხორციელებაში დიდი როლი ეკუთვნის მეცნიერებას. საბჭოთა ასტრონომების წინაშე დგას სამყაროს შესახებ ცოდნის გაფართოებისა და მზის სისტემის ფარგლებში კოსმოსის ათვისების უდიდესი ამოცანა.

ასტრონომია არა მარტო ფარდას ხდის სამყაროს საიდუმლოებას, არამედ ეხმარება ადამიანებს მათ პრაქტიკულ მოღვაწეობაში: დედამიწის ზედაპირის ზუსტი რუკების შედგენაში, გემებისა და თვითმფრინავებისათვის მიმართულებათა სწორ განსაზღვრაში, ზუსტი დროის სამსახურში და სხვ.

„საბავშვო ენციკლოპედიის“ ნორჩო მკითხველებო! თუკი მოისურვებთ ასტრონომები გახდეთ, იცოდეთ, რომ თქვენს წინაშე შემოქმედებითი მოღვაწეობის უსაზღვრო, უნაპირო ასპარეზი გადაიშლება.





როგორ ვითარდებოდა მეცნიერება სამყაროს შესახებ

ასტრონომია უძველეს დროსა და შუა საუკუნეებში

ასტრონომია უძველეს დროში

ასტრონომია უძველესი მეცნიერებაა. როგორც მეცნიერული კომუნიზმის ერთ-ერთი უდიდესი ფუძემდებელი ფრიდრიხ ენგელსი მიუთითებდა, მისი აღმოცენება ადამიანთა პრაქტიკულმა მოთხოვნილებებმა განაპირობა.

უძველეს ხალხთა ძირითად საქმიანობას მესაქონლეობა და მიწათმოქმედება წარმოადგენდა. ამიტომაც მათ უნდა ჰქონოდათ წარმოდგენა ბუნების მოვლენებსა და მათ კავშირზე წლის დროებთან. ადამიანებმა იცოდნენ, რომ დღისა და ღამის ცვლა მზის ამოსვლითა და ჩასვლით არის განპირობებული. უძველეს სახელმწიფოებში: ეგვიპტეში, ბაბილონში, ინდოეთსა და სხვ. მიწათმოქმედებასა და მესაქონლეობას მისდევდნენ ბუნების ისეთ სეზონურ (ე. ი. წლის ერთსა და იმავე დროებში განმეორებად) მოვლენებთან შეფარდებით,

როგორიცაა დიდი მდინარეების ადიდება, წვიმების დადგომა, თბილი და ცივი ამინდების ცვლა და ა. შ. ცაზე ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგად ადამიანებმა აღმოაჩინეს კავშირი წლის დროთა ცვლასა და ისეთ მოვლენებს შორის, როგორიცაა მზის საშუადღეო სიმაღლის ცვლილება წლის განმავლობაში და საღამოს სიბნელის დადგომისას ადვილად შესამჩნევი კაშკაშა ვარსკვლავების გამოჩენა ცაზე.

ამგვარად, ჯერ კიდევ უძველეს წარსულში ჩაეყარა საფუძველი კალენდარს, რომელშიც დროის აღრიცხვის ძირითადი საზომი გახდა დღე-ღამე (დღისა და ღამის ცვლა), თვე (შუალედი ორ ახალ-მთვარეობას შორის) და წელი (ცაზე ვარსკვლავებს შორის მზის სრული ხილული გარემოქცევის დრო). კალენდარი პირველ რიგში იმისათვის სჭირდებოდათ, რომ გარკვეული სიზუსტით გამოეთვალათ საველე სამუშაოების დაწყების დრო. ჯერ კიდევ შორეულ წარსულში დაადგინეს წლის მიახლოებითი ხანგრძლიობა — 365 1/4 დღე-ღამე. სინამდვილეში წლის (ე. ი. მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევის პერიოდის) ხანგრძლიობა შეადგენს 365 დღეს, 5 საათს, 48 წუთსა და 46 წამს — 11 წუთითა და 14 წამით ნაკლებს, ვიდრე 365 1/4 დღე-ღამეა. ეს „მიახლოებითობა“ თავს იჩენდა იმით, რომ დროთა განმავლობაში კალენდარი „შორდებოდა“ ბუნებას, მოსალოდნელი სეზონური მოვლენები რამდენადმე უფრო ადრე დგებოდა, ვიდრე ისინი კალენდრის მიხედვით იყო გათვალისწინებული. დაშორება ყოველწლიურად დიდდებოდა. საჭირო იყო დაკვირვება ცისა და დედამიწის მოვლენებზე, რათა თანდათან დაეზუსტებინათ კალენდარი, „მიეახლოებინათ“ იგი ბუნებასთან. ასეთი დაკვირვებები უკვე ტარდებოდა ძველი აღმოსავლეთის ზოგიერთ ქვეყანაში.

დროთა განმავლობაში შენიშნეს, აგრეთვე, რომ, გარდა მზისა და მთვარისა, არის კიდევ ხუთი მნათობი, რომელნიც მუდმივად გადაინაცვლებენ ცაზე ვარსკვლავებს შორის. ამ „მოხეტიალე“ მნათობებს უწოდეს ცთომილები, ანუ პლანეტები. შემდგომში მათ მიიღეს ჩვენთვის კარგად ცნობილი სახელწოდებანი — მერკური (ოტარიდი), ვენერა (ასპიროზი), მარსი (მარიხი), იუპიტერი (მუშთარი) და სატურნი (ზოჰალი) [1]. იმავე დაკვირვებებმა საშუალება მისცეს ადამიანებს, აღენიშნათ ცაზე ყველაზე უფრო დამახასიათებელ თანავარსკვლავედთა მოხაზულობა და დაედგინათ ისეთ მოვლენათა დადგომის პერიოდულობა, როგორიცაა მზისა და მთვარის დაბნელებანი.

ადამიანები ათასობით წლის განმავლობაში აკვირდებოდნენ ცის მოვლენებს, მაგრამ ჯერ კიდევ არ იცოდნენ მათი გამომწვევი მიზეზები. ისინი ცაზე ვარსკვლავებსა და პლანეტებს მნათი წერტილების სახით ხედავდნენ, მათ ნამდვილ ბუნებაზე კი, ისევე როგორც მზისა და მთვარის ბუნებაზე, წარმოდგენა არ ჰქონდათ. იმის გამო, რომ არ ესმოდათ ციური სხეულების ბუნება, არ იცოდნენ ადამიანთა საზოგადოების განვითარების კანონები, ომებისა და ავადმყოფობათა ჭეშმარიტი მიზეზები, ადამიანები აღმერთებდნენ მნათობებს, ყოველგვარ ბუნებრივ მოვლენას მნათობებს მიაწერდნენ. ასე წარმოიშვა ცრუ მეცნიერება — ასტროლოგია, რომელიც ცდილობდა ადამიანთა მომავალი ცის სხეულების მოძრაობით ეწინასწარმეტყველა. ნამდვილმა მეცნიერებამ დიდი ხანია უარყო ასტროლოგიის გამონაგონი.

მეცნიერება და რელიგია ერთმანეთის დიდი მტრები არიან. მეცნიერება აღმოაჩენს ბუნების კანონებს და ეხმარება ადამიანს, ბუნება თავისი ინტერესებისათვის გამოიყენოს. რელიგია, პირიქით, ადამიანებს ყოველთვის ბუნების წინაშე უმწეობისა და შიშის გრძნობას შთაუნერგავდა. იგი ყველა ეპოქაში უცოდინარობასა და ცრუმორწმუნეობას ეყრდნობოდა, ხელს უშლიდა მეცნიერების განვითარებას. ძველად, როცა ადამიანებმა არ იცოდნენ ბუნების კანონები, რელიგიისა და მისი მსახურების — ჭურუმების—გავლენა განსაკუთრებით ძლიერი იყო. ჭურუმები დიდ როლს ასრულებდნენ ძველი აღმოსავლეთის სახელმწიფოთა სამეურნეო და პოლიტიკურ ცხოვრებაში. ისინი დაინტერესებულნი იყვნენ ასტრონომიული დაკვირვებებით და ფართოდაც იყენებდნენ მათ სხვადასხვა რელიგიური დღესასწაულის თარიღის დასადგენად.

ძველი სახელმწიფოების სამეურნეო წყობა მათი პრიმიტიული მიწათმოქმედებით, მესაქონლეობითა და ხელოსნობით, რომელიც დაფუძნებული იყო მონების ხელით შრომაზე, ჯერ კიდევ არ საჭიროებდა მეცნიერებისა და ტექნიკის დიდ განვითარებას. მიუხედავად იმისა, რომ აღმოსავლეთის სახელმწიფოებში: ეგვიპტეში, ბაბილონში, ინდო-

[1] ფრჩხილებში მოთავსებულია ცთომილთა ძველქართული სახელწოდებანი (მთარგმნელთა **შენიშვნა**).

ეთში ასტრონომიას დიდი ხნის ისტორია ჰქონდა და დიდი ხნის მანძილზე აკვირდებოდნენ ცას, ასტრონომია არ ჩამოყალიბებულა ისეთ მეცნიერებად, რომელიც სამყაროს აგებულების ახსნას შეძლებდა. თუმცა ძველი აღმოსავლეთის სახელმწიფოებმა მნიშვნელოვან წარმატებებს მიაღწიეს ცაზე დაკვირვების საქმეში. მათ ისწავლეს დაბნელებათა წინასწარმეტყველება და გულმოდგინედ ადევნებდნენ თვალს პლანეტების მოძრაობას. დიდი ხნით ადრე, ჩვენს ერამდე, ასტრონომები ადგენდნენ ე. წ. ვარსკვლავთ კატალოგებს — ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავების სიებს, რომლებშიც ამ ვარსკვლავების ცაზე მდებარეობაც იყო აღნიშნული.

ეგვიპტესა და ბაბილონში დაგროვილი ასტრონომიული ცოდნა (განსაკუთრებით VI — V სს. ძვ. წ.) გამოიყენეს ძველმა ბერძნებმა. ძველ საბერძნეთში ხელსაყრელი პირობები იყო მეცნიერების განვითარებისათვის.

პირველი ბერძენი მეცნიერები ამ დროს უკვე ცდილობდნენ დაემტკიცებინათ, რომ სამყარო ღვთიური ძალების მონაწილეობის გარეშე არსებობს. ბერძენი ფილოსოფოსის თალესის (VI ს. ძვ. წ.) აზრით ყველაფერი ბუნებაში არსებული — დედამიწაც და ცაც — ერთი „პირველდაწყებითი“ ელემენტის — წყლისაგან წარმოიშვა. სხვა მეცნიერები ასეთ „პირველდაწყებით“ ელემენტად თვლიდნენ ცეცხლს ან ჰაერს. იმავე ძვ. წ. VI საუკუნეში ბერძენმა ფილოსოფოსმა ჰერაკლიტემ გამოთქვა ღენიალური მოსაზრება, რომ სამყარო არავის შეუქმნია, იგი ყოველთვის იყო, არის და იქნება, რომ მასში არაფერია უცვლელი — ყველაფერი მოძრაობს, იცვლება, ვითარდება. ჰერაკლიტეს ეს გენიალური მოსაზრება შემდგომში საფუძვლად დაედო ნამდვილ მეცნიერებას, რომლის ამოცანასაც ბუნებისა და ადამიანთა საზოგადოების განვითარების შესწავლა წარმოადგენს.

მაგრამ ბევრ ბერძენ მეცნიერს გულუბრყვილოდ ეგონა, რომ დედამიწა სამყაროში ყველაზე დიდი სხეულია და მის ცენტრში იმყოფება. ამასთანავე ფიქრობდნენ, რომ დედამიწა უძრავი ბრტყელი სხეულია, რომლის ირგვლივაც გარემოიქცევიან მზე, მთვარე და პლანეტები. მხოლოდ უფრო მოგვიანებით, ბუნებაზე სისტემატური დაკვირვების შედეგად, მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ სამყაროსა და დედამიწის აგებულება გაცილებით რთულია, ვიდრე ეს გამოუცდელ დამკვირვებელს



არისტოტელე — ძველი საბერძნეთის გამოჩენილი მეცნიერი.

წარმოუდგენია. ძვ. წ. VI საუკუნის დასასრულს პირველად პითაგორემ და შემდეგ უკვე V ს. პარმენიდემ ივარაუდეს, რომ დედამიწა ბრტყელი კი არა, სფეროსებური მოყვანილობისაა.

მეცნიერების დიდი მიღწევა იყო ბერძენი ფილოსოფოსების — ლევკიპესა და დემოკრიტეს — მოძღვრება. ისინი ამტკიცებდნენ, რომ ყველაფერი არსებული შედგება მატერიის უწვრილესი ნაწილაკების — ატომებისაგან და რომ ბუნების ყველა მოვლენა ღმერთებისა და სხვა ზებუნებრივი ძალების ყოველგვარი მონაწილეობის გარეშე მიმდინარეობს.

უფრო გვიან, ძვ. წ. IV საუკუნეში, სამყაროს აგებულების შესახებ თავისი შეხედულებები გამოთქვა საბერძნეთის უდიდესმა სწავლულმა და ფილოსოფოსმა არისტოტელემ. არისტოტელე იმ ეპოქის ყველა მეცნიერებით იყო დაინტერესებული — ფიზიკით, მინერალოგიით, ზოოლოგიითა და სხვ. იგი დიდი გულისყურით სწავლობდა აგრეთვე დედამიწის ფორმას და მის მდებარეობას სამყარო-

ში. მან მახვილგონივრული მოსაზრებებით დაამტკიცა დედამიწის სფეროსებურობა. არისტოტელე ამტკიცებდა, რომ მთვარის დაბნელება მაშინ ხდება, როცა ის დედამიწის ჩრდილში ექცევა. დედამიწის ჩრდილის კიდე მთვარის დისკოზე ყოველთვის მრგვლად ჩანს. თვით მთვარესაც ხომ ამოზნექილი და ალბათ სფეროსებური ფორმა აქვს.

ამ გზით არისტოტელემ დაასკვნა, რომ დედამიწაც და, როგორც ჩანს, ყველა ციური სხეული უსათუოდ სფეროსებურია.

მაგრამ ამავე დროს არისტოტელეს მიაჩნდა, რომ დედამიწა სამყაროს ცენტრია, მისი უდიდესი სხეულია, რომლის ირგვლივაც გარემოიქცევა ყველა ციური სხეული. მისი შეხედულებით, სამყაროს აქვს სასრულო ზომები — იგი თითქოს ვარსკვლავების სფეროთია ჩაკეტილი. თავისი დიდი ავტორიტეტით, რომლითაც ის სარგებლობდა ძველ და შუა საუკუნეებში, არისტოტელემ მრავალი საუკუნის განმავლობაში განამტკიცა ცრუ შეხედულება, რომ დედამიწა სამყაროს უძრავი ცენტრია. ამ შეხედულებას მოგვიანებით სხვა ბერძენი მეცნიერებიც იზიარებდნენ. შემდგომში იგი ქრისტიანულმა ეკლესიამაც უდავო ჭეშმარიტებად ცნო.

XVIII ს. დიდი რუსი მეცნიერი მ. ლომონოსოვი, რომელიც მთელი სიცოცხლის განმავლობაში მგზნებარედ იბრძოდა ცრუმორწმუნეობაზე მეცნიერების გამარჯვებისათვის, წერდა, რომ მრავალი საუკუნის განმავლობაში „კერპთაყვანისმცემლურ ცრუმორწმუნეობას ასტრონომიული დედამიწა მაგრად ეჭირა თავის ყბებში და განძრევის საშუალებას არ აძლევდა მას“.

არისტოტელეს შემდეგ ზოგიერთი მოწინავე მეცნიერი საბერძნეთშიც გამოთქვამდა გაბედულ და სწორ ვარაუდს სამყაროს აგებულების შესახებ.

არისტარქე სამოსელს, რომელიც ძვ. წ. III საუკუნეში ცხოვრობდა, მიაჩნდა, რომ დედამიწა გარემოიქცევა მზის ირგვლივ. მისი გამოანგარიშებით მანძილი დედამიწიდან მზემდე დედამიწის 600 დიამეტრს უდრიდა. სინამდვილეში ეს მანძილი ოცჯერ ნაკლებია ჭეშმარიტთან შედარებით, მაგრამ იმ დროისათვის ესეც კი ძნელი წარმოსადგენი იყო. ამავე დროს არისტარქეს მიაჩნდა, რომ ეს მანძილი ძალზე უმნიშვნელოა იმ მანძილებთან შედარებით, რომლებიც დედამიწას ვარსკვლავებიდან აშორებს. არისტარქეს ეს გენიალური აზრები, რომლებიც მრავალი საუკუნის შემდეგ დაადასტურა კოპერნიკის აღმოჩენებმა, ვერ გაიგეს მისმა თანამედროვეებმა. თვითონ არისტარქეს ბრალი დასდეს ურწმუნოებაში და სამშობლოდან გააძევეს, ხოლო მისი სწორი ვარაუდი დავიწყებას მიეცა.

ძვ. წ. IV საუკუნის დასასრულს, ალექსანდრე მაკედონელის ლაშქრობათა და დაპყრობათა შემდეგ, ბერძნულმა კულტურამ ახლო აღმოსავლეთის ყველა ქვეყანაში შეაღწია. ეგვიპტეში აღმოცენებული ქალაქი ალექსანდრია უდიდეს კულტურულ ცენტრად იქცა. ალექსანდრიის აკადემიაში, რომელიც იმ დროის მეცნიერებს აერთიანებდა, რამდენიმე საუკუნის განმავლობაში კუთხმზომი ხელსაწყოების დახმარებით წარმოებდა ასტრონომიული დაკვირვებები. ალექსანდრიელმა ასტრონომებმა დიდ სიზუსტეს მიაღწიეს თავიანთ დაკვირვებებში და ბევრი რამ ახალი შეიტანეს ასტრონომიაში.

ძვ. წ. III საუკუნეში ალექსანდრიელმა მეცნიერმა ერატოსთენემ პირველად განსაზღვრა დედამიწის სფეროს ზომები (იხ. სე, I ტომი).

ძვ. წ. II საუკუნეში დიდმა ალექსანდრიელმა ასტრონომმა ჰიპარქემ გამოიყენა დაგროვილი დაკვირვებები და შეადგინა 1000-ზე მეტი ვარსკვლავის კატალოგი, რომელშიც საკმაოდ ზუსტად იყო განსაზღვრული ცაზე მათი მდებარეობა. ჰიპარქემ ვარსკვლავები დაყო ჯგუფებად და თვითეულს დაახლოებით ერთნაირი ბრწყინვალების ვარსკვლავები მიაკუთვნა. ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებს მან პირველი სიდიდის ვარსკვლავები უწოდა, რამდენადმე უფრო ნაკლები ბრწყინვალების ვარსკვლავებს — მეორე სიდიდის ვარსკვლავები და ა. შ. ჰიპარქე შეცდომით ფიქრობდა, რომ ყველა ვარსკვლავი ჩვენგან თანაბარ მანძილზე იმყოფება და ამიტომ მათი საკაშკაშე დამოკიდებულია მათ ზომებზე.

სინამდვილეში კი ვარსკვლავები სხვადასხვა მანძილით არიან დაშორებულნი ჩვენგან. ამიტომ უზარმაზარი ზომის, მაგრამ ჩვენგან ძალიან დიდი მანძილით დაშორებული ვარსკვლავი თავისი სიკაშკაშით სრულიადაც არ მოგვეჩვენება პირველი სიდიდის ვარსკვლავად. პირიქით, პირველი სიდიდის ვარსკვლავი თავისი ზომებით შეიძლება ძალიან პატარა იყოს, მაგრამ შედარებით ახლოს იმ-

ყოფებოდეს ჩვენგან. მიუხედავად ამისა, ჰიპარქეს „სიდიდეები“, როგორც ვარსკვლავთ ხილული სიკაშკაშის აღნიშვნა, ჩვენს დრომდე შემორჩა.

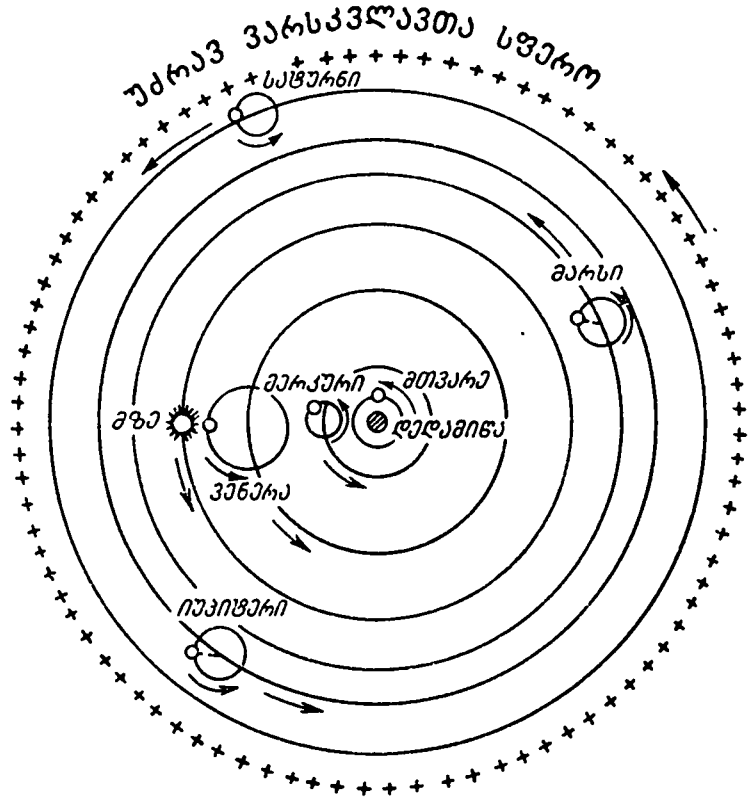
ჰიპარქემ სწორად განსაზღვრა მთვარის ზომები და მისი მანძილი ჩვენგან, ერთმანეთს შეადარა საკუთარი და მის წინამორბედთა დაკვირვებების შედეგები და საკმაო სიზუსტით გამოიანგარიშა მზის წელიწადის ხანგრძლიობა (შეცდომა მხოლოდ 6 წუთს შეადგენს).

უფრო გვიან, ძვ. წ. I საუკუნეში, ალექსანდრიელი ასტრონომები მონაწილეობდნენ კალენდრის რეფორმაში, რომელიც რომის დიქტატორმა იულიუს კეისარმა წამოიწყო. ამ რეფორმით შემოიღეს კალენდარი, რომელიც დასავლეთ ევროპაში XVI — XVIII საუკუნეებამდე იყო ძალაში, ხოლო ჩვენს ქვეყანაში — დიდი ოქტომბრის სოციალისტურ რევოლუციამდე.

ჰიპარქე და მისი ეპოქის სხვა ასტრონომები დიდი ყურადღებით აკვირდებოდნენ პლანეტების მოძრაობას. ეს მოძრაობანი მეტისმეტად რთული ეჩვენებოდათ. მართლაც, პლანეტების მოძრაობის მიმართულება ცაზე თითქოს პერიოდულად იცვლება — პლანეტები თითქოს მარყუჟებს აკეთებენ ცაზე. პლანეტების მოძრაობის ეს მოჩვენებითი სირთულე სინამდვილეში დედამიწის მზის ირგვლივ მოძრაობით არის გამოწვეული. ჩვენ პლანეტებს ვაკვირდებით დედამიწიდან, რომელიც თავადაც მოძრაობს, და როცა დედამიწა სხვა პლანეტას „ეწევა“, ისეთი შთაბეჭდილება რჩება, თითქოს პლანეტა ჩერდება და მერე უკან ბრუნდება. ძველი ასტრონომები კი, რომელნიც დედამიწას უძრავად თვლიდნენ, ფიქრობდნენ, რომ პლანეტები მართლაც ასეთ რთულ მოძრაობებს ასრულებენ დედამიწის ირგვლივ.

ახ. წ. II საუკუნეში ალექსანდრიელმა ასტრონომმა პტოლემემ წამოაყენა თავისი „მსოფლიოს სისტემა“. იგი ცდილობდა სამყაროს აგებულება პლანეტების მოძრაობათა ხილული სირთულის გათვალისწინებით აეხსნა.

პტოლემეს აზრით, დედამიწა სფეროსებური იყო, ხოლო მისი ზომები პლანეტებამდე და, მით უმეტეს, ვარსკვლავებამდე მანძილებთან შედარებით — უმნიშვნელო, ოღონდ არისტოტელეს მსგავსად, იგი ამტკიცებდა, რომ დედამიწა სამყაროს უძრავი ცენტრია. რადგანაც პტოლემე დედამიწას



სამყაროს პტოლემესეული სისტემა.

სამყაროს ცენტრად თვლიდა, სამყაროს პტოლემესეულ სისტემას გ ე ო ც ე ნ ტ რ უ ლ ი ეწოდა[1].

პტოლემეს შეხედულებით დედამიწის ირგვლივ მოძრაობენ (მანძილის ზრდის მიხედვით) მთვარე, მერკური, ვენერა, მზე, მარსი, იუპიტერი, სატურნი და ვარსკვლავები. მაგრამ თუ მთვარის, მზისა და ვარსკვლავების მოძრაობა წესიერი წრიულია, პლანეტების მოძრაობა გაცილებით რთულია. თვითეული პლანეტა, პტოლემეს აზრით, მოძრაობს არა დედამიწის გარშემო, არამედ რაღაც წერტილის ირგვლივ. ეს წერტილი, თავის მხრივ, მოძრაობს წრეზე, რომლის ცენტრშიც დედამიწა იმყოფება. მოძრავი წერტილის ირგვლივ პლანეტის მიერ შემოწერილ წრეს პტოლემემ ე პ ი ც ი კ ლ ი უწოდა, ხოლო წრეს, რომელზეც მოძრაობს წერტილი დედამიწის ირგვლივ — დ ე ფ ე რ ე ნ ტ ი.

ძნელი წარმოსადგენია, რომ ბუნებაში ასეთი დახლართული მოძრაობები არსებობდეს და ისიც წარმოსახვითი წერტილების ირგვლივ. ასეთი ხელოვნური დალაგება პტოლემეს იმისთვის დასჭირდა, რომ აეხსნა პლანეტების ხილული მოძრაობის სირთულე და იგი სამყაროს ცენტრში მოთავსებუ-

[1] გეო — ბერძნულად „დედამიწა“.

ლი უძრავი დედამიწის შესახებ მცდარი შეხედულებისათვის დაეკავშირებინა.

პტოლემე თავისი დროის ბრწყინვალე მათემატიკოსი იყო. მაგრამ იგი იზიარებდა არისტოტელეს შეხედულებას, რომელსაც დედამიწა უძრავად და სამყაროს ერთადერთ შესაძლებელ ცენტრად მიაჩნდა.

არისტოტელე-პტოლემესეულმა სამყაროს სისტემამ თანამედროვეთა საყოველთაო აღიარება ჰპოვა. იგი საშუალებას იძლეოდა წინასწარ გამოეთვალათ პლანეტების მოძრაობა, რაც აუცილებელი იყო მოგზაურობაში ორიენტირებისა და კალენდრისათვის.

ეს მცდარი სისტემა დაახლოებით ათას ხუთასი წლის მანძილზე იყო აღიარებული.

პტოლემესეული სამყაროს გეოცენტრული სისტემა იმ დროს შეიქმნა, როცა ეგვიპტეც და საბერძნეთიც უკვე რომის მიერ იყო დაპყრობილი. შემდეგში რომის უზარმაზარი იმპერია, რომელიც მოშლილმა მონათმფლობელურმა წყობამ, ხანგრძლივმა ომებმა და სხვა ხალხთა შემოსევებმა დაასუსტეს, დაცემის გზაზე იდგა. დიდი ქალაქების განადგურებასთან ერთად ნადგურდებოდა ბერძნული მეცნიერების ძეგლებიც.

მონათმფლობელური წყობა ფეოდალურმა წყობამ შეცვალა. ევროპის ქვეყნებში ამ დროისათვის გავრცელებულმა ქრისტიანულმა რელიგიამ აღიარა სამყაროს გეოცენტრული სისტემა, რაც მის მოძღვრებას ეთანხმებოდა.

ქრისტიანობამ თავის მსოფლმხედველობას საფუძვლად დაუდო ბიბლიური ლეგენდა ღმერთის მიერ სამყაროს ექვს დღეში შექმნის შესახებ. ლეგენდის მიხედვით დედამიწა წარმოადგენს სამყაროს „ცენტრს“, ხოლო ციური მნათობები იმისათვის არიან შექმნილნი, რომ გაანათონ დედამიწა და შეამკონ ცის თაღი. ქრისტიანობა უმოწყალოდ დევნიდა ყოველგვარ გადახვევას ამ შეხედულებებიდან. არისტოტელე-პტოლემესეული სამყაროს სისტემა, რომელიც დედამიწას სამყაროს ცენტრში აყენებდა, მშვენივრად ეგუებოდა ქრისტიანულ სარწმუნოებას, თუმცა, „ეკლესიის მამები“ უარს ამბობდნენ ეცნოთ სამყაროს ამ სისტემის ის დებულება, რომელიც მეცნიერულად სწორი იყო — დებულება დედამიწის სფეროსებურობაზე. ქრისტიანულ ქვეყნებში ფართოდ გავრცელდა ბიზანტიელი ვაჭრისა და ბერის კოზმა ინდოკოპლევსტის „მოძღვრება“, რომლის მიხედვით დედამიწა ბრტყელი სხეული იყო, ხოლო ცა დედამიწაზე წამოპირქვავებული „სარქველი“. ეს იყო უკან დაბრუნება სამყაროს აგებულებაზე უძველეს ხალხთა ყველაზე პრიმიტიული წარმოდგენებისაკენ.

ასტრონომია შუა საუკუნეებში

შუა საუკუნეებში მეცნიერების განვითარების მხრივ აღმოსავლეთის ქვეყნებმა მნიშვნელოვნად გაუსწრეს ევროპას. ინდოეთში და VII — VIII სს. დაარსებულ არაბეთის სახალიფოში ასტრონომიამ დიდი წარმატებები მოიპოვა და დაკვირვებების სიზუსტეში თავის დროზე ბერძნული ასტრონომიის მიერ მიღწეულ დონეს გადააჭარბა. არაბი ასტრონომები, რომელთა შორისაც გამოირჩეოდა ალბატანი (858 — 929), აბუ-ლ-ვეფა (940 — 998), იბნ-იუნუსი (950 — 1009) და სხვ. განუწყვეტლივ აწარმოებდნენ ასტრონომიულ დაკვირვებებს. ისინი მზის, მთვარისა და პლანეტების მოძრაობაში ისეთ თავისებურებებს ამჩნევდნენ, რომლებიც პტოლემესეულ სამყაროს სისტემას არ ეთანხმებოდა. მიუხედავად ამისა, არაბმა მეცნიერებმა ვერ სძლიეს მცდარ მოსაზრებას სამყაროში დედამიწის ცენტრალური მდგომარეობის შესახებ. პტოლემეს მოძღვრებაში წინააღმდეგობების აღმოჩენისას ისინი კი არ უარყოფდნენ, არამედ ავსებდნენ და ამით კიდევ უფრო ართულებდნენ მას. მაგრამ ციურ სხეულთა მდებარეობაზე დაკვირვებაში არაბმა მეცნიერებმა დიდ წარმატებას მიაღწიეს. ისინი ცდილობდნენ აგრეთვე დედამიწის ზომების დადგენას ერატოსთენეს მეთოდებით, რითაც დიდი სამსახური გაუწიეს გეოგრაფიულ მეცნიერებას.

ყველაზე დიდ განვითარებას შუა საუკუნეებში ასტრონომიამ შუა აზიის ქვეყნებსა და აზერბაიჯანში მიაღწია. შუა აზიის დიდი მეცნიერები: ბირუნი, ომარ ხაიამი და სხვები, აგრეთვე აზერბაიჯანელი ნასირედინ ტუსი შუა საუკუნეების უდიდესი ასტრონომები იყვნენ.

შუა აზიის ხალხებმა, რომელნიც ამჟამად საბჭოთა სოციალისტური რესპუბლიკების კავშირში შედიან, ჯერ კიდევ უძველეს დროში შექმნეს მაღალი კულტურა. როცა შუააზიელი მეცნიერები ავითარებდნენ და წინ სწევდნენ მეცნიერებას, და-



ბ ი რ უ ნ ი.

სავლეთ ევროპაში იგი დაცემის გზაზე იყო დამდგარი. კოპერნიკს და ევროპის სხვა დიდ მეცნიერებს, რომლებმაც XVI — XVII საუკუნეებში ახალი მოძღვრება შექმნეს სამყაროს აგებულების შესახებ, IX — XV საუკუნეების შუააზიელ დიდ მეცნიერთა სახით ღირსეული წინამორბედები ჰყავდათ.

შუა აზიის ხალხები იძულებული იყვნენ უძველესი დროიდან სასტიკი ბრძოლებით დაეცვათ თავიანთი დამოუკიდებლობა. ძვ. წ. IV ს. პირველ ნახევარში ისინი დაიპყრეს ბერძნებმა ალექსანდრე მაკედონელის წინამძღოლობით, ხოლო ათასი წლის შემდეგ — არაბებმა. XIII საუკუნის დასაწყისში შუა აზია ხელში ჩაიგდეს მონღოლებმა ჩინგისხანის მეთაურობით. შემდეგ მონღოლებმა დაიპყრეს კავკასია და აღმოსავლეთ ევროპა. ვერც ომებმა, ვერც უცხოელ დამპყრობთა დროებითმა ბატონობამ ვერ შეძლო შეეჩერებინა შუა აზიის ხალხთა კულტურის განვითარება.

მრავალი საუკუნის განმავლობაში ამუ-დარიის ქვემო წელზე იფურჩქნებოდა ხორეზმის სახელმწიფოს კულტურა. საბჭოთა არქეოლოგებმა შეძლეს ძველი ხორეზმის დიდებული კულტურის, არქიტექტურისა და სახვითი ხელოვნების შესანიშნავი ძეგლების აღდგენა. შუა აზიის მნიშვნელოვანი კულტურული ცენტრები იყო ბუხარა, აგრეთვე მერვი და სამარყანდი (უზბეკური კულტურის უმნიშვნელოვანესი ცენტრი, რომელიც მონღოლ დამპყრობთა მძიმე ჩაგვრის პირობებში ვითარდებოდა).

ძველ ხორეზმში, ბუხარაში, მერვში და სამარყანდში მომუშავე შუააზიელი მეცნიერების მიღწევებმა არა მარტო შორს გაუსწრო სხვა ხალხთა მეცნიერებას, არამედ ნიადაგი მოუმზადა ევროპული მეცნიერების შემდგომ მიღწევებს. ეს განსაკუთრებით ასტრონომიას ეხება.

IX ს. პირველ ნახევარში ხორეზმში ცხოვრობდა და მუშაობდა ალ-ხორეზმად (ხორეზმელად) წოდებული შესანიშნავი მეცნიერი მუჰამედი, თავისი ეპოქის უდიდესი მათემატიკოსი, ალგებრის ერთ-ერთი ფუძემდებელი და დიდი ასტრონომი. მან მნიშვნელოვნად გააუმჯობესა პტოლემეს მიერ შედგენილი პლანეტების მოძრაობის ცხრილები და სრულყო ასტროლაბია — პტოლემეს მიერ გამოგონებული ხელსაწყო, რომელსაც მრავალი საუკუნის განმავლობაში იყენებდნენ დედამიწის ნებისმიერი ადგილის განედისა და გრძედის განსასაზღვრავად.

X ს. დასასრულსა და XI ს. პირველ ნახევარში მოღვაწეობდა ხორეზმელ მეცნიერთა შორის ყველაზე გამოჩენილი მეცნიერი — ბირუნი (973 — 1048), რომელიც მუსლიმანური რელიგიის ბატონობის პირობებში ცხოვრობდა (ეს რელიგია კი, ისევე როგორც ქრისტიანული, მტრულად იყო განწყობილი მეცნიერებისადმი) და მტკიცედ და გაბედულად გამოდიოდა რელიგიური მსოფლმხედველობის წინააღმდეგ. მას სჯეროდა, რომ ბუნებაში ყველაფერი არსებობს და იცვლება თვით ბუნების კანონების მიხედვით და არა ღმერთების ბრძანებით. ბირუნის მიაჩნდა, რომ რწმენა ბუნე-

ბაში თითქოსდა რაღაც იდუმალი ძალების არსებობისა, რომლებიც გავლენას ახდენენ ადამიანთა ბედზე, წარმოიშვა ბუნების კანონთა უცოდინარობის გამო. ამ კანონების გაგებას კი ადამიანები მხოლოდ ნამდვილი მეცნიერების დახმარებით შეძლებენ.

ბირუნი მეცნიერების სხვადასხვა დარგში მუშაობდა: იგი თავისი დროის ყველაზე გამოჩენილი ასტრონომი იყო და ამავე დროს ბევრი რამ ახალი თქვა ისტორიაში, გეოგრაფიასა და მინერალოგიაში.

ბირუნი დაბეჯითებით ამტკიცებდა, რომ დედამიწას სფეროსებური ფორმა აქვს. იგი ამბობდა, დედამიწა რომ სფეროსებური სხეული არ ყოფილიყო, მაშინ ბუნების ბევრი მოვლენა სრულიად სხვაგვარად წარმოგვიდგებოდაო. მაგალითად, დღეებისა და ღამეების ხანგრძლიობა არ შეიცვლებოდა წლის სხვადასხვა დროის მიხედვით.

ბირუნიმ, რომელიც დედამიწის ფორმის შესახებ სწორ შეხედულებას ეყრდნობოდა, დედამიწის ზომები (გარშემოწერილობის სიგრძე) უფრო ზუსტად განსაზღვრა, ვიდრე თავის დროზე ერატოსთენემ და არაბმა ასტრონომებმა. ამაღლებული ადგილიდან ხილული ჰორიზონტის ხაზის დაწევაზე დაკვირვების შედეგად ბირუნიმ გამოითვალა, რომ დედამიწის გარშემოწერილობის სიგრძე (ჩვენს ზომებზე გადმოყვანით) 41 550 კმ შეადგენს. დედამიწის გარშემოწერილობის ნამდვილი სიგრძე, დადგენილი თანამედროვე მეცნიერების მიერ უფრო ზუსტი გაზომვებისა და გამოანგარიშების გზით, ძალიან ცოტათი განსხვავდება ბირუნის გამოთვლილისაგან.

ბირუნი დიდ დროს ანდომებდა ასტრონომიულ დაკვირვებებს, ცდილობდა მეცნიერულად აეხსნა შემჩნეული მოვლენები, რომელნიც მისი თანამედროვე ასტრონომებისათვის გამოცანას წარმოადგენდა. მას მიაჩნდა, რომ ასტრონომიაში, ისევე როგორც ყველა სხვა მეცნიერებაში, არავითარი მოსაზრება არ იმსახურებს ნდობას, თუკი იგი დაკვირვებითა და ცდით არ არის დამტკიცებული.

ბირუნი კრიტიკულად უდგებოდა პტოლემეს მოძღვრებას და მზის ირგვლივ დედამიწის მოძრაობა შესაძლებლად მიაჩნდა. ამგვარად, კოპერნიკამდე 500 წლით ადრე ბირუნის სწორად ჰქონდა წარმოდგენილი მზის სისტემის აგებულება. როგორც ნამდვილი მეცნიერი, ბირუნი ყოველთვის იბრძოდა მეცნიერებაში რელიგიის ჩარევის წინააღმდეგ. თავისი მოწინავე შეხედულებების გამო მას მუდმივად სდევნიდნენ მუსლიმანი ფანატიკოსები. ბირუნი სამჯერ გახდა იძულებული მიეტოვებინა სამშობლო და უცხო ქვეყანაში გადახვეწილიყო.

XI ს. და XII ს. დასაწყისში ცხოვრობდა და მოღვაწეობდა ომარ ხაიამი (დაახლოებით 1040 — 1123 წწ.) — დიდი ტაჯიკი პოეტი, მეცნიერი და ფილოსოფოსი. ომარ ხაიამი ნამდვილი რევოლუციონერი იყო მეცნიერებაში. მისი აზრით, დედამიწა, ისევე როგორც სხვა ციური სხეულები, მოძრაობს სამყაროს უსასრულო სივრცეში და ბრუნავს საკუთარი ღერძის ირგვლივ. ომარ ხაიამი ამტკიცებდა, რომ სამყარო არასოდეს არ შექმნილა, ის მარადიულად არსებობს. როგორც ბირუნი, ომარ ხაიამიც ამტკიცებდა, რომ მხოლოდ მეცნიერებას შეუძლია აღმოაჩინოს ბუნების კანონები და აიძულოს ბუნება, ემსახუროს ადამიანებს.

აზერბაიჯანში XIII ს. თავისი დაკვირვებებით სახელი გაითქვა ასტრონომმა მუჰამედ ნასირედინ ტუსიმ (1201 — 1274), რომელმაც საუცხოო ობსერვატორია ააგო მარაგაში. სხვა ასტრონომებთან ერთად მან შეადგინა პლანეტებისა და ვარსკვლავების მდებარეობათა უფრო ზუსტი ცხრილები, ვიდრე ჰიპარქესა და პტოლემეს ცხრილებია და აღმოსავლეთის მეცნიერებს ძველი საბერძნეთის მეცნიერთა ყველა მიღწევა გააცნო.

შუა აზიის დიდი მეცნიერები იყვნენ არა მხოლოდ გამოჩენილი მოაზროვნენი, რომელნიც სამყაროს შესახებ სწორ, მეცნიერების მიერ შემდგომში დამტკიცებულ შეხედულებებს გამოთქვამდნენ, არამედ შესანიშნავი დამკვირვებლებიც, რომელნიც დიდი ყურადღებით ადევნებდნენ თვალს ბუნების მოვლენებს. განსაკუთრებით გაითქვეს სახელი თავისი დაკვირვებებით XV საუკუნის სამარყანდელმა ასტრონომებმა ჯემშიდ ალ-ყაშიმ (იგი აგრეთვე შესანიშნავი მათემატიკოსიც იყო), ყაზი-ზადე არრუმიმ და ალი ყუშჩიმ. ამ ასტრონომებს დიდ დახმარებას უწევდა და თვითონაც მონაწილეობდა მათ მუშაობაში სამარყანდის მმართველი ულუღ-ბეგი (1394—1449). ულუღ-ბეგი იყო შვილიშვილი ცნობილი დამპყრობლის — თემურისა, რომელმაც XIV საუკუნის მეორე ნახევარში შუა აზიის ხალხები დაიპყრო, ხოლო შემდეგ, წარმატებითი ლაშქრობების შედეგად, უზარმაზარი იმპერიის სათავეში

აღმოჩნდა, რომელიც ინდიდან ვოლგამდე და ჩინეთის საზღვრებიდან მცირე აზიამდე იყო გადაჭიმული. თემურის სახელმწიფოს დედაქალაქი სამარყანდი იყო. ამ ქალაქში თემური იზიდავდა მეცნიერებს, მხატვრებს და მშენებლებს, როგორც შუა აზიის სხვა ქალაქებიდან, ასევე დაპყრობილი ქვეყნებიდან. მათი შრომის წყალობით სამარყანდი დამშვენდა შესანიშნავი ნაგებობებით და იქცა მსოფლიოს ერთ-ერთ ულამაზეს ქალაქად.

თემურის სიკვდილის შემდეგ მისი უზარმაზარი იმპერია დაიშალა. ულუღ-ბეგმა, რომელიც ახალგაზრდობის წლებში ყაენის ნაცვალი იყო სამარყანდში, თავის ძალაუფლებას დაუმორჩილა შუა აზიის მნიშვნელოვანი ნაწილი. იგი დიდი მეცნიერი ასტრონომი და განათლებული სახელმწიფო მოღვაწე იყო, რომელიც დაუღალავად ზრუნავდა თავის ქვეყანაში მეცნიერების განვითარებისათვის. ულუღ-ბეგი სამარყანდში იწვევდა მეცნიერებს და საუკეთესო პირობებს უქმნიდა მუშაობისათვის. მან ამ მეცნიერებისათვის სამარყანდში გრანდიოზული ობსერვატორია ააგო, რომლის მსგავსი არსად არ ყოფილა არც ულუღ-ბეგამდე და არც მის შემდეგ დიდი ხნის განმავლობაში.

ამ ობსერვატორიის უზარმაზარი შენობა, რომელიც სამარყანდის ერთ-ერთ გორაკზე იყო აგებული, ანცვიფრებდა თანამედროვეებს თავისი სიდიდითა და მშვენიერებით. მაგრამ კიდევ უფრო შესანიშნავი იყო მისი მოწყობილობა. ობსერვატორია აღჭურვილი იყო იმ დროისათვის საუკეთესო ხელსაწყოებით. ტელესკოპი მაშინ ჯერ კიდევ არ არსებობდა. ასტრონომები თავიანთ დაკვირვებებს კუთხმზომი იარაღების დახმარებით აწარმოებდნენ, რომლებსაც ცაზე მნათობთა მდებარეობებისა და მათ შორის მანძილების რკალის გრადუსებსა და მინუტებში გამოსახატავად იყენებდნენ. ულუღ-ბეგის ობსერვატორიის ხელსაწყოები ყველაზე დიდი და სრულყოფილი იყო იმ დროისათვის. ამ ხელსაწყოების დახმარებით სამარყანდელმა ასტრონომებმა — ჯემშიდმა, ალი ყუშჩიმ, ულუღ-ბეგმა და სხვებმა თავიანთ დაკვირვებებში ისეთ სიზუსტეს მიაღწიეს, რომლის მსგავსისთვის საუკუნე-ნახევრის განმავლობაში აღარავის მიუღწევია.

სამარყანდელ ასტრონომთა შრომებიდან ყველაზე შესანიშნავი იყო „ვარსკვლავთ ცხრილები“— კატალოგი, სადაც ცაზე 1018 ვარსკვლავის ზუსტი მდებარეობა იყო აღნიშნული. ეს კატალოგი დიდხანს ითვლებოდა ყველაზე უფრო სრულ და ზუსტ კატალოგად. ევროპელმა ასტრონომებმა იგი ორი საუკუნის შემდეგ ხელახლა გამოსცეს. არანაკლები სიზუსტით გამოირჩეოდა აგრეთვე პლანეტების მოძრაობის სამარყანდული ცხრილებიც. ულუღბეგი, როგორც მმართველი, ასტრონომთა დაკვირვებებს ფართოდ იყენებდა პრაქტიკული მიზნებისათვის — შუა აზიის სხვადასხვა ადგილების გეოგრაფიული კოორდინატების განსასაზღვრავად.



ულუღ-ბეგი.

ულუღ-ბეგი მტრულად ეპყრობოდა მუსლიმანურ რელიგიას და ზრუნავდა ხალხში განათლების გავრცელებისათვის. სამარყანდსა და სხვა ქალაქებში ის ხსნიდა სასწავლო დაწესებულებებს, რომლებშიაც ისწავლებოდა „საერო“ მეცნიერებანი. გასაგებია, რომ მუსლიმან ფანატიკოსებს სძულდათ თავისუფლად მოაზროვნე და რჯულგანდგომილი მეცნიერი. ბოლოს და ბოლოს ულუღ-ბეგი მოკლეს.

უდროოდ დამთავრდა ულუღ-ბეგის სიცოცხლე, და ასევე მის გარშემო შემოკრებილ მეცნიერ-

თა მოღვაწეობაც. ულუღ-ბეგის სიკვდილის შემდეგ დაიწყო მეცნიერთა დევნა და ისინი იძულებულნი გახდნენ დაეტოვებინათ სამშობლო. მალე მუსლიმანმა ფანატიკოსებმა დაანგრიეს მათი საძულველი ობსერვატორია და დროთა განმავლობაში ობსერვატორიის ნანგრევებიც გაქრა. შემდგომში თვით ობსერვატორიის ადგილსამყოფელიც დავიწყებას მიეცა. მხოლოდ ახლახან მოახერხეს ჩვენმა მეცნიერებმა აღმოეჩინათ მიწაში ულუღ-ბეგის ობსერვატორიის ნანგრევები და მოგვცეს სრული წარმოდგენა თავისი დროისათვის ამ დიდებულ ნაგებობაზე.

სამარყანდელ ასტრონომთა შრომები ცნობილი იყო მთელს მსოფლიოში. მათ დიდი ზეგავლენა იქონიეს ასტრონომიის განვითარებაზე.

შუა აზიის ბევრ სახელმწიფოში დაწყებულმა რეაქციამ და მუსლიმანური რელიგიის მძიმე უღელმა კარგა ხნით შეაჩერა შუააზიელი ხალხების კულტურისა და მეცნიერების განვითარება, რომლებმაც მხოლოდ საბჭოთა ხელისუფლების წლებში იწყეს ხელახალი გაფურჩქვნა. მაგრამ ამ ხალხების სიამაყედ დღესაც რჩება გამოჩენილი სწავლულების ხორეზმელი მუჰამედის, ბირუნის, ომარ ხაიამის, ჯემშიდ ალ-ყაშის, ალი ყუშჩის, ულუღბეგისა და სხვათა სახელები. ამ მეცნიერების მოღვაწეობის წყალობით ასტრონომია ასეთ მაღალ დონეზე კოპერნიკამდე არსად ყოფილა.

თავის მეცნიერულ მუშაობაში შუა აზიის სწავლულები ფართოდ იყენებდნენ ძველი საბერძნეთისა და აგრეთვე ინდოეთის მეცნიერულ მიღწევებს, სადაც IV — VIII სს. მეცნიერების ზოგიერთმა დარგმა, განსაკუთრებით კი მათემატიკამ, ფიზიკამ და ასტრონომიამ განვითარების მაღალ დონეს მიაღწია. ინდოელ ასტრონომებს არიაბჰატას (V ს. დასაწყისი) და ვარახამიხარას მიაჩნდათ, რომ დედამიწა სფეროა და თავისი ღერძის გარშემო ბრუნავს. სამწუხაროდ, არავითარი ცნობა არ არის შემორჩენილი იმის შესახებ, თუ სახელდობრ, რით ასაბუთებდნენ ეს სწავლულები თავიანთ მოსაზრებებს. გამოჩენილი ინდოელი მოაზროვნის ბრამაგუპტას (VII ს.) აზრით დედამიწა ყველა სხვა სხეულს იზიდავს. ამგვარად, იგი თითქმის მივიდა იმ აზრთან, რომ არსებობს მსოფლიო მიზიდულობა, მაგრამ არ შეეძლო ისე დაესაბუთებინა თავისი მოსაზრება, როგორც ათასი წლის შემდეგ ნიუტონმა გააკეთა. ინდოეთში ასტრონომიის განვითარებას ხელს უწყობდა ინდური მათემატიკის წარმატებები, რამაც შემდგომში დიდი გავლენა მოახდინა ევროპულ მათემატიკაზე. ინდოეთში შეიქმნა და მთელ მსოფლიოში გავრცელდა თვლის ათობითი სისტემა.

კოპერნიკიდან ნიუტონამდე

1543 წლის 24 მაისს (ძვ. სტილით) სამწუხარო ამბავი მოედო ჩრდილოეთ პოლონეთში, მდინარე ვისლის შესართავთან, მდებარე მეთევზეთა პატარა ქალაქ ფრომბორკის მცხოვრებლებს. ამ ამბავმა, რომელიც სწრაფად გავრცელდა, დაამწუხრა უბრალო ადამიანები — გლეხები, მეთევზეები, ხელოსნები. დიდი ხნის ავადმყოფობის შემდეგ გარდაიცვალა ნიკოლოზ კოპერნიკი.

ვარმიის (ასე ეწოდებოდა პოლონეთში დამოუკიდებელ საეკლესიო ოლქს, რომლის ცენტრიც ფრომბორკი იყო) უბრალო ადამიანებმა იცოდნენ, რომ დოქტორი კოპერნიკი, ყველაზე განათლებული კაცი მთელს სახელმწიფოში, ყოველთვის მათი მეგობარი და მოსარჩლე იყო. იგი — შესანიშნავი ექიმი — უსასყიდლოდ მკურნალობდა ღარიბებს: დღისით თუ ღამით მუდამ მზად იყო ავადმყოფის დასახმარებლად. ყველამ იცოდა, რომ ოლქის მმართველობაში მონაწილეობისას კოპერნიკი უბრალო ადამიანების ინტერესებს იცავდა. ბევრს ახსოვდა საშინელი დრო, როცა თავხედი დამპყრობლები — ტევტონთა ჭოფაკი რაინდები — თავს დაესხნენ ქვეყანას. მაშინ მშვიდობისმოყვარე მეცნიერი და ნგზნებარე პატრიოტი, დოქტორი კოპერნიკი სათავეში ჩაუდგა ერთ-ერთი ქალაქის თავდაცვას.

კოპერნიკს იცნობდნენ არა მარტო მისი თანამემამულენი და თანამედროვენი, არამედ სხვა ქვეყნის მოწინავე მეცნიერებიც. მისი სიკვდილის ცნობა მათთვისაც თავზარდამცემი იყო და მხოლოდ მეორე ამბავმა, პირველს რომ მოჰყვა კვალდაკვალ, შეამსუბუქა დანაკლისის სიმძიმე: ცნობილი გახდა,

რომ კოპერნიკმა მოასწრო დაემთავრებინა და დაებეჭდა თავისი უკვდავი წიგნი „ციურ სხეულთა გარემოქცევის შესახებ“. ამ წიგნში კოპერნიკმა დაამტკიცა, რომ სამყარო სულაც არაა ისე აგებული, როგორც მრავალი საუკუნის განმავლობაში ქადაგებდა რელიგია.

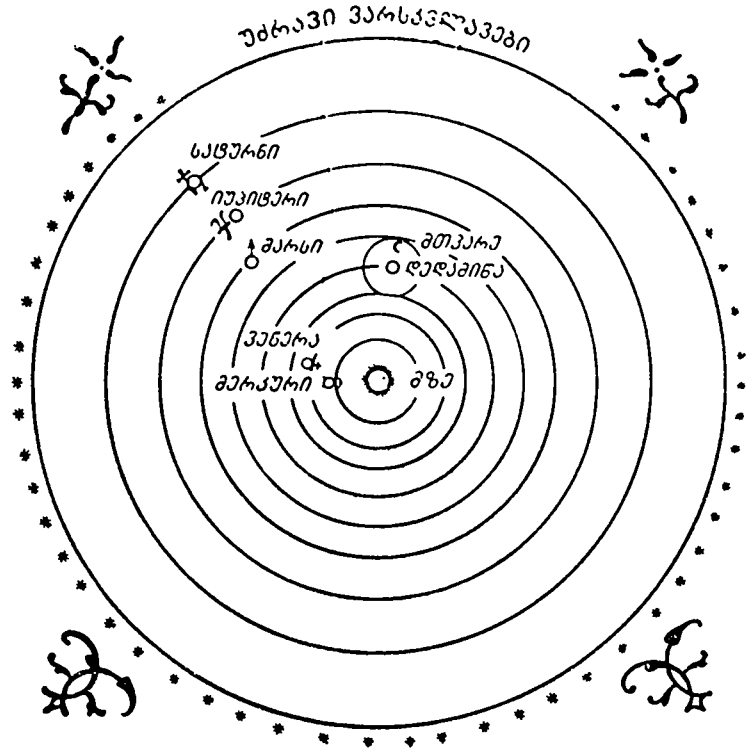
თითქმის ათას ხუთასი წლის განმავლობაში ადამიანთა გონება პტოლემეს მცდარი მოძღვრების ტყვეობაში იყო, რომელიც ამტკიცებდა, რომ დედამიწა უძრავად იმყოფება სამყაროს ცენტრში. პტოლემეს მიმდევრები, ეკლესიის საამებლად და პტოლემეს მცდარი მოძღვრების „ჭეშმარიტებისა“ და „სიწმინდის“ დასაცავად, დედამიწის ირგვლივ პლანეტების მოძრაობის სულ ახალ „განმარტებებსა“ და „მტკიცებებს“ იძლეოდნენ. მაგრამ ამით ეს სისტემა კიდევ უფრო არაბუნებრივი და ხელოვნური ხდებოდა.

პტოლემემდე დიდი ხნით ადრე ბერძენი მეცნიერი არისტარქე ამტკიცებდა, რომ დედამიწა მოძრაობს მზის ირგვლივ. უფრო გვიან, შუა საუკუნეებში, მოწინავე მეცნიერები იზიარებდნენ არისტარქეს აზრებს სამყაროს აგებულების შესახებ და უარყოფდნენ პტოლემეს მცდარ მოძღვრებას. კოპერნიკამდე ცოტა ხნით ადრე დიდი იტალიელი მეცნიერები ნიკოლოზ კუზანსკი და ლეონარდო და ვინჩი ამტკიცებდნენ, რომ დედამიწა მოძრაობს, რომ იგი სრულიადაც არაა სამყაროს ცენტრში და არ უჭირავს განსაკუთრებული ადგილი.

მაშ, რატომღა ბატონობდა პტოლემეს სისტემა? იმიტომ, რომ იგი ეთანხმებოდა ყოვლადძლიერ საეკლესიო მოძღვრებას, რომელიც ახშობდა თავისუფალ აზრს, ხელს უშლიდა მეცნიერების განვითარებას. ამას გარდა, მეცნიერებს, რომელნიც უარყოფდნენ პტოლემეს მოძღვრებას და სამყაროს აგებულებაზე სწორ შეხედულებებს გამოთქვამდნენ, ჯერ კიდევ არ შეეძლოთ ეს შეხედულებანი უდავო საბუთებით განემტკიცებინათ.

ამის გაკეთება მხოლოდ დიდმა პოლონელმა მეცნიერმა ნიკოლოზ კოპერნიკმა შეძლო. ოცდაათი წლის შეუპოვარი შრომის, ცაზე ხანგრძლივი დაკვირვებებისა და რთული მათემატიკური გაანგარიშების შემდეგ მან დაამტკიცა, რომ დედამიწა მხოლოდ ერთ-ერთი პლანეტაა და, რომ ყველა პლანეტა მზის ირგვლივ გარემოიქცევა.

თავისი უკვდავი წიგნით მან თითქოს ბრძოლაში გამოიწვია ეკლესიის ავტორიტეტები და ამხილა



სამყაროს კოპერნიკისეული სისტემა.
(ნახატი კოპერნიკის თხზულებებიდან)

მათი სრული უვიცობა სამყაროს აგებულების საკითხში.

კოპერნიკი სიცოცხლეში ვერ მოესწრო თავისი წიგნის გავრცელებას. იგი სიკვდილის პირას იყო, როცა მეგობრებმა გაყინულ ხელებში წიგნის პირველი ეგზემპლარი ჩაუდეს. რომელიც ნიურნბერგში, უცხო ქვეყნის შორეულ ქალაქში, დაიბეჭდა (მაშინ წიგნის ბეჭდვა ახლად შემოდიოდა. სტამბა მხოლოდ დასავლეთ ევროპის ზოგიერთ ქალაქში არსებობდა).

კოპერნიკი დაიბადა 1473 წ. პოლონეთის ქალაქ ტორუნში. იგი ცხოვრობდა მძიმე ხანაში, როცა პოლონეთი და მისი მეზობელი რუსეთის სახელმწიფო საუკუნეობრივ ბრძოლას განაგრძობდნენ დამპყრობლების — ტევტონი რაინდებისა და თათარ-მონღოლების — წინააღმდეგ, რომელთა მიზანი იყო სლავი ხალხის დამონება.

კოპერნიკი ადრე დაობლდა. იგი აღზარდა ბიძამ, დედის ძმამ ლუკაშ ვატცელროდემ — იმ დროის გამოჩენილმა საზოგადოებრივ-პოლიტიკურმა მოღვაწემ.

ცოდნის წყურვილი ბავშვობიდანვე დაეუფლა კოპერნიკს. ის ჯერ თავის სამშობლოში, პოლონეთში, სწავლობდა. შემდეგ იტალიის უნივერსიტეტში განაგრძობდა მეცადინეობას. იქ ასტრო-

ნომიას, რასაკვირველია, პტოლემეს სისტემის მიხედვით ასწავლიდნენ, მაგრამ კოპერნიკი ხარბად დაეწაფა ძველი დროის დიდი მათემატიკოსებისა და ასტრონომების შრომებსაც. კოპერნიკი დარწმუნდა არისტარქეს გენიალურ მოსაზრებათა სისწორეში და პტოლემეს სისტემის მცდარობაში. მაგრამ კოპერნიკს მარტო ასტრონომია როდი აინტერესებდა. იგი სწავლობდა ფილოსოფიას, სამართალს, მედიცინას და სამშობლოში თავისი დროისათვის ყოველმხრივ განათლებული დაბრუნდა.

იტალიიდან დაბრუნების შემდეგ კოპერნიკი დასახლდა ვარმიაში — ჯერ ქ. ლიდცბარკში, შემდეგ ფრომბორკში. ის მრავალმხრივი მოღვაწე იყო: აქტიურ მონაწილეობას იღებდა ოლქის მართვაში — განაგებდა მის ფინანსურ, სამეურნეო და სხვა საქმეებს. ამავე დროს კოპერნიკი განუწყვეტლივ ფიქრობდა მზის სისტემის ჰეშმარიტ აგებულებაზე და თანდათან მივიდა თავის უდიდეს აღმოჩენამდე.

რას წარმოადგენს კოპერნიკის წიგნი „ციურ სხეულთა გარემოქცევის შესახებ“ და რატომ მიაყენა მან ასეთი გამანადგურებელი დარტყმა პტოლემეს სისტემას, რომელმაც მთელი თავისი ნაკლოვანებებით და „საკერებლებით“ თოთხმეტი საუკუნის განმავლობაში გაძლო ყოვლადძლიერი საეკლესიო ხელისუფლების მფარველობის ქვეშ? ამ წიგნში კოპერნიკი ამტკიცებდა, რომ დედამიწა და სხვა პლანეტები მზის თანამგზავრებია. მან დაამტკიცა აგრეთვე, რომ სწორედ მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობით და დედამიწის საკუთარი ღერძის ირგვლივ დღეღამური ბრუნვით აიხსნება მზის ხილული მოძრაობა, უცნაური დახლართულობა პლანეტების მოძრაობაში და ცის თაღის ხილული ბრუნვა.

კოპერნიკმა გენიალური სიმარტივით ახსნა, რომ ჩვენ შორეული ციური სხეულების მოძრაობას ისევე აღვიქვამთ, როგორც სხვადასხვა საგნების გადაადგილებას დედამიწაზე, როცა თვითონ ვმოძრაობთ.

როცა ნავით მდინარეზე მივცურავთ, გვეჩვენება, რომ ნავი და ჩვენ უძრავნი ვართ, ხოლო ნაპირები საწინააღმდეგო მიმართულებით „მიცურავენ“. ვთქვათ, მატარებლით გავუსწარით ფეხით მიმავალ ადამიანს, მაშინ გვეჩვენება, რომ ფეხით მიმავალი საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობს. ზუსტად ასევე გვეჩვენება, რომ მზე მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ, სინამდვილეში კი დედამიწა მოძრაობს მზის ირგვლივ და წლის განმავლობაში ერთხელ შემოუვლის მას.

ზუსტად ასევე, როდესაც მზის ირგვლივ მოძრაობისას დედამიწა წინ უსწრებს სხვა პლანეტას, ჩვენ გვეჩვენება, რომ პლანეტა უკან მიდის და ცაზე მარყუჟს აღწერს. სინამდვილეში პლანეტები მოძრაობენ მზის ირგვლივ წესიერი, თუმცა არა იდეალურად წრიული ფორმის ორბიტებზე და არავითარ მარყუჟებს არ აკეთებენ. კოპერნიკი, ძველი ბერძენი მეცნიერების მსგავსად, ცდებოდა, როცა ფიქრობდა, რომ პლანეტები წრიულ ორბიტებზე მოძრაობენ.

სამი მეოთხედი საუკუნის შემდეგ დიდმა გერმანელმა ასტრონომმა იოჰან კეპლერმა, კოპერნიკის საქმის გამგრძელებელმა, დაამტკიცა, რომ ყველა ცნობილი პლანეტის ორბიტა წარმოადგენს გაჭიმულ წრეხაზს — ელიფსს.

ვარსკვლავები კოპერნიკის აზრით არ მოძრაობდნენ. პტოლემეს მიმდევრები, რომლებიც დედამიწის უძრაობას ამტკიცებდნენ, ამბობდნენ, რომ, თუ დედამიწა სივრცეში მოძრაობს, მაშინ სხვადასხვა დროს ცაზე დაკვირვებისას მოგვეჩვენებოდა, რომ ვარსკვლავები გადაადგილდებიან, ცაზე მდებარეობას შეიცვლიან. ვარსკვლავთა გადაადგილება მრავალი საუკუნის განმავლობაში არ შეუნიშნავს არც ერთ ასტრონომს. პტოლემეს მოძღვრების მიმდევრებს სწორედ ამაში უნდოდათ დაენახათ დედამიწის უძრაობის დამამტკიცებელი საბუთი.

მაგრამ კოპერნიკი ამტკიცებდა, რომ ვარსკვლავები ჩვენგან წარმოუდგენლად შორ მანძილებზე იმყოფებიან. ამიტომ მათი უმნიშვნელო გადაადგილების შემჩნევა შეუძლებელია. მართლაც, მანძილები ჩვენგან უახლოეს ვარსკვლავებამდეც კი იმდენად დიდი აღმოჩნდა, რომ კოპერნიკის შემდეგ კიდევ სამი საუკუნის განმავლობაშიც ვერ მოხერხდა მათი ზუსტი განსაზღვრა. მხოლოდ 1837 წ. სახელოვანმა რუსმა ასტრონომმა ვასილ იაკობის ძე სტრუვემ ჩაუყარა საფუძველი ამ მანძილების ზუსტ განსაზღვრას.

გასაგებია, როგორი დიდი შთაბეჭდილება უნდა მოეხდინა წიგნს, რომელშიც მეცნიერი ისე განმარტავდა სამყაროს, რომ ანგარიშს არ უწევდა რელიგიას და მეცნიერების საქმეებში ეკლესიის ყოველგვარ ავტორიტეტსაც კი უარყოფდა. ეკლესიის მესვეურები უცებ ვერც მიხვდნენ, როგორი იერიში მიჰქონდა რელიგიაზე კოპერნიკის მეცნიერულ

წრომას, რომელშიც მან დედამიწა ერთ-ერთ პლანეტად გამოაცხადა. ერთ ხანს წიგნი თავისუფლად ვრცელდებოდა, მაგრამ გავიდა წლები და ამ წიგნის რევოლუციური მნიშვნელობა მთელი სისრულით გამომჟღავნდა. გამოჩნდნენ სხვა დიდი მეცნიერები — კოპერნიკის საქმის განმგრძობნი. მათ განავითარეს და განავრცეს იდეა სამყაროს უსასრულობის შესახებ, რომელშიც დედამიწა პაწაწინა წერტილია, ხოლო სამყაროები — აურაცხელი. ამ დროიდან ეკლესია გააფთრებით დევნიდა კოპერნიკის მოძღვრების მომხრეებს.

ახალი მოძღვრება (ჰელიოცენტრული, როგორც მას უწოდებენ) მზის სისტემის შესახებ მეცნიერების უბოროტეს მტერთან — რელიგიასთან—უმკაცრეს ბრძოლაში მტკიცდებოდა. კოპერნიკის მოძღვრება ძირს უთხრიდა რელიგიური მსოფლმხედველობის საფუძვლებს და ფართო გზას ხსნიდა ბუნების მოვლენათა მეცნიერულ-მატერიალისტური შეცნობისაკენ.

XVI ს. მეორე ნახევარში კოპერნიკის მოძღვრებას სხვადასხვა ქვეყნის მოწინავე მეცნიერთა შორის მიმდევრები გაუჩნდა. გამოჩნდნენ ისეთი მეცნიერებიც, რომლებიც მარტო პროპაგანდას კი არ უწევდნენ კოპერნიკის მოძღვრებას, არამედ აღრმავებდნენ და აფართოებდნენ კიდევაც მას.

კოპერნიკს მიაჩნდა, რომ სამყარო შემოფარგლულია უძრავ ვარსკვლავთა სფეროთი, ეს ვარსკვლავები ჩვენგან და მზიდან წარმოუდგენლად დიდ, მაგრამ სასრულ მანძილებზე იმყოფებიან. კოპერნიკის მოძღვრება ამტკიცებდა, რომ სამყარო უზარმაზარია, მაგრამ ეს მაინც არ იყო სამყაროს უსასრულობის მტკიცება.

XVI ს. 70-იან წლებში ინგლისელმა მეცნიერმა თ. დიგესმა გამოთქვა აზრი, რომ სამყარო უსასრულოა, ხოლო ვარსკვლავები ერთ სფეროზე, ე. ი. მზიდან თანაბარ მანძილზე კი არაა განლაგებული, არამედ უსასრულო სამყაროშია მიმობნეული.

XVI ს. ბოლოს ეს იდეა დიდმა იტალიელმა მოაზროვნემ ჯორდანო ბრუნომ (1548 — 1600) გააღრმავა.

ბრუნოს მთელი ცხოვრება ესაა რელიგიისა და ეკლესიის, ყოველგვარი ცრურწმენისა და ბნელეთის წინააღმდეგ მიმართული, მეცნიერების ჭეშმარიტებისათვის მებრძოლი ადამიანის ცხოვრება. ამ ბრძოლას შესწირა ბრუნომ თავისი ხანმოკლე, მაგრამ ბრწყინვალე სიცოცხლე.

ბრუნო სამხრეთ იტალიაში, მორწმუნე ოჯახში დაიბადა. ჭაბუკი ბრუნო მონასტერში მიაბარეს, სადაც ეკლესიის ერთგული მსახური უნდა გამხდარიყო, მაგრამ მისი თავისუფლებისმოყვარე ბუნება ეკლესიის წეს-ჩვეულებებს ვერ ურიგდებოდა. ჭაბუკი ცოდნის წყურვილითა და ხალხისათვის ცოდნის გადაცემის სურვილით იყო შეპყრობილი.

ბრუნო გულმოდგინედ ეუფლებოდა ცოდნას და კოპერნიკის მოძღვრების თავდადებული მომხრე გახდა, რითაც მონასტრის უფროსობის სიძულვილი დაიმსახურა. ბრუნომ მონასტერი მიატოვა და იტალიიდან გაემგზავრა. ამ დროისათვის ის უკვე ჩამოყალიბებული მოაზროვნე იყო და ბევრად გაუსწრო კოპერნიკს მთელ რიგ საკითხებში, რომლებიც სამყაროს აგებულებას შეეხებოდა.

ბრუნომ დიდი ხანი დაყო დასავლეთ ევროპის ქვეყნებში. ვინაიდან ეკლესია სდევნიდა, იგი იძულებული გახდა შვეიცარიიდან საფრანგეთში გადასახლებულიყო, შემდეგ კი ინგლისსა და გერმანიაში. ბრუნო ყველგან გაცხოველებით შრომობდა: კითხულობდა ლექციებს, სცემდა წიგნებს, მონაწილეობდა პტოლემეს სამყაროს სისტემის წინააღმდეგ გამართულ საჯარო დისპუტებში. იგი ამტკიცებდა, რომ სამყარო უსასრულოა, მას შეუძლებელია ჰქონდეს რაიმე „ცენტრი“, უზარმაზარი მზე მხოლოდ ერთი ვარსკვლავთაგანია; ყოველი ვარსკვლავი იგივე მზეა; ასეთი მზე უსასრულოდ მრავალია და გარშემორტყმულია პლანეტებით, რომლებზეც შეიძლება სიცოცხლეც არსებობდეს. მზეც და ვარსკვლავებიც თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნავენ, ხოლო მზის სისტემაში ცნობილი პლანეტების გარდა სხვა, აქამდე უცნობი პლანეტებიც არსებობენ.

ბრუნოს არ შეეძლო თავისი გენიალური ვარაუდები დაკვირვებებით განემტკიცებინა, რადგან მის დროს ტელესკოპები არ იყო. მოგვიანებით მეცნიერებმა აღმოაჩინეს მზის სისტემის შორეული პლანეტები — ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი — და დაამტკიცეს, რომ მზე რიგითი ვარსკვლავია ირმის ნახტომის გიგანტურ ვარსკვლავთ სისტემაში და ეს სისტემა ერთ-ერთია სამყაროს უთვალავ სისტემათა შორის. მზე რომ თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნავს, ბრუნოს სიკვდილის შემდეგ მალე დადგინდა, ხოლო ვარსკვლავთა ბრუნვა მეცნიერებამ არცთუ დიდი ხნის წინათ დაამტკიცა.

1592 წელს რომის ეკლესიის მსახურებმა ღა-



ჯორდანო ბრუნო.

ლატით შეძლეს ბრუნოს შეპყრობა. შვიდ წელზე მეტ ხანს ამყოფეს ციხეში. ბრუნოს სახელი საქვეყნოდ იყო ცნობილი და ეკლესია ყველაფერს აკეთებდა იმისათვის, რომ აეძულებინა მეცნიერი, უარი ეთქვა თავის შეხედულებებზე.

ჯორდანო ბრუნოს თავისი მრწამსისათვის არ უღალატნია და, როცა საშინელი წამების შემდეგ კოცონზე დაწვა მიუსაჯეს, ამაყად თქვა: „დაწვა არ ნიშნავს უარყოფას“. ბრუნოს ეს სიტყვები საუკუნეებს შემორჩა.

1600 წლის 17 თებერვალს (ძვ. სტ.) ჯორდანო ბრუნო რომის ერთ-ერთ მოედანზე დაწვეს. მეცნიერი ტრაგიკულად დაიღუპა, მაგრამ არავითარ კოცონს არ შეეძლო უარეყო მისი უკვდავი იდეები. ამ იდეებით ბრუნომ მთელი საუკუნეებით გაუსწრო თავის ეპოქას, თუმცა ტელესკოპის გარეშე ჩატარებულ დაკვირვებებს არ შეეძლო მათი ჭეშმარიტების დამტკიცება. გავიდა მხოლოდ ათი წელი ბრუნოს დაღუპვიდან და კაცობრიობამ დაკვირვებების ახალი საშუალება გამოიგონა, რამაც ხელი შეუწყო ახალ აღმოჩენებს. დადასტურდა კოპერნიკის მოძღვრება და ბრუნოს ვარაუდები. დაკვირვებათა ეს საშუალება ტელესკოპი იყო. პირველი ტელესკოპები XVII ს. დასაწყისში გაჩნდა. მისი გამომგონებელი ცნობილი არაა. ძნელია იმისი თქმა, თუ პირველად ვინ დაიწყო სისტემატური დაკვირვებები ტელესკოპით, მაგრამ პირველი, და ამასთანავე მნიშვნელოვანი ასტრონომიული აღმოჩენები ტელესკოპის დახმარებით ბრუნოს თანამემამულეს, იტალიელ მეცნიერს გალილეო გალილეის (1564 — 1642) ეკუთვნის.

მეცნიერთათვის გალილეის სახელი ჯერ კიდევ ბრუნოს სიცოცხლეშიაც კარგად იყო ცნობილი. გალილეიმ ფიზიკასა და მექანიკაში მნიშვნელოვან აღმოჩენებს მიაკვლია და ამ მეცნიერებათა განვითარების ახალი გზებიც გამონახა.

არისტოტელეს მიმდევარ მეცნიერთაგან განსხვავებით, გალილეი ამტკიცებდა, რომ ბუნების შესწავლის საფუძველს დაკვირვება და ცდა წარმოადგენს, რომ ასტრონომიაც დაკვირვებების საფუძველზე უნდა განვითარდეს, მხოლოდ აუცილებელია დაკვირვების საშუალებათა გაუმჯობესება. გალილეი თვითონ აგებდა სამზერ მილებს, რომლებსაც ცაზე დაკვირვების დროს იყენებდა.

რა პაწაწინა იყო ეს მილები თანამედროვე უმძლავრეს ტელესკოპებთან შედარებით, რომლებიც გამოსახულებას რამდენიმე ათასჯერ ადიდებენ! პირველი მილი, რომლითაც გალილეიმ თავისი დაკვირვებები დაიწყო, მხოლოდ სამჯერ ადიდებდა, უკანასკნელი, გალილეის ყველაზე სრულყოფილი მილი კი — ოცდაათჯერ. მიუხედავად ამისა, გალილეის აღმოჩენებმა ამ თვითნაკეთი ხელსაწყოების დახმარებით დიდად გააოცა მისი თანამედროვენი. მთვარეზე დაკვირვებისას გალილეიმ აღმოაჩინა, რომ მასზე არის მთები, ველები და ღრმა ნაპრალები, ე. ი. თავისი რელიეფით მთვარის ზედაპირი დედამიწის ზედაპირს ჰგავს. გალილეიმ იუპიტერის ოთხი თანამგზავრი აღმოაჩინა, რომლებიც პლანეტის ირგვლივ ბრუნავდნენ. ეს კი იმას ნიშნავდა, რომ მხოლოდ დედამიწა და მზე არაა ციური სხეულების ბრუნვის ცენტრი. გამოირკვა ისიც, რომ მზის სისტემაში, უკვე ცნობილი ციური სხეულების გარდა, არსებობს სხვებიც, რომელთა დანახვაც

მხოლოდ ტელესკოპში შეიძლება. მზის ლაქებზე დაკვირვებისას გალილეიმ დაადგინა, რომ ისინი ყოველთვის ერთი მიმართულებით ინაცვლებენ ადგილს მზის ზედაპირზე და სწორი დასკვნაც გააკეთა: მზე თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნავს. ცხადი გახდა, ბრუნავს არა მარტო დედამიწა, როგორც ამას კოპერნიკი ამტკიცებდა, არამედ, საერთოდ, ყველა ციური სხეული.

განსაკუთრებით გასაოცარი ის იყო, რომ ტელესკოპში დაკვირვებისას შეუიარაღებელი თვალისათვის უხილავი მრავალი ვარსკვლავი ჩანდა. ირმის ნახტომის ერთიანი ნათება — როგორც ეს ძველად დემოკრიტეს მიაჩნდა — ვარსკვლავთა გიგანტური გროვა აღმოჩნდა.

ყველა ეს აღმოჩენა, რომლებიც კოპერნიკის მოძღვრებასა და ბრუნოს ვარაუდს ადასტურებდა, გალილეიმ თავის ფართოდ ცნობილ წიგნში, „ვარსკვლავთა მოამბეში“, გამოაქვეყნა, რითაც დიდად გააბოროტა ეკლესიის მესვეურნი. ახლა უკვე გონებით ჭვრეტა კი არა, ცაზე უშუალო დაკვირვება უარყოფდა ეკლესიის მოძღვრებას დედამიწის, როგორც სამყაროს ცენტრის შესახებ.

1616 წელს რომის ეკლესიამ კოპერნიკის მოძღვრება ოფიციალურად გამოაცხადა როგორც უღვთო, შეუთავსებელი „ჭეშმარიტ სარწმუნოებასთან“ და აკრძალა მისი პროპაგანდა. მაგრამ გალილეის არ შეუწყვეტია კოპერნიკის მოძღვრების გავრცელებისა და თავისი აღმოჩენების პოპულარიზაციისათვის ბრძოლა. მან მრავალი წელი იმუშავა წიგნზე „დიალოგი სამყაროს ორი უმთავრესი — პტოლემესა და კოპერნიკის—სისტემის შესახებ“, რომელშიც დამაჯერებლად ამტკიცებდა კოპერნიკის მოძღვრების მართებულობას და პტოლემეს მოძღვრების მთელ უსაფუძვლობას. ეს წიგნი გალილეიმ დიდი გაჭირვებით გამოსცა 1632 წელს.

ამ წიგნის გამო რომის ეკლესიამ გალილეი ინკვიზიციის სასამართლოს გადასცა. გალილეის სასამართლო მეცნიერების წინააღმდეგ რელიგიის მრავალსაუკუნოვანი ბრძოლის ერთ-ერთი ყველაზე სამარცხვინო ფურცელია. გალილეი ძალით აიძულეს უარეყო მოძღვრება დედამიწის მოძრაობისა და ბრუნვის შესახებ. მაგრამ მისი აღმოჩენები უკვე მთელ მსოფლიოში იყო ცნობილი. სიკვდილამდე იგი ინკვიზიციის მეთვალყურეობის ქვეშ იმყოფებოდა. გალილეი შეძლებისდაგვარად კვლავ



გალილეო გალილეი.

განაგრძობდა მეცნიერულ მუშაობას, უმთავრესად მექანიკის დარგში. იტალიაში მისი წიგნების ბეჭდვა არ შეიძლებოდა. მათ სხვა ქვეყნებში გამოსცემდნენ, სადაც ეკლესიის გავლენა შედარებით სუსტი იყო.

გალილეისთან ერთად უდიდესი აღმოჩენები მზის სისტემის აგებულებისა და მასში ციური სხეულების მოძრაობის შესახებ ეკუთვნის გერმანელ მეცნიერს იოჰან კეპლერს (1571—1630). კოპერნიკის მოძღვრება მათემატიკურ დაზუსტებას მოითხოვდა. მალე კოპერნიკის სიკვდილის შემდეგ მისი სისტემის საფუძველზე ასტრონომებმა პლანეტების მოძრაობის ახალი ცხრილები შეადგინეს. მართალია, ეს ცხრილები უფრო შეესაბამებოდა სინამდვილეს, ვიდრე პტოლემეს დროს შედგენილი ცხრილები, მაგრამ მოგვიანებით მათშიაც აღმოჩნდა შეუსაბამობა დაკვირვებების მონაცემებთან შედარებით. აუცილებელი იყო პლანეტების მოძრაობის კანონების უფრო ღრმა გამოკვლევა და დადგენა. სწორედ ეს ამოცანა გადაწყვიტა კეპლერმა.

კეპლერი იმ დროს ცხოვრობდა, როცა ცენტრალური ევროპა დაყოფილი იყო პატარ-პატარა სახელმწიფოებად. კათოლიკეთა და პროტესტანტთა შორის რელიგიური ბრძოლები კი მეცნიერებისა და განათლების განვითარებას აფერხებდნენ. კეპლერი ტიუბინგენის უნივერსიტეტში შევიდა და გატაცებით შეუდგა მათემატიკისა და ასტრონომიის შესწავლას. ამ მეცნიერებათა მასწავლებელი პროფ. მესტლინი (1550 — 1631) იძულებული იყო აუდიტორიაში პტოლემეს მოძღვრების მიხედვით ელაპარაკა ასტრონომიაზე, მაგრამ სინამდვილეში იგი კოპერნიკის მიმდევარი იყო და შინ მის მოძღვრებას აცნობდა მსმენელებს. მალე კეპლერი კოპერნიკის მიმდევარი გახდა, მაგრამ, მესტლინისაგან განსხვავებით, ის არ მალავდა თავის შეხედულებებს, პირიქით, აშკარად ეწეოდა მათ პროპაგანდას.

ტრაგიკულად აეწყო კეპლერის ცხოვრება. როგორც კათოლიკე, ისე პროტესტანტ ღვთისმეტყველთა მიერ დევნილი კეპლერი იძულებული იყო უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ სხვადასხვა ქალაქში ეხეტიალა და შემთხვევითი სამუშაო ეძებნა. მაგრამ მეცნიერს მაშინაც არ შეუწყვეტია ფიქრი იმ საკითხზე, რომლითაც ასე იყო გატაცებული. მას აინტერესებდა, პლანეტების ორბიტების რომელი გეომეტრიული ფორმა უფრო უკეთ ხსნის მათი მოძრაობის ყველა თავისებურებას. ძველი ბერძენი ფილოსოფოსები დარწმუნებული იყვნენ, რომ წრე იდეალური გეომეტრიული ფორმაა და ციურ სხეულებს მხოლოდ წრიულად შეეძლოთ მოძრაობა. კოპერნიკის სამყაროს სისტემამაც კი შემოინახა ეს მოსაზრება. კეპლერი კი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ ეს შეცდომა იყო. პლანეტების ორბიტებს წესიერი წრიული კი არა, სხვა გეომეტრიული ფორმა აქვთ. მაგრამ სახელდობრ როგორი? თავისი მოღვაწეობის პირველ წლებში კეპლერმა ვერ შეძლო ამ ამოცანის გადაჭრა. მაგრამ მან მაშინაც კი გაითქვა სახელი, როგორც შესანიშნავმა მათემატიკოს-გამომთვლელმა. ამან დიდი როლი ითამაშა მეცნიერის შემდგომ ცხოვრებაში.

1600 წელს პრაღაში გადასახლდა დანიელი ასტრონომი ტიხო ბრაჰე. მან თავისი სამშობლო დანია მას შემდეგ მიატოვა, რაც დანიის მეფემ უარი თქვა ბრაჰეს მიერ აგებული, იმ დროისათვის შესანიშნავი ობსერვატორიის შენახვაზე. ტიხო ბრაჰე ცის გამოჩენილი დამკვირვებელი იყო, მაგრამ სამყაროს აგებულების საკითხში დრომოჭმულ შეხედულებებს იზიარებდა და არ სცნობდა კოპერნიკის მოძღვრებას. პრაღაში ტიხო ბრაჰემ თავისი დაკვირვებების გაგრძელება გადაწყვიტა და გაწოთვლების ჩასატარებლად თავის თანაშემწედ კეპლერი მიიწვია. ორი მეცნიერის თანამშრომლობა, რომელთა შორის ერთი უარყოფდა კოპერნიკის მოძღვრებას, ხოლო მეორე მისი თავგამოდებული მომხრე იყო, დიდხანს არ გაგრძელებულა. მალე ტიხო ბრაჰე გარდაიცვალა (1601) და მისი დაკვირვებების უმდიდრესი მასალები კეპლერის ხელში გადავიდა. ამ მასალების შესწავლისას, რომელთა შორისაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა მარსზე მრავალწლიან დაკვირვებებს, მან დაადგინა, რომ მზის ირგვლივ მარსი სწორ წრეზე კი არ მოძრაობს, არამედ მოგრძო წრეზე — ელიფსზე. შემდეგ გამოირკვა, რომ მზის ირგვლივ ასე მოძრაობს არა მარტო მარსი, არამედ მზის სისტემის ყველა პლანეტა; მთვარეც დედამიწის ირგვლივ ელიფსზე მოძრაობს. კეპლერმა თავისი გამოკვლევები განაგრძო და მზის სისტემაში სხეულთა მოძრაობის სამი კანონი ჩამოაყალიბა.

კეპლერის პირველი კანონია: პლანეტები ელიფსებზე მოძრაობენ. მზე ელიფსის ცენტრში კი არა, ცენტრიდან გარკვეული მანძილით დაშორებულ წერტილში მდებარეობს და ამ წერტილს ფოკუსი ჰქვია. აქედან გამომდინარეობს, რომ პლანეტის მზიდან დაშორების მანძილი ყოველთვის ერთნაირი არაა, ამიტომ მზის ირგვლივ პლანეტის მოძრაობის სიჩქარეც არ არის ყოველთვის თანაბარი: რაც უფრო ახლოსაა პლანეტა მზესთან, მით უფრო მეტია მისი სიჩქარე და, პირიქით, რაც უფრო დაშორებულია მზეს, მისი სიჩქარეც ნაკლებია. პლანეტების მოძრაობის ეს თავისებურება კეპლერის მეორე კანონს წარმოადგენს. კეპლერის მესამე კანონში დადგენილია ზუსტი კავშირი მზიდან პლანეტების დაშორებასა და მათი გარემოქცევის პერიოდს შორის. ირკვევა, რომ პლანეტების გარემოქცევის პერიოდის კვადრატები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მზიდან მათი საშუალო მანძილების კუბები.

ეს ადვილად შეიძლება დავინახოთ ორი ნებისმიერი პლანეტის მაგალითზე. მაგალითად, მზიდან იუპიტერის საშუალო მანძილი 5,2-ჯერ აღემატება მზიდან დედამიწის მანძილს, ხოლო იუპიტერის

გარემოქცევის დრო 11,86 დედამიწის წელია. უბრალო გამოთვლიდანაც ჩანს, რომ პირველი რიცხვის კუბი უდრის მეორე რიცხვის კვადრატს. გამოთვლის დროს ზუსტი ტოლობიდან ცოტაოდენი გადახრა ხდება; ეს იმით აიხსნება, რომ იუპიტერის მაჯისცემა და ბრუნვის დრო დაახლოებითაა აღებული; უფრო მეტი სიზუსტისათვის ამ რიცხვებს რაღაც მეათედი ნიშანი უნდა მივუმატოთ, ეს კი გამოთვლას გააძნელებს.

მას შემდეგ აძ სამ კანონს კეპლერის კანონები ჰქვია, თვითონ კეპლერს კი ასტრონომთა შემდგომმა თაობამ „ზეცის კანონმდებელი“ უწოდა. იგი ისტორიაში შევიდა როგორც კოპერნიკის საქმის ერთი უდიდესი განმგრძობთაგანი. მაგრამ თვითონ კეპლერი მისი აღმოჩენების შემდეგაც ძალზე მძიმე პირობებში ცხოვრობდა. მას ძველებურად სდევნიდნენ კოპერნიკის მოძღვრების პროპაგანდისათვის, რომელსაც მთელი რიგი წიგნები უძღვნა. ეს წიგნები არა ერთხელ აუკრძალავთ და დაუწვავთ კოცონზე. კეპლერის სიცოცხლეს ბევრჯერ ელოდა საფრთხე ეკლესიისა და მისი დამჭაშების მხრიდან.

ამრიგად, XVII ს. დასაწყისში კოპერნიკის მოძღვრების საფუძველზე ასტრონომიის განვითარებას ხელს უშლიდა ეკლესიის გააფთრებული წინააღმდეგობა. თუმცა XVII ს. ასტრონომიისა და, საერთოდ, მეცნიერების განვითარების პირობები ბევრ ქვეყანაში მკვეთრად შეიცვალა. ასტრონომია სულ უფრო აუცილებელი ხდებოდა გეოგრაფიისა და ნაოსნობისათვის, დროის ზუსტი განსაზღვრისა და სხვა საჭიროებისათვის. ევროპის რიგ ქვეყნებში შესუსტდა ეკლესიის გავლენა და კოპერნიკის მოძღვრებამ საერთო აღიარება ჰპოვა. სხვადასხვა ქვეყანაში გამოჩნდნენ სახელმოხვეჭილი ასტრონომები, ხოლო ოპტიკის მიღწევები საშუალებას იძლეოდა, გაეკეთებინათ გაცილებით უფრო მოზრდილი და სრულყოფილი ტელესკოპები, ვიდრე გალილეის გააჩნდა.

მნიშვნელოვანი აღმოჩენები აქვს შესანიშნავ პოლონელ ასტრონომს იან ჰეველიუსს (1611 — 1687). თავის მეცნიერულ ტალანტს ჰეველიუსი უთავსებდა შესანიშნავ ნიჭსა და ცოდნას ოპტიკის, მექანიკისა და მხატვრობის დარგში. იგი თვითონ აკეთებდა ტელესკოპებსა და კუთხის საზომ ხელსაწყოებს. 1641 წელს ჰეველიუსმა თავის მშობლიურ ქალაქ გდანსკში შესანიშნავი ობსერვატორია ააგო. ჰეველიუსი განსაკუთრებულ ყურადღებას მთვარეზე დაკვირვებებს უთმობდა. იგი გულმოდგინედ აკვირდებოდა და იხატავდა დედამიწისკენ მოქცეულ მთვარის მხარეს და ამ დაკვირვებათა საფუძველზე შექმნა მთვარის პირველი ატლასი. ჰეველიუსმა სახელები დაარქვა მთვარის მთებს, კრატერებსა და ველებს. ამ სახელთაგან ბევრი დღემდე შემორჩა. მთვარის ეს ატლასი მან გამოაქვეყნა წიგნში „სელენოგრაფია“ (1647). ჰეველიუსმა შეადგინა ყველა იმ კომეტის მიმოხილვა,



იოჰან კეპლერი.

რომლებიც კაცობრიობის ისტორიულ მეხსიერებას შემოუნახავს. მასვე ეკუთვნის ვარსკვლავთა ვრცელი კატალოგი, რომელიც ყველა ადრეულ კატალოგზე უფრო ზუსტია.

ცის გამოჩენილი დამკვირვებელი იყო იტალიელი ჯოვანი დომენიკო კასინი (1625 — 1712), რომელიც შემდეგ საფრანგეთში გადასახლდა. აქ ის პარიზის ობსერვატორიის პირველი დირექტორი გახდა. კასინიმ დაადგინა, რომ მარსი და იუპიტერი, დედამიწისა და მზის მსგავსად, თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნავენ. მანვე აღმოაჩინა სატურნის ოთხი თანამგზავრი.

თავის დროზე კოპერნიკმა საკმაოდ ზუსტად გამოითვალა მანძილი მზესა და პლანეტებს შორის დედამიწის მზიდან დაშორების ერთეულებში, მაგრამ დედამიწიდან მზემდე მანძილის აბსოლუტური

რიცხვითი მნიშვნელობა კვლავ უცნობი იყო, თუმცა არა ერთხელ უცდიათ მისი გამოთვლა. მხოლოდ 1672 წელს კასინიმ და მეორე ფრანგმა ასტრონომმა შ. რიშემ ერთდროულად ჩაატარეს დაკვირვებები პარიზსა და სამხრეთ ამერიკაში და გამოითვალეს, რომ დედამიწა მზიდან 140 მლნ კილომეტრითაა დაშორებული (სინამდვილეში დედამიწიდან მზემდე 149,5 მლნ კილომეტრია). ამრიგად, თუმცა არც მთლად ზუსტად, მაგრამ მაინც ცნობილი გახდა მზის სისტემის სიდიდე, რომელშიც ყველაზე შორეულ პლანეტად სატურნი რჩებოდა.



იან ჰეველიუსი.

XVII ს. მეორე ნახევარში დაკვირვებებმა ასტრონომები იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ არ არსებობს არავითარი ვარსკვლავთ სფერო, რომ ვარსკვლავები სხვადასხვა მანძილზე იმყოფებიან დედამიწიდან, ხოლო ვარსკვლავებით სავსე სივრცე განუზომლად დიდია, უფრო სწორად, უსასრულოა. ამავე დროს მიაჩნდათ, რომ ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები ყველაზე ახლოს იმყოფებიან დედამიწასთან. მაგრამ ცდებმა, დაახლოებით მაინც გამოეთვალათ მანძილი ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავებამდე, არავითარი შედეგი არ გამოიღო. ნათელი იყო მხოლოდ, რომ უახლოესი ვარსკვლავებიც კი ბრავალ ათასჯერ უფრო შორსაა დედამიწიდან, ვიდრე მზე.

ბევრი რამ გააკეთა ასტრონომიისათვის დიდმა ჰოლანდიელმა ფიზიკოსმა ქრისტიან ჰიუგენსმაც (1629 — 1695). ჯერ კიდევ გალილეიმ პლანეტებზე დაკვირვებისას შენიშნა სატურნის დისკოსთან რაღაც „დანამატები“, მაგრამ თავისი ტელესკოპიდან უფრო თვალნათლივ მათი დანახვა ვერ შეძლო. ჰიუგენსმა დაადგინა, რომ სატურნს გარს ერტყმის უცნაური რგოლისებური წარმონაქმნი, რომელიც სხვა პლანეტებს არ გააჩნია. ჰიუგენსმა აღმოაჩინა აგრეთვე სატურნის ყველაზე დიდი თანამგზავრი — ტიტანი.

სიცოცხლის ბოლო წლებში ჰიუგენსმა დაწერა თხზულება, რომელსაც „კოსმოტეოროსი“ („სამყაროს მიმოხილვა“) უწოდა. ამ თხზულებაში, რომელიც მისი სიკვდილის შემდეგ გამოიცა, ჰიუგენსმა მკითხველებს მოუთხრო იმდროინდელი ასტრონომიის მიღწევებზე. მან გამოთქვა რწმენა, რომ სამყარო უსასრულოა, ხოლო ურიცხვ ვარსკვლავთა ირგვლივ მბრუნავი პლანეტები დასახლებულია. მალე ჰიუგენსის წიგნი რუსულ ენაზე ითარგმნა და პეტრე პირველის ეპოქაში მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ასტრონომიული ცოდნის გავრცელების საქმეში. ამავე წიგნში ჰიუგენსმა სცადა, გამოეთვალა მანძილი ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავამდე — სირიუსამდე, რომელიც თავისი სიკაშკაშის გამო უახლოესად ითვლებოდა. ჰიუგენსი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ სირიუსი 28000-ჯერ უფრო მეტადაა დაშორებული დედამიწას, ვიდრე მზე. მაშინ ეს მანძილი განსაცვიფრებლად დიდი ეჩვენებოდათ. სინამდვილეში კი სირიუსი თითქმის ოცჯერ უფრო მეტადაა დაშორებული დედამიწიდან. მართალია, სირიუსი არაა უახლოესი ვარსკვლავი, მაგრამ ყველაზე ახლო ვარსკვლავი, კენტავრის ალფა, როგორც ახლაა ცნობილი, სულ რაღაც ორჯერ უფრო ნაკლებადაა დაშორებული დედამიწიდან, ვიდრე სირიუსი.

თავის გენიალურ ნაშრომში კოპერნიკი წერდა, რომ დედამიწა მზის ირგვლივ მბრუნავი ერთი პლანეტათაგანია. კეპლერმა აღმოაჩინა კანონები, რომელთა მიხედვითაც პლანეტები მზის ირგვლივ მოძრაობენ. მაგრამ გასარკვევი რჩებოდა, რა ძალა ამოძრავებდა პლანეტებს, რომ ისინი არც ეცემოდნენ მზეზე და არც მიფრინავდნენ მისგან. გასაგებია, რომ ეს მთვარის მოძრაობასაც შეეხებოდა: რატომ გარემოიქცევა მთვარე დედამიწის გარშემო, არც მიფრინავს მისგან და არც ეცემა მასზე?

ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას ცდილობდა XVII ს. მეორე ნახევრის ზოგიერთი მეცნიერი, მაგრამ ცდამ, აღმოეჩინათ ძალა, რომელიც ციური სხეულების მოძრაობას წარმართავდა, არავითარი

შედეგი არ გამოიღო. ეს აღმოჩენა ეკუთვნის ინგლისელ მეცნიერს ისააკ ნიუტონს კოპერნიკის შრომის გამოქვეყნებიდან საუკუნე-ნახევრისა და კეპლერისა და გალილეის აღმოჩენებიდან სამი მეოთხედი საუკუნის შემდეგ. ამ ხნის განმავლობაში ბევრი რამ შეიცვალა. მთელ რიგ ქვეყნებში, განსაკუთრებით ჰოლანდიასა და ინგლისში, კაპიტალიზმი ვითარდებოდა და სულ უფრო დიდ მოთხოვნებს უყენებდა ზუსტ მეცნიერებებსა და ტექნიკას. ის რომ, ეკლესია მტრულად იყო განწყობილი მეცნიერებისადმი, ხელს ვეღარ უშლიდა მის განვითარებას. ნიუტონსა და მისი თაობის მეცნიერთ არ ეშუქრებოდა ბრუნოს, გალილეისა და კეპლერის ბედი.

ნიუტონი დაიბადა 1643 წელს. ბავშვობაში მეცნიერებისადმი მიდრეკილებას არ ამჟღავნებდა და სწავლაშიც არ ჰქონია დიდი წარმატებები, მაგრამ ჭაბუკობისას არაჩვეულებრივი მათემატიკური ნიჭი აღმოაჩნდა. 1661 — 1665 წლებში ნიუტონი ინგლისის ერთ-ერთ უძველეს და საუკეთესო სასწავლებელში, კემბრიჯის უნივერსიტეტში, სწავლობდა. 1669 წლიდან 1696 წლამდე ამავე უნივერსიტეტის მათემატიკის პროფესორი იყო. ნიუტონის ცხოვრების სწორედ ამ პერიოდს ეკუთვნის მისი უდიდესი მეცნიერული აღმოჩენები. 1696 წელს ის ლონდონში გადასახლდა და დიდი საზოგადოებრივი და სახელმწიფოებრივი თანამდებობები ეჭირა. ნიუტონი, უკვე საქვეყნოდ ცნობილი მეცნიერი, გარდაიცვალა 1727 წელს ოთხმოცდახუთი წლის ასაკში.

თავისი აღმოჩენებით ნიუტონმა გაამდიდრა მათემატიკაც, ფიზიკაც და ასტრონომიაც. მათემატიკის დაუხმარებლად ასტრონომია ვერც ადრე განვითარდებოდა, მაგრამ ახლა ასტრონომიის განვითარება, ფიზიკისა და ტექნიკის განვითარებასთან ერთად, განსაკუთრებულ მოთხოვნებს უყენებდა მათემატიკას.

ნიუტონმა და გერმანელმა მეცნიერმა ლაიბნიცმა ერთდროულად და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შექმნეს მათემატიკის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი — დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა. კოპერნიკისა და კეპლერის ხანაში მათემატიკური ცოდნის მწვერვალი ტრიგონომეტრია იყო. ახლა მათემატიკური საფუძველი ჩაეყარა ციური სხეულების მოძრაობის ისეთი რთული თავისებურებების შესწავლას, რომლებიც ელემენტარული მათემატიკისათვის მიუწვდომელი იყო.

ნიუტონმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა ფიზიკის განვითარების საქმეში. მან აღმოაჩინა თეთრი ფერის რთული შედგენილობა. დაკვირვებებისა და ცდების საშუალებით ნიუტონმა დაადგინა, რომ მზის თეთრი სხივი თითქოს მრავალი ფერის „ნარევია“. გამოირკვა, რომ თეთრი ფერი შეიძლება დაიშალოს შემადგენელ ფერებად, მერე კი კვლავ შეერთდეს ერთ მთლიან თეთრ ფერად. ეს აღმოჩენა შემდგომში საფუძვლად დაედო სპექტრულ ანალიზს, რომელიც დიდ სამსახურს უწევდა და უწევს ასტრონომიას. შორეული ციური სხეულების სპექტრების, ე. ი. მათი სხივების ფერითი შედგენილობის შესწავლის შედეგად შეიძლება გავიგოთ მათი ქიმიური შედგენილობა და ფიზიკური ბუნება.

ნიუტონმა გააკეთა ამრეკლი ტელესკოპი, ანუ რეფლექტორი. მასში, გალილეის ძილისგან განსხვავებით, დასაკვირვებელი ციური სხეულის სინათლე ლინზის კი არა, სარკის მეშვეობით იკრიბება. ტელესკოპ-რეფლექტორები (ახლა ისინი გიგანტური ზომისაა) ჩვენს ეპოქაშიც საუკეთესო ხელსაწყოებია სამყაროს სიღრმეებში შესაღწევად.



ისააკ ნიუტონი.

საერთოდ, ნიუტონმა დიდი წვლილი შეიტანა ოპტიკის — ფიზიკის ამ უმნიშვნელოვანესი დარგის— განვითარების საქმეში, რომელიც სინათლის მოვლენებს შეისწავლის.

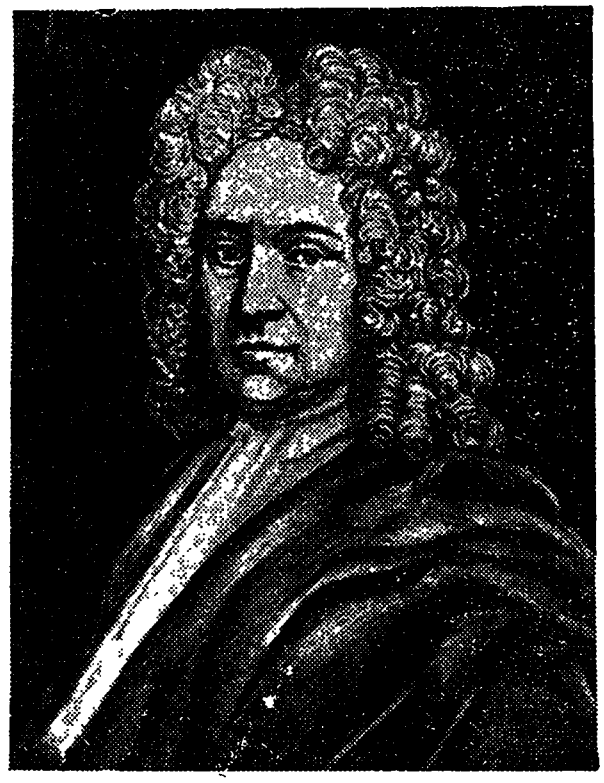
მაგრამ ნიუტონის აღმოჩენათა შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია მსოფლიო მიზიდულობის კანო-

ნის აღმოჩენა, რომელიც ციური სხეულების მოძრაობას წარმართავს.

ნიუტონი დიდხანს ფიქრობდა: როგორ მოძრაობს მთვარე თავის ორბიტაზე დედამიწის გარშემო ისე, რომ არც ზედ ეცემა და არც მიფრინავს მისგან? რატომ გარემოიქცევიან მზის ირგვლივ პლანეტები, მათ შორის დედამიწაც, და არსად კი არ მიფრინავენ?

ნიუტონი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ ორივე შემთხვევაში მოქმედებს ერთი და იგივე ძალა — სხეულთა ურთიერთმიზიდულობა. ძველი და შუა საუკუნეების მეცნიერები შეცდომით ფიქრობდნენ, თითქოს ყველა სხეული მიისწრაფვის დედამიწისკენ, როგორც სამყაროში ყველაზე მძიმე სხეულისაკენ. მათ არ ესმოდათ, რომ თვით დედამიწასაც სხვა სხეულები მიიზიდავენ; არ იცოდნენ, რომ დედამიწა ყველაზე მძიმე კი არაა, მხოლოდ ერთი პლანეტათაგანია, და რომ მისი მასა წარმოუდგენლად მცირეა არა მარტო მზის, არამედ იუპიტერისა და სატურნის მასასთან შედარებითაც კი. ახლა ნიუტონის დასკვნების შედეგად გამოირკვა, რომ ყველა სხეული იზიდავს ერთმანეთს. უფრო მეტიც, სხეულთა მიზიდულობის ძალა ემორჩილება გარკვეულ რაოდენობრივ კანონზომიერებებს, კერძოდ, მიზიდულობის ძალა პირდაპირ პროპორციულია მიმზიდველ სხეულთა მასების და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

ნიუტონმა მაშინვე როდი შეძლო გამოეთვალა მიზიდულობის ძალთა რაოდენობრივი კანონზომიერებანი. ამას მრავალი წლის გულმოდგინე ფიქრი და გამოთვლები დასჭირდა, რის შემდეგაც ცხადი გახდა, რომ მთვარეს თავის ორბიტაზე დედამიწის მიზიდულობის ძალა აჩერებს, ხოლო პლანეტებს, მათ შორის დედამიწასაც — მზის მიზიდულობის მძლავრი ძალა. მიზიდულობა ყოველთვის ისე მოქმედებს, როგორც ნიუტონმა დაამტკიცა — სხეულთა მასისა და მათ შორის მანძილის შესაბამისად. ყოველ შემთხვევაში, ნიუტონმა მიზიდულობის კანონი მზის სისტემისათვის აღმოაჩინა. მაშინ ჯერ კიდევ არ იყო შესაძლებელი გამოერკვიათ, მოქმედებს თუ არა ეს კანონი სამყაროს სხვა სივრცეებში, მზის სისტემის საზღვრებს გარეთ. ეს მოგვიანებით გამოარკვიეს, როცა ორჯერადი ვარსკვლავები აღმოაჩინეს — ორი (ზოგჯერ სამი, ოთხი და მეტი) ვარსკვლავისაგან შემდგარი სისტემა, რომელთა შორის ერთი, უფრო დიდი, „მთავარია“, მეორე (ან სხვები) კი — მისი თანამგზავრი. „მთავარი“ ვარსკვლავებისა და მათი თანამგზავრების მოძრაობის შესწავლამ საშუალება მოგვცა დაგვედგინა, რომ მიზიდულობის ძალა ვარსკვლავთა სამყაროშიც მოქმედებს. ამრიგად, მან სავსებით დაიმსახურა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის სახელი.



ედმუნდ ჰალეი.

ნიუტონის უმცროსი თანამედროვე და თანამემამულე ედმუნდ ჰალეი (1656 — 1742), ჯერ კიდევ სრულიად ახალგაზრდა, ვარსკვლავებზე დაკვირვების მიზნით წმ. ელენეს კუნძულზე გაემგზავრა. ეს იყო პირველი სისტემატური დაკვირვებანი დედამიწის სამხრეთ ნახევარსფეროს ვარსკვლავიერ ცაზე.

მოგვიანებით, როცა მატიანეთა და ისტორიული დოკუმენტების დახმარებით გასულ საუკუნეებში კომეტების გამოჩენის საკითხი შეისწავლა, ჰალეიმ აღმოაჩინა, რომ 1456, 1531, 1607 და 1682 წლებში შენიშნული კომეტები ერთი და იმავე გზით უახლოვდებოდნენ და შორდებოდნენ მზეს. ჰალეიმ გამოიტანა დასკვნა, რომ ოთხივე შემთხვევაში შენიშნული იყო ერთი და იგივე კომეტა, რომ ის მზის ირგვლივ გარემოიქცევა და სრულ ბრუნვას 75 — 76 წლის განმავლობაში ასრულებს.

მანამდე მიაჩნდათ, რომ კომეტები სამყაროს სივრცის შორეული სიღრმიდან მოდიან და ჩასშივე

უჩინარდებიან. ჰალეის აღმოჩენის შედეგად პირველად გაირკვა, რომ კომეტები მზის სისტემის ისეთივე წევრები, მზის ისეთივე თანამგზავრები არიან, როგორც პლანეტები. ჰალეის კომეტის (ასე დაერქვა კომეტას, რომლის მოძრაობასაც მეცნიერი შეისწავლიდა) მიმართ ეს აღმოჩენა 1759 წელს, მისი მორიგი გამოჩენის შემდეგ, დადასტურდა. სწორედ ეს წელი იწინასწარმეტყველა ჰალეიმ. მრავალი სხვა კომეტისათვის ჰალეის აღმოჩენა მოგვიანებით დადასტურდა.

ჰალეის მთელ რიგ აღმოჩენებს 1718 წელს კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი აღმოჩენა მიემატა. ჰალეი ჰიპარქესა და ტიხო ბრაჰეს ვარსკვლავთა კატალოგებს სწავლობდა და ამ კატალოგებში მოცემულ ცნობებს ცაზე ცალკეული ვარსკვლავის მდებარეობის შესახებ თავისი დროის დაკვირვებებს ადარებდა. შედარებისას ჰალეიმ აღმოაჩინა, რომ ამ ვარსკვლავებს ადგილმდებარეობა შეცვლილი ჰქონდათ, მაგრამ ადგილის ეს შეცვლა არ შეიძლებოდა ადრინდელი დამკვირვებლების მიერ დაშვებული შეცდომის შედეგი ყოფილიყო. ამიტომ ჰალეი მივიდა ერთადერთ სწორ დასკვნამდე: ვარსკვლავები გაუნძრევლად კი არ არიან სივრცეში, არამედ მოძრაობენ. მართალია, ჰალეიმ მხოლოდ სამი ვარსკვლავის — სირიუსის, არქტურისა და ალდებარანის მოძრაობა დაადგინა, მაგრამ შემდგომში აღმოჩნდა, რომ სხვა ვარსკვლავებიც და, მათ შორის მზეც, მოძრაობენ.

ამრიგად, XVII საუკუნეში და XVIII საუკუნის დასაწყისში ასტრონომიამ დიდ წარმატებას მიაღწია. ცნობილი გახდა მზის სისტემის აგებულება და აღმოაჩინეს კანონები მასში ციური სხეულების მოძრაობის შესახებ. უკვე ეჭვს არ იწვევდა, რომ მზე განუზომელი ვარსკვლავთ სამყაროს ერთი ვარსკვლავთაგანია. მაგრამ ეს ვარსკვლავთა სამყაროს შესწავლის მხოლოდ დასაწყისი იყო.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

XVII ს. დასაწყისში გერმანელმა მეცნიერმა იოჰან კეპლერმა მოგვცა პლანეტების მოძრაობის საერთო სურათი და დაადგინა მათი ორბიტების ფორმა, მაგრამ პლანეტების მოძრაობის მიზეზის გამორკვევა მაინც ვერ მოახერხა.

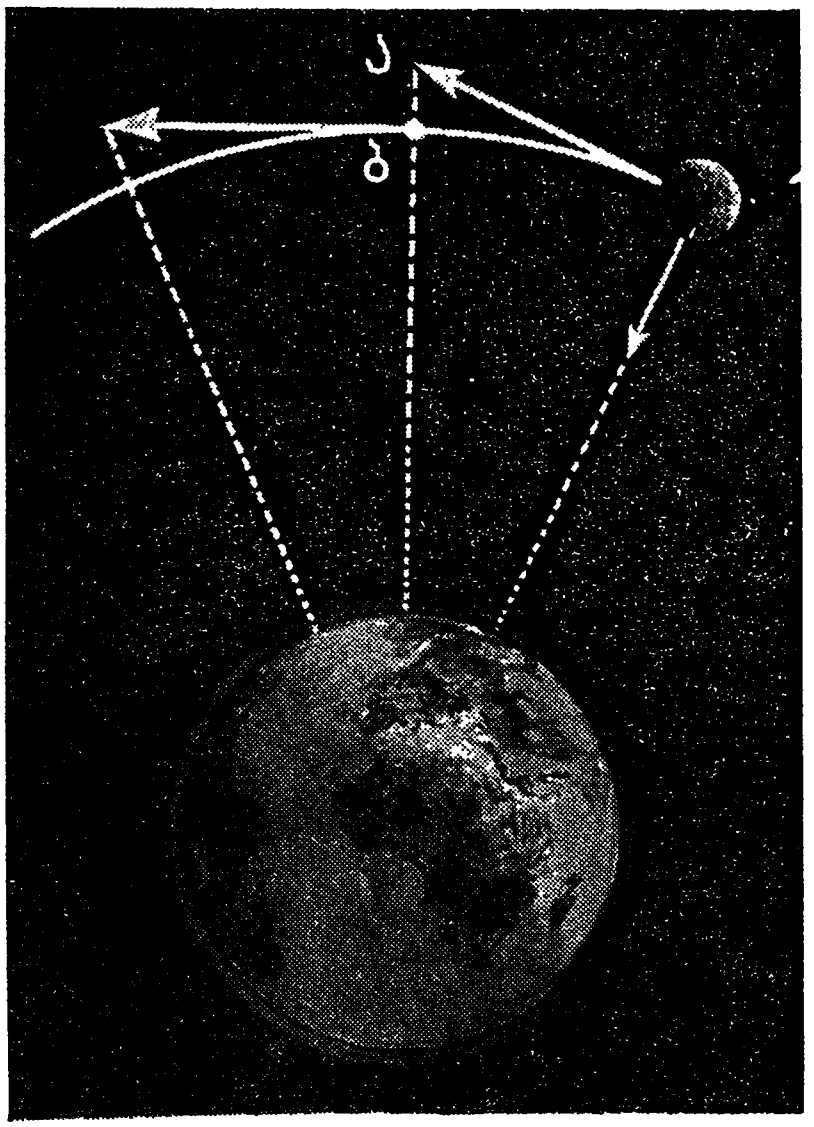
კეპლერი მზეს გიგანტურ მაგნიტს ადარებდა და დასაშვებად მიაჩნდა მოსაზრება, რომ პლანეტები მოძრაობენ თავიანთ ორბიტებზე მზის მაგნიტური მოქმედების შედეგად. ამის შესახებ სხვა მეცნიერებიც სხვადასხვაგვარ ვარაუდებს გამოთქვამდნენ. პლანეტათა მამოძრავებელი ძალის ახსნა მოგვცა ნიუტონმა. ამისათვის მან ინერციისა და კეპლერის კანონები გამოიყენა (იხ. გვ. 196). ინერციის კანონის თანახმად ყოველი სხეული ინარჩუნებს უძრაობის ან თანაბარ სწორხაზოვანი მოძრაობის მდგომარეობას, ვიდრე რაიმე ძალა არ გამოიყვანს მას ამ მდგომარეობიდან. ხანგრძლივი კვლევის შედეგად ნიუტონმა აღმოაჩინა, რომ პლანეტების მოძრაობას მართავს მიზიდულობის ძალა, რომელიც უკუპროპორციულია მანძილის კვადრატისა. ეს ნიშნავს, რომ თუ, მაგალითად, დედამიწასა და მთვარეს შორის მანძილი ორჯერ გაიზრდება, მაშინ მიზიდულობის ძალა მათ შორის შემცირდება ორის კვადრატჯერ ($2^2 = 2 \times 2$), ე. ი. ოთხჯერ, მანძილის სამჯერ გაზრდით მიზიდულობის ძალა შემცირდებოდა სამის კვადრატჯერ ($3^2 = 3 \times 3$), ე. ი. ცხრაჯერ და ა. შ.

ნიუტონმა ეს არა მარტო თეორიული გაანგარიშებით დაამტკიცა, არამედ ცდების შედეგებთან შედარების გზითაც. ცნობილია, რომ თავისუფლად ვარდნილი სხეული (მაგალითად, სხეული, რომელიც ვარდება ჰაერამოტუმბულ გრძელ მინის მილში) უშუალოდ დედამიწის ზედაპირთან პირველ წამში გადის 4,9 მეტრს. მთვარე, როგორც უკვე ცნობილი იყო ნიუტონისათვის, დედამიწის სფეროს ცენტრიდან დედამიწის 60 რადიუსის ტოლ მანძილზე, ე. ი. 60-ჯერ უფრო შორს იმყოფება, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე არსებული სხეული. ამიტომ, დედამიწის მიმართულებით თავისუფლად ვარდნისას, მთვარემ პირველ წამში უნდა გაიაროს არა 4,9 მ, არამედ 60-ის კვადრატჯერ ($60^2 = 3600$) უფრო ნაკლები მანძილი, ე. ი. 1,36 მმ. მაშასადამე, მთვარე, ნიუტონის თეორიის მიხედვით, უნდა ჩამოვარდნილიყო დედამიწის მიმართულე-

ბით და პირველ წამში დაახლოებით 1,36 მმ-ის ტოლი გზა უნდა გაევლო.

ამგვარად, ნიუტონმა დაასკვნა, რომ დედამიწის მიზიდულობის ძალას ნამდვილად გადმოჰყავს მთვარე მისი სწორხაზოვანი (ინერციით მოძრაობისას) გზიდან ყოველ წამში 1,36 მმ-ით და რომ ეს ორი მოძრაობა (ერთი — დედამიწისაკენ მიზიდულობის ძალის მოქმედების გავლენით, მეორე — ინერციით) იკრიბება და შედეგად გვაძლევს მთვარის მრუდხაზოვან მოძრაობას დედამიწის ირგვლივ. მთვარეს — წერს ნიუტონი — დედამიწა მიიზიდავს და მიზიდულობის ძალის გავლენით განუწყვეტლივ გადაიხრება სწორხაზოვანი მოძრაობიდან ისე, რომ თავის ორბიტაზე რჩება.

აღმოჩნდა, რომ მიზიდულობის კანონი მარტო



დედამიწა რომ არ იზიდავდეს მთვარეს, მაშინ მთვარე გაფრინდებოდა სამყაროს სივრცეში ა წერტილის მიმართულებით. დედამიწის მიზიდულობის ძალას მთვარე გადაჰყავს სწორხაზოვანი გზიდან და ამოძრავებს გარკვეულ რკალზე ბ წერტილის მიმართულებით.

მთვარის მოძრაობას კი არ განსაზღვრავს, არამედ მზის სისტემის ყველა ციური სხეულის მოძრაობასაც.

ეს გამოკვლევა ნიუტონს დაუბრკოლებლად არ ჩაუტარებია. რადგან პლანეტები გიგანტურ სფეროსებრ სხეულებს წარმოადგენენ, ძალიან ძნელი იყო განსაზღვრა, როგორ მიიზიდავენ ისინი ერთმანეთს. ბოლოს და ბოლოს ნიუტონმა მოახერხა დაემტკიცებინა, რომ სფეროსებური სხეულები ისე მიიზიდავენ ერთმანეთს, თითქოს თვითეულის მთელი მასა მათ ცენტრში იყოს თავმოყრილი.

დედამიწის სფეროს ცენტრიდან დედამიწის ზედაპირზე მყოფ სხეულებამდე და მთვარემდე მანძილების თანაფარდობის მოსაძებნად საჭირო იყო დედამიწის რადიუსის სიგრძის ზუსტი ცოდნა. დედამიწის ზომები მაშინ ჯერ კიდევ არ იყო ზუსტად დადგენილი და ნიუტონმა, როგორც შემდეგ გამოირკვა, თავისი გამოთვლებისათვის გამოიყენა დედამიწის სფეროს რადიუსის არაზუსტი სიდიდე, რომელიც ჰოლანდიელმა მეცნიერმა სნელიუსმა მოგვცა. მცდარი შედეგებით განაწყენებულმა ნიუტონმა გადადო ეს სამუშაო.

რამდენიმე წლის შემდეგ ნიუტონი დაუბრუნდა თავის გამოთვლებს. ამის საბაბი გახდა ლონდონის სამეფო საზოგადოებაში[1] მოსული ცნობა იმის შესახებ, რომ გამოჩენილმა ფრანგმა ასტრონომმა პიკარმა უფრო ზუსტად განსაზღვრა დედამიწის რადიუსის სიდიდე. პიკარის მონაცემებზე დაყრდნობით ნიუტონმა ხელახლა შეასრულა მთელი სამუშაო და თავისი ვარაუდის სისწორე დაამტკიცა.

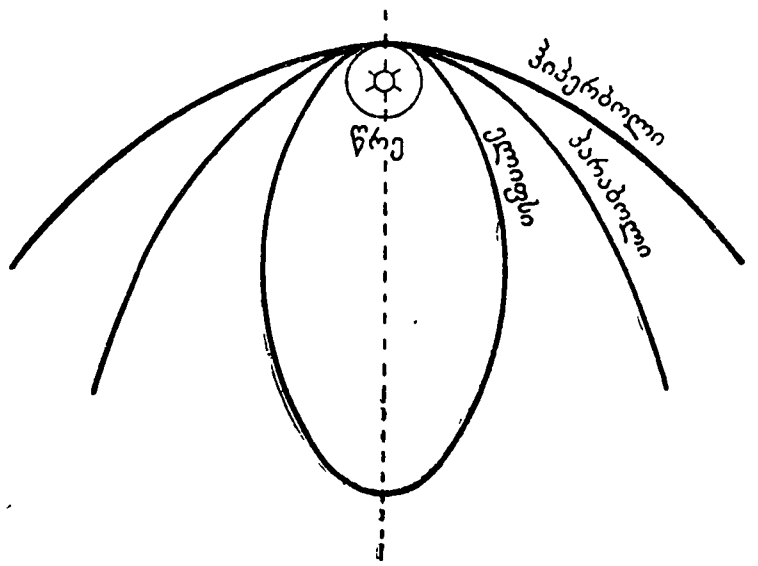
მაგრამ ამის შემდეგაც ნიუტონს დიდხანს არ გამოუქვეყნებია თავისი შესანიშნავი აღმოჩენა, ცდილობდა ყოველმხრივ შეემოწმებინა იგი და ამ კანონს მზის ირგვლივ პლანეტების მოძრაობისა და იუპიტერისა და სატურნის თანამგზავრთა მოძრაობების შესასწავლად იყენებდა. დაკვირვების შედეგად მიღებული მონაცემები ყოველთვის თეორიას ემთხვეოდა.

ნიუტონმა ეს კანონი კომეტების მოძრაობის მიმართ გამოიყენა და დაამტკიცა, რომ თეორიულად შესაძლებელია პარაბოლური მოძრაობა. მისი ვარაუდით კომეტები მოძრაობენ ან ძალიან გაწელილ

[1] ლონდონის სამეფო საზოგადოება — ინგლისის მეცნიერებათა აკადემია.

ელიფსებზე ან გაშლილ მრუდებზე — პარაბოლებზე.

მიზიდულობის კანონზე დაყრდნობით მან ერთბანეთს შეადარა მზის, დედამიწისა და პლანეტების ბასები და ეს კანონი ახალი დებულებით შეავსო: ორი სხეულის მიზიდულობის ძალა არა მხოლოდ ბათ შორის არსებულ მანძილზეა დამოკიდებული,



კომეტები მოძრაობენ ორბიტებზე, რომელთაც ელიფსის, ჰიპერბოლის ან პარაბოლის ფორმა აქვთ.

არამედ მათ მასებზეც. ნიუტონმა დაამტკიცა, რომ ორი სხეულის მიზიდულობის ძალა პირდაპირ პროპორციულია მათი მასებისა, ე. ი. ეს ძალა მით უფრო მეტია, რაც მეტია ურთიერთმიმზიდველ სხეულთა მასები.

მიწიერი საგნებიც აგრეთვე იზიდავენ ერთმანეთს, რაც ძალიან ზუსტი ცდებით დასტურდება.

ერთმანეთს იზიდავენ ადამიანებიც. ცნობილია, რომ ერთმანეთისაგან ერთი მეტრით დაშორებული ორი ადამიანი ერთმანეთს დაახლოებით მილიგრამის ერთი მეორმოცედი ნაწილის ძალით იზიდავს. დედამიწის ზედაპირზე მყოფი ადამიანი დედამიწას თავისი წონის ტოლი ძალით იზიდავს.

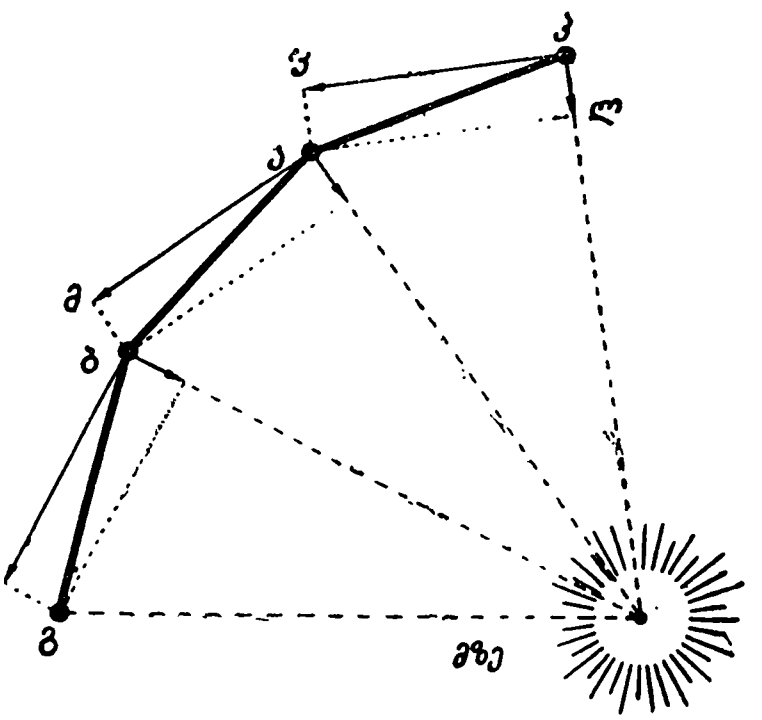
ნიუტონის აღმოჩენამ შექმნა სამყაროს ახალი სურათი, რომლის თანახმადაც მზის სისტემაში უზარმაზარი სიჩქარით მოძრაობენ ერთმანეთისაგან უშორეს მანძილებზე მყოფი პლანეტები, მაგრამ ურთიერთმიზიდულობის ძალის შემწეობით ისინი ერთ სისტემად არიან შეკავშირებულნი. ნიუტონის მიერ აღმოჩენილ კანონს მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ეწოდა. იგი ბუნების უდიდესი და მარადიული კანონია. საბოლოო სახით იგი შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს: ყოველი სხეული იზიდავს სხვა სხეულს ძალით, რომელიც პირდაპირ პროპორციულია ამ სხეულების მასისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი მათემატიკურად შემდეგი ფორმულით გამოიხატება:

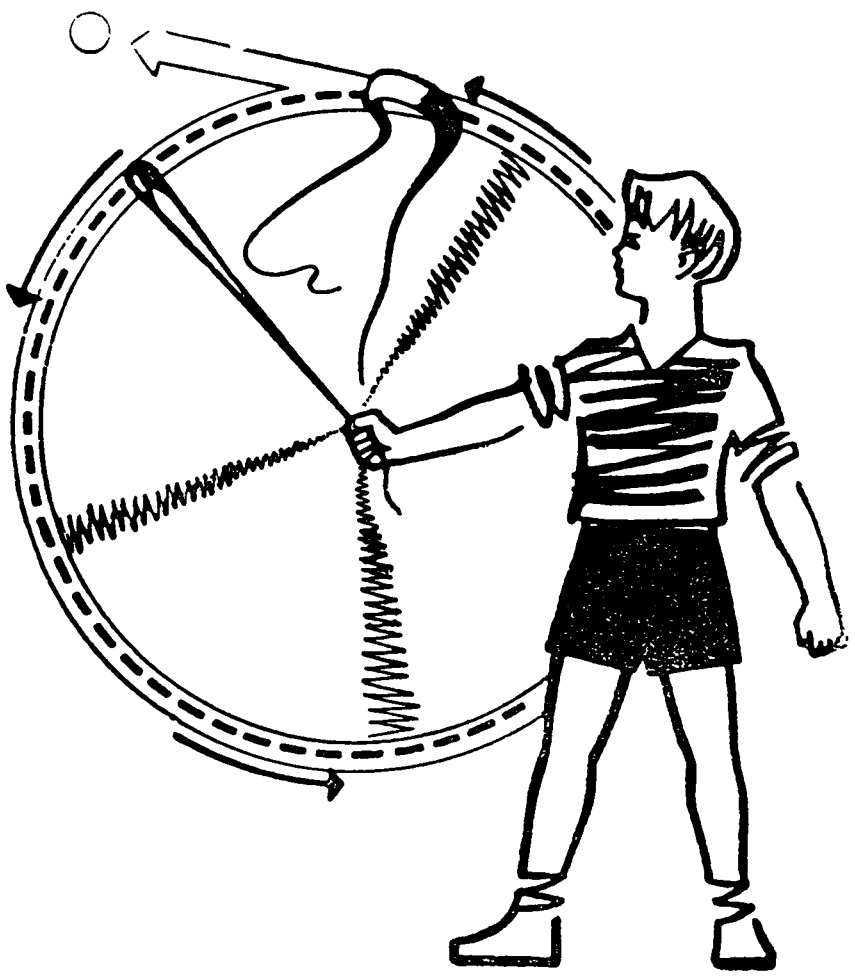
$$F = f\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

სადაც f მიზიდულობის მუდმივაა; m_1 და m_2 — ორი სხეულის მასა, r კი მათ შორის მანძილი.

მზე თავისი მიზიდულობით აკავებს პლანეტებს თავიანთ ორბიტებზე. ასე რომ არ ყოფილიყო, მაშინ პლანეტა პ (იხ. სურ.), რომელიც, მაგალითად, პპ მიმართულებით მოძრაობს, სწორხაზობრივად და თანაბრად (ინერციის კანონის მიხედვით) იმოძრავებდა. პირველ წამში ის პ წერტილიდან კ წერტილში გადაინაცვლებდა და ბოლოს დატოვებდა ჩვენს მზის სისტემას. პირიქით, პლანეტას რომ საკუთარი სიჩქარე არ ჰქონოდა და მხოლოდ მზისკენ მიზიდულობა განეცადა, მაშინ იგი პირველ წამში პ წერტილიდან ლ წერტილში გადაინაცვლებდა; მაგრამ, რადგანაც პლანეტას ერთდროულად მზეც მიიზიდავს და მოძრაობს კიდევაც, ამიტომ იგი პა მიმართულებით გადაინაცვლებს. მაშასადამე, პლანეტა პირველი წამის ბოლოს არც



პლანეტის მოძრაობის სქემა მზის მიზიდულობის ძალის გავლენით.



თუ ჩვენს გარშემო დავატრიალებთ ზონარს, რომლის ერთ ბოლოზე ტვირთია მიმაგრებული, ზონარი დაიჭიმება და ტვირთს შეაკავებს. თუ ზონარი ხელიდან გაგვისხლტა, მაშინ ის ტვირთთან ერთად შორს გაიტყორცნება. მსგავსი რამ დაემართება დედამიწასაც, მზემ რომ მიზიდულობის ძალა დაკარგოს.

.

პ წერტილში იქნება, არც ლ წერტილში, არამედ გადაინაცვლებს დიაგონალის გასწვრივ ა წერტილში. მსგავსი მსჯელობით ჩვენ დავასკვნით, რომ პლანეტა მეორე წამში გადაინაცვლებს ბ წერტილში, მესამე წამში გ წერტილში და ა. შ.

აი, თურმე რა ძალა აკავებს პლანეტებს, მათ შორის დედამიწასაც, თავიანთ ორბიტებზე და აიძულებს მათ იმოძრაონ მზის ირგვლივ.

ალბათ ბევრ თქვენგანს ჰქონია ასეთი შემთხვევა: ხელში გიჭირავთ ზონრის ერთი ბოლო და ამავე ზონრის მეორე ბოლოზე მიბმულ ქვას თქვენს გარშემო ატრიალებთ. ბრუნვის დროს ზონარი დაიჭიმება, მაგრამ, თუ იგი უცბად ხელიდან გაგისხლტათ, მაშინვე ქვასთან ერთად შორს გადავარდება. მსგავსი რამ მოუვა პლანეტებსაც და მათ რიცხვში დედამიწასაც, უეცრად მზის მიზიდულობა რომ შეწყდეს. მაგრამ ეს არ შეიძლება მოხდეს, რადგანაც მიზიდულობა ყველა სხეულის განუყრელი თვისებაა და ამიტომ მზის მიზიდულობის შეჩერება შეუძლებელია. მზის მიზიდულობის ძალა შოქმედებს უწყვეტად, მუდმივად, და, მაშასადამე, პლანეტებს მსგავსი კატასტროფა არ შეიძლება ემუქრებოდეს. მზე თავისი მიზიდულობის ძალით ყოველთვის აკავებს პლანეტებს საშუალოდ ერთსა და იმავე მანძილზე, ისე როგორც ზონრის დაჭიმვა აკავებს ქვას.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონის აღმოჩენით საფუძველი ჩაეყარა ასტრონომიის ახალ დარგს — ც ი ს მ ე ქ ა ნ ი კ ა ს, რომელიც პლანეტების მოძრაობას შეისწავლის.

თავისი ძირითადი დასკვნები ნიუტონმა ჩამოაყალიბა დიდ შრომაში, რომელიც გამოქვეყნდა 1687 წ. სათაურით „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“. ნიუტონის ეს დიდებული შრომა თარგმნა აკადემიკოსმა ა. კრილოვმა და რუსულ ენაზე 1915 წ. გამოიცა.

ასტრონომიის განვითარებამ ცხადყო, რომ ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონი წარმართავს არა მარტო პლანეტების, კომეტებისა და მზის სისტემის სხვა სხეულების მოძრაობას, არამედ ირმის ნახტომის შორეულ სიღრმეებში მიმოფანტული ვარსკვლავების მოძრაობასაც.

როცა XVIII ს. ბოლოს სულ ცოტა ხნის წინ აღმოჩენილ პლანეტა ურანის მოძრაობაში უწესრიგობა შეამჩნიეს, გამოითქვა აზრი, რომ იგი გამოწვეულია მზიდან უფრო მეტად დაშორებული უცნობი პლანეტის მიზიდულობით. წამოიჭრა ამოცანა: მსოფლიო მიზიდულობის კანონზე დაყრდნობითა და მათემატიკური გამოთვლების დახმარებით მოეძებნათ ეს პლანეტა.

ამ ამოცანის გადაწყვეტას ხელი მოჰკიდეს ფრანგმა ასტრონომმა ურბენ ლევერიემ (1811 — 1877) და ინგლისელმა მეცნიერმა ჯონ ადამსმა (1819 — 1892), რომელსაც უნივერსიტეტი ახალი დამთავრებული ჰქონდა. ურთულესი გამოთვლების შედეგად ორივემ მიუთითა ის ადგილი, სადაც უნდა ეძებნათ ეს პლანეტა.

ადამსმა მის მიერ ჩატარებული გამოთვლები გადასცა თავის პროფესორს, რომელმაც ნაშრომს არავითარი მნიშვნელობა არ მიანიჭა და უყურადღებოდ დატოვა. ლევერიემ კი თავისი გამოთვლები მაშინვე გაუგზავნა გერმანელ ასტრონომს გალეს.

1846 წ. სექტემბერში გალემ მიიღო ლევერიეს წერილი და იმავე საღამოს ტელესკოპის დახმარებით თითქმის იმ ადგილზე, სადაც ლევერიე მიუთითებდა, აღმოაჩინა პლანეტა ნეპტუნი.

ნეპტუნის აღმოჩენა იმის ნათელი მაგალითია, თუ რამდენად საფუძვლიანი შეიძლება იყოს მეცნიერული წინასწარხედვა. აქ დროულია, გავიხსენოთ ვ. ი. ლენინის სიტყვები: „სასწაულებრივი წინასწარმეტყველება ზღაპარია, მაგრამ მეცნიერული წინასწარმეტყველება ფაქტია“.

მოქცევები და უკუქცევები

ზღვებისა და ოკეანეების სანაპიროებზე მცხოვრებნი ყოველდღე ხედავენ ბუნების ძალზე საინტერესო მოვლენას — ნაპირებთან წყლის დონის პერიოდულ ამაღლებასა და დაწევას.

ზღვებსა და ოკეანეებში წყლის ასეთ პერიოდულ ცვალებადობას მ ო ქ ც ე ვ ე ბ ი და უ კ უ ქ ც ე ვ ე ბ ი ეწოდება.

ყველაზე უფრო მეტად მოქცევები და უკუქცევები ოკეანეებისა და ღია ზღვების ნაპირებთან შეინიშნება. აქ ხშირად ასეთ სურათს ნახავთ: დღე-ღამის, უფრო სწორად 24 საათისა და 50 წუთის, განმავლობაში ნაპირებთან წყლის დონე ორჯერ იწევს და ორჯერ იკლებს. წყლის უდაბლესი დონიდან უმაღლესამდე აწევა ხდება თანდათან, ჯერ ნელა, მერე კი სულ უფრო და უფრო სწრაფად. იგი საშუალოდ 6 საათსა და 12,5 წუთს გრძელდება. ამის შემდეგ იწყება წყლის დონის დაცემა, რაც აგრეთვე საშუალოდ 6 საათსა და 12,5 წუთს გრძელდება.

დღე-ღამის განმავლობაში მოცემულ აღგილას ორი მოქცევიდან ერთ-ერთი სწორედ მას შემდეგ იწყება, როცა მთვარე ცაზე უმაღლეს მდებარეობას (ზედა კულმინაციას) მიაღწევს. ამ მოვლენას ადამიანები უძველესი დროიდან აკვირდებოდნენ, ხედავდნენ იმასაც, რომ მოქცევის ორმაგი პერიოდი (24 საათი 50 წუთი) ემთხვეოდა დედამიწის ირგვლივ მთვარის ხილული მოძრაობის პერიოდს. ამიტომ ჯერ კიდევ უძველეს ხანაში მოქცევებსა და უკუქცევებს ხალხი მთვარეს უკავშირებდა. მართლაც, მოქცევათა ძირითადი მიზეზი, როგორც ნიუტონმა პირველად აღნიშნა, მთვარის მიერ დედამიწის მიზიდვაა, უფრო სწორად სხვაობაა, ერთი მხრივ, მთვარის მიერ დედამიწის მთლიანად მიზიდვასა და, მეორე მხრივ, მისი წყლის გარსის მიზიდვას შორის. რამდენიმე სიტყვით რომ ვთქვათ, ნიუტონის თეორია ასე ხსნის მოქცევებსა და უკუქცევებს.

მთვარის მიზიდულობა მის მიერ დედამიწის ცალკეული ნაწილაკების მიზიდვისაგან შედგება. ნაწილაკები, რომლებიც მოცემულ დროს უფრო ახლოს არიან მთვარესთან, შედარებით ძლიერად მიიზიდებიან, ხოლო შორეულები — უფრო სუსტად. დედამიწა რომ აბსოლუტურად მყარი იყოს, მაშინ მისი ნაწილების მიზიდვის ძალთა შორის სხვაობას არავითარი მნიშვნელობა არ ექნებოდა. მაგრამ დედამიწა არ არის აბსოლუტურად მყარი ციური სხეული. გარდა ამისა, იგი დაფარულია ზღვებითა და ოკეანეებით, რომლებსაც მისი ზედაპირის 71% უჭირავს. ამიტომ დედამიწის ზედაპირთან და მის ცენტრთან ახლოს მდებარე ნაწილაკების მიზიდვათა სხვაობა (მას მოქცევის წარმომშობ ძალას ეძახიან) ამ ნაწილაკებს ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებს და დედამიწა, პირველ ყოვლისა კი მისი წყლის გარსი, ფორმას იცვლის, დეფორმაციას განიცდის.

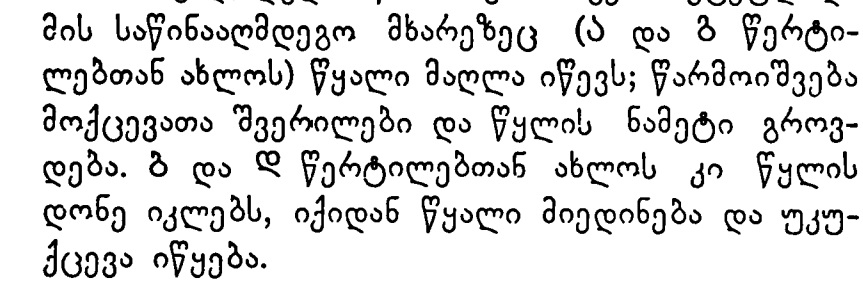
განვიხილოთ ნახ. 1. წყლის ნაწილაკებს, რომლებიც ამ შემთხვევაში მთვარესთან ახლოს მდებარეობენ (ნახატზე ა წერტილთან ახლოს), უფრო ძლიერად მიიზიდავს მთვარე, ხოლო უფრო დაშორებულთ (ბ წერტილთან ახლოს) შედარებით სუსტად, ვიდრე დედამიწის ცენტრში მდებარე ნაწილაკებს. ამიტომ ა წერტილთან ახლოს მყოფი წყლის ნაწილაკები უფრო მეტად ინაცვლებენ ადგილს მთვარის მიმართულებით, ხოლო ბ წერტილთან მდებარენი—უფრო ნაკლებად, ვიდრე დედამიწის ცენტრში მდებარე ნაწილაკები, და დედამიწის წყლის გარსიც დეფორმაციას განიცდის — მთვარის მიმართულებით იჭიმება.

დეფორმაციას განიცდის და მთვარის მიმართულებით იჭიმება დედამიწის მთელი მყარი სხეუ-

ლი, მაგრამ გაცილებით ნაკლებად, რადგან იგი უფრო ბლანტი ნივთიერებისაგან შედგება, ვიდრე წყალი.

ამრიგად, დედამიწის მთვარისაკენ მიქცეულ და მის საწინააღმდეგო მხარეზეც (ა და ბ წერტილებთან ახლოს) წყალი მაღლა იწევს; წარმოიშვება მოქცევათა შვერილები და წყლის ნამეტი გროვდება. ბ და დ წერტილებთან ახლოს კი წყლის დონე იკლებს, იქიდან წყალი მიედინება და უკუქცევა იწყება.

ა და ბ წერტილებთან ახლოს მოქცევათა შვერილები ცდილობენ მთვარის მიმართ ერთი და იგივე მდგომარეობა შეინარჩუნონ. დედამიწა რომ არ ბრუნავდეს, ხოლო მთვარე დედამიწის მიმართ უმოძრაო იყოს, მაშინ დედამიწას თავის წყლის გარსთან ერთად ყოველთვის ერთი და იგივე, მთვარის მიმართულებით გაჭიმული ფორმა ექნებოდა და არავითარი მოქცევები და უკუქცევები არ იქნებოდა. მაგრამ მთვარე გარემოიქცევა დედამიწის ირგვლივ (იმავე მიმართულებით, რა მიმართულებითაც დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო). ამიტომ მოქცევათა შვერილები, თითქოს მთვარეს მიჰყვებაო, ოკეანეებისა და ზღვების ზედაპირზე ადგილს ინაცვლებს. წარმოიშვება ე. წ. მოქცევის ტალღა (უფრო სწორად, ორი ტალღა დედამიწის ურთიერთსაწინააღმდეგო წერტილებში). თავის მხრივ დედამიწის ბრუნვას ზღვებისა და ოკეანეების სულ ახალ-ახალი უბნები შეჰყავს მოქცევის ზოლში. ამიტომ მოქცევები თითქოს ერთმანეთს მისდევენ დედამიწის ზედაპირზე. წყლის



ნახ. 1. მოქცევის სქემა.

დონის ამამაღლებელი მოქცევის ტალღა ოკეანის ყოველ წერტილში დღე-ღამეში ორჯერ გადის.

ღია ოკეანეში მოქცევის ტალღის გავლისას წყლის დონე უმნიშვნელოდ მაღლდება, საშუალოდ რამდენიმე ათეული სანტიმეტრით, რაც შეუმჩნეველი რჩება გემზე მყოფი ხალხისათვის. მაგრამ ნაპირთან წყლის დონის ასეთი ამაღლებაც შესამჩნევია. გარდა ამისა, ნაპირთან, განსაკუთრებით კი ვიწრო ყურესა და უბეში, წყლის დონე მნიშვნელოვნად მაღლდება, ვიდრე ღია ოკეანეში, რადგან მატერიკის ნაპირი ხელს უშლის მოქცევის ტალღის მოძრაობას და უკუქცევასა და მოქცევას შორის შუალედის განმავლობაში აქ წყალი გროვდება. ამიტომ ნაპირთან მოქცევა (უფრო სწორად, წყლის დონის სხვაობა მოქცევისა და უკუქცევის დროს) საშუალოდ 4 — 5 მ აღწევს. ყველაზე დიდი მოქცევა — დაახლოებით 18 მ — კანადის სანაპიროს ერთ-ერთ ყურეში შეინიშნება. საბჭოთა კავშირში უდიდესი მოქცევა — დაახლოებით 13 მ — შეიძლება ვნახოთ ოხოტის ზღვის გიჟიგინისა და პენჟინის ყურეებში.

შიდა ზღვებში, მაგალითად, ბალტიისა და შავ ზღვებში, მოქცევა და უკუქცევა ძალზე მცირეა და თითქმის შეუმჩნეველიც. ეს იმიტომ ხდება, რომ უკუქცევიდან მოქცევამდე გასულ დროში ოკეანის მოქცევის ტალღასთან ერთად მოძრავი წყლის რამდენადმე მნიშვნელოვანი მასა ვერ ასწრებს ვიწრო სრუტეში გავლას, რომელიც შიდა ზღვას ოკეანესთან აერთებს. მართალია, ყოველ დახურულ ზღვაში და ტბაშიც კი წარმოიშვება დამოუკიდებელი მოქცევის ტალღა და წყლის მასების ადგილმონაცვლეობა, მაგრამ რაც უფრო პატარაა ზღვა ან ტბა, მით უფრო ნაკლები წყალი მოძრაობს ერთი ნაპირიდან მეორისკენ და მით უფრო ნაკლებია მოქცევა და უკუქცევა. მაგალითად, ხმელთაშუა ზღვაში მოქცევა 1 — 2 მ აღწევს, შავ ზღვაში კი 10 სმ.

ასეთია მოკლედ მოქცევებისა და უკუქცევების სურათი და მათი წარმოშობის მიზეზები.

მოქცევებისა და უკუქცევების უფრო დაწვრილებით შესწავლისას ძალზე საინტერესო და ძალზე რთული მოვლენები შეინიშნება.

მოცემულ ადგილში სავსე წყლის მომენტი არ ემთხვევა მთვარის კულმინაციას, იგი ყოველთვის იგვიანებს. ეს იმიტომ ხდება, რომ ოკეანის ფსკერზე წყლის ხახუნი და წყლის შიდა ხახუნი რამდენადმე აფერხებს მოქცევის ტალღის მოძრაობას და ის, ასე ვთქვათ, ვერ ეწევა მთვარეს. მოქცევის ტალღა ოკეანეში მოცემულ პუნქტს მხოლოდ მთვარის კულმინაციიდან გარკვეული დროის გავლის შემდეგ აღწევს. ასე რომ, დედამიწის ურთიერთსაწინააღმდეგო მხარის მოქცევის შვერილებზე გავლე-

ბული სწორი ხაზი გადის დედამიწის ცენტრიდან მთვარისაკენ აღებული მიმართულების აღმოსავლეთით (ნახ. 2).

მოცემულ ადგილზე მოქცევის დაგვიანების სიდიდეს მთვარის კულმინაციის მომენტთან შედარებით „ნამატი საათი“ ეწოდება. „ნამატი საათი“ სხვადასხვა ადგილას სხვადასხვაა, რადგან იგი დამოკიდებულია ფსკერისა და ნაპირების რელიეფის თავისებურებებზე. მაგალითად, ოსტენდეში (ბელგია) „ნამატი საათი“ საშუალოდ 25 წუთს უდრის, გიბრალტარში — 1 საათსა და 47 წუთს, ბრესტში (საფრანგეთი) — 3 საათსა და 46 წუთს, თეთრი ზღვის ზოგიერთ ყურეში — 5 საათს და ა. შ.

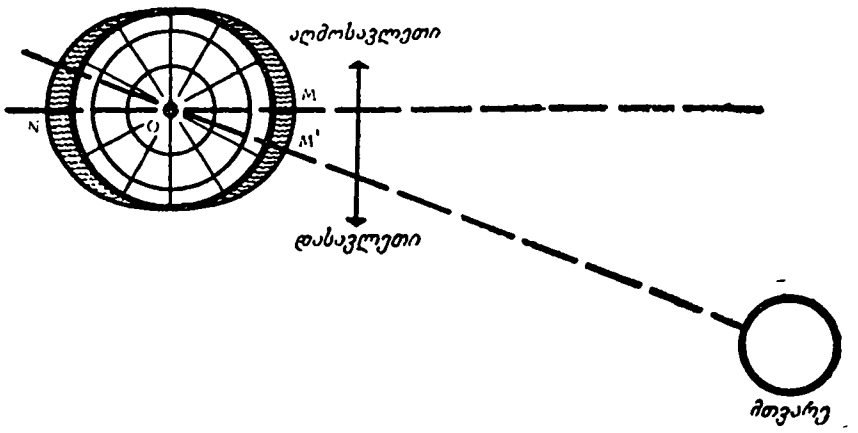
ერთსა და იმავე ადგილას მოქცევათა სიმაღლე დღითი დღე იცვლება. ეს იმიტომ ხდება, რომ მანძილი მთვარიდან დედამიწამდე და მთვარის სიმაღლე ჰორიზონტიდან მოცემული ადგილისათვის კულმინაციის მომენტში გამუდმებით იცვლება. ამასთან დაკავშირებით სულ მუდამ იცვლება მოქცევათა წარმომშობი ძალის სიდიდეც. მოქცევის წარმომშობი ძალისათვის, რომელიც მთვარის კულმინაციის მომენტში დედამიწის ზედაპირზე მასის ერთეულზე მოქმედებს, არსებობს ასეთი ფორმულა.

$$F = 2f\frac{MR}{r^3}\sqrt{1-\frac{3}{4}\cos^2 h},$$

სადაც f არის მიზიდულობის მუდმივა, M — მთვარის მასა, R — დედამიწის რადიუსი, r — მანძილი მთვარიდან დედამიწამდე, h — მთვარის სიმაღლე ჰორიზონტიდან კულმინაციის მომენტში.

ერთი თვის განმავლობაში მანძილი მთვარიდან დედამიწამდე დაახლოებით $r=365$ ათას კილომეტრიდან $r=405$ ათას კილომეტრამდე იცვლება, მოქცევის წარმომშობი ძალა კი დაახლოებით 1,4-ჯერ. მთვარის სიმაღლე ჰორიზონტიდან კულმინაციის მომენტში ერთი თვის მანძილზე საშუალოდ 47°-ით იცვლება; ამასთან, ცვლილებათა ეს ამპლიტუდა მერყეობს დაახლოებით 19 წლის პერიოდით 37°-დან 57°-მდე. ეს იწვევს მოქცევისა და უკუქცევის სიმაღლის როგორც თვიურ, ისე დაახლოებით 19 წლის პერიოდიან მერყეობას.

შესამჩნევ მოქცევით გავლენას ახდენს დედამიწაზე მზეც იმავე მიზეზით, როგორითაც მთვარე. თუმცა მზე მთვარესთან შედარებით გაცილებით შორსაა დედამიწიდან (საშუალოდ 389-ჯერ), მაგრამ მისი მასა ბევრად დიდია მთვარის მასაზე



ნახ. 2. *M'* წერტილში მყოფი დამკვირვებლისათვის მთვარე კულმინაციაშია. ამ დროს მოქცევის ტალღის თხემები *MN* ხაზზეა.

(27 მლნ-ჯერ), ამიტომ მისი ზემოქმედებაც დიდია.

სიზიგიების მომენტში (ე. ი. როცა დედამიწა, მთვარე და მზე ერთ სწორ ხაზზე განლაგდებიან) მზისა და მთვარის მოქცევის ტალღები ერთმანეთს ემატება, კვადრატურის მომენტში კი (როცა მიმართულებები დედამიწიდან მთვარისა და მზისაკენ ერთმანეთისგან 90° განსხვავდება) მზის მოქცევის ტალღა რამდენადმე ამაღლებს უკუქცევის დონეს და რამდენადმე ადაბლებს მოქცევისას. ამიტომ, მოქცევათა სიმაღლე სიზიგიების დროს დაახლოებით 2,7-ჯერ მეტია, ვიდრე კვადრატურების დროს.

აქ მოყვანილი იმ ძირითადი მიზეზების გარდა, რომლებიც მოქცევისა და უკუქცევის სიმაღლის რხევას იწვევენ, არსებობს უფრო წვრილმანი მიზეზებიც. ისინი უმთავრესად დაკავშირებული არიან დედამიწის ირგვლივ მთვარისა, და მზის ირგვლივ დედამიწის მოძრაობის თავისებურებებთან.

თეორიულად პლანეტებიც ახდენენ მოქცევით გავლენას, მაგრამ იმდენად მცირეს, რომ მისი შენიშვნა შეუძლებელია.

მოქცევის წარმომშობ ძალთა გავლენით დეფორმაციას განიცდის არა მარტო წყლის გარსი, არამედ დედამიწის მთელი მყარი სხეულიც. ამრიგად, მოქცევის ტალღები დედამიწის მყარ ზედაპირზეც წარმოიშვება. ეს ტალღები სულ არ იქნებოდა, დედამიწა რომ აბსოლუტურად მყარი იყოს და, პირიქით, მეტი იქნებოდა, დედამიწა რომ თხევადი იყოს. ამიტომ, დედამიწის მყარი ზედაპირის

მოქცევის ტალღებზე დაკვირვება დედამიწის ნივთიერების დრეკადობაზე მიუთითებს. ეს დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ დედამიწას თავისი დრეკადობით ფოლადის სფეროს თვისებები აქვს.

მოქცევების წარმომშობი ძალები დედამიწის ჰაერის გარსის დეფორმაციასაც იწვევენ. ეს, უპირველეს ყოვლისა, ატმოსფერული წნევის პერიოდულ რყევაში გამოიხატება. პერიოდულად იცვლება აგრეთვე ატმოსფეროს ზოგიერთი ფენის თვისებებიც.

მოქცევები და უკუქცევები გადააადგილებენ წყლის დიდ მასებს. ადამიანები დიდი ხანია ფიქრობენ, როგორ აიძულონ წყლის ეს მასები, დაატრიალონ ელექტროენერგიის გამომმუშავებელი ტურბინების ბორბლები. უკანასკნელ წლებში ეს საკითხი პრაქტიკულად გადაჭრილია და ახლო მომავალში ადამიანი ფართოდ გამოიყენებს მოქცევებისა და უკუქცევების ენერგიას.

მოქცევითი ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობის პრინციპი მარტივია. ყურეში, სადაც ცოტად თუ ბევრად მნიშვნელოვანი მოქცევები და უკუქცევები შეინიშნება, აიგება კაშხალი, რომელიც ყურეს ნაწილს ოკეანისგან გამოყოფს. მოქცევისა ან უკუქცევის დროს წარმოიშვება ოკეანისა და ყურეს ცალკეულ ნაწილებს შორის წყლის დონის სხვაობა. წყალი საგანგებო არხით კაშხალის გამჭოლად ზევიდან ქვევით დაეშვება და აამოძრავებს იქ დადგმულ ტურბინს. მოქცევით ელექტროსადგურზე მოსახერხებელია ე. წ. რევერსული ტურბინების გამოყენება, რომლებიც ხან ერთ (მოქცევის დროს) და ხან მეორე (უკუქცევის დროს) მხარეს ბრუნავენ.

მოქცევით ჰიდროელექტროსადგურებს აპროექტებენ საფრანგეთში, აშშ-ში, ინგლისსა და მრავალ სხვა ქვეყანაში. საბჭოთა კავშირში დაიწყეს საცდელი მოქცევითი ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა კისლის ყურეში, კოლის ნახევარკუნძულზე.

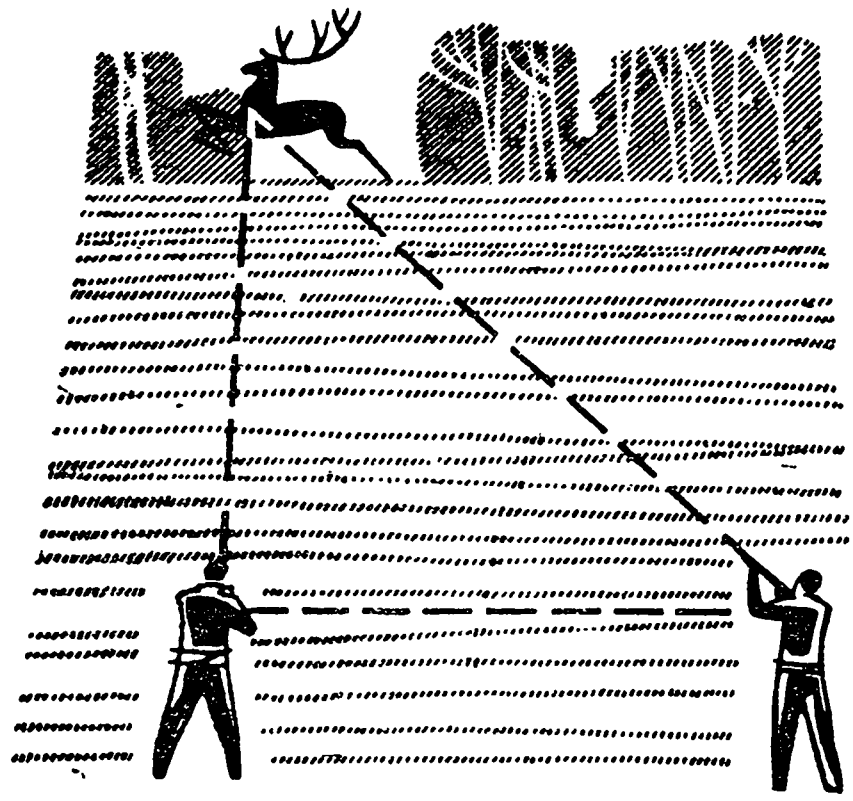
როგორ ზომავენ მანძილებს ციურ მნათობებამდე

ასტრონომები ციურ სხეულებამდე მანძილებს ისევე საზღვრავენ, როგორც არტილერისტები — მიზნამდე მანძილს. რა თქმა უნდა, მანძილი მიზნამდე, ისევე როგორც ყოველგვარი მანძილი დედამიწაზე, სრულიად უმნიშვნელოა ციურ მნათობთა სიშორესთან შედარებით და ასტრონომებიც არტილერისტებისაგან განსხვავებით სულ სხვა ხელსაწყოებით სარგებლობენ, მაგრამ საქმის არსი მაინც ერთი და იგივეა.

როცა რაიმე საგნამდე მანძილის განსაზღვრა უნდათ, მას განიხილავენ ერთდროულად ორი სხვადასხვა ადგილიდან, საიდანაც ეს საგანი სხვადასხვა მიმართულებით ჩანს. თუ ერთმანეთისაგან 10 მ მანძილზე მყოფი ორი ადამიანი თოფებს დაუმიზნებს მათგან 100 მ-ით დაშორებულ ერთსა და იმავე საგანს, მათი თოფები ერთმანეთის პარალელური როდი იქნება, როგორც, მაგალითად, რკინიგზის ლიანდაგებია. მსროლელთა თოფები ერთმანეთთან შეადგენენ კუთხეს, რომელიც მით უფრო მცირე იქნება, რაც უფრო შორს არის მიზანი.

თუ გვეცოდინება მანძილი დამკვირვებელთა შორის და კუთხე მიმართულებებს შორის, რომლითაც ისინი მიზანს ხედავენ, შეიძლება ტრიგონომეტრიის დახმარებით გამოითვალოს მანძილი სამიზნემდე. მეცნიერებიც „უმიზნებენ“ ვარსკვლავებს, მაგრამ, რა თქმა უნდა, არა თოფებს, არამედ ტელესკოპებს. ვარსკვლავებისაკენ ორი ტელესკოპის მიმართულებას შორის კუთხეს საზღვრავენ საგანგებო ხელსაწყოებით რკალის სეკუნდის $^1/_{100}$ ნაწილის სიზუსტით. რკალის ასეთი მცირე ნაწილების ათვლისას ასტრონომები მიკროსკოპებით სარგებლობენ.

ციური მნათობები დედამიწიდან ძალიან შორს არიან. იმისათვის, რომ შენიშნონ განსხვავება იმ მიმართულებებს შორის, რომლებითაც მნათობი ჩანს, მეცნიერები უნდა იმყოფებოდნენ ერთმანეთისაგან მრავალი ათასი კილომეტრის მანძილზე, თორემ კუთხე მიმართულებებს შორის იმდენად მცირე იქნება, რომ მისი გაზომვა ვერ მოხერხდება. მაგალითად, ამ მიზნისათვის ერთი ასტრონომი მნათობს



შეიძლება გაიზომოს მანძილი სამიზნემდე, თუ ცნობილია მანძილი ისრებს შორის და ის კუთხე, რომლითაც სამიზნეს ხედავენ. ასევე განსაზღვრავენ ასტრონომები მანძილს მახლობელ ციურ სხეულებამდე.

ევროპის ჩრდილოეთში აკვირდება, ხოლო მეორე იმავე დროს — სამხრეთ აფრიკაში.

დედამიწის სფეროს ორი დაშორებული წერტილიდან დაკვირვებით ასტრონომებმა განსაზღვრეს მანძილი ჩვენგან უახლოეს ციურ მნათობებამდე: მთვარემდე, მზემდე და პლანეტებამდე.

მაგრამ ყველაზე გულმოდგინე ცდებითაც კი შეუძლებელია ზემოთ აღწერილი წესით ვარსკვლავებამდე მანძილის გაზომვა, რადგან დედამიწის სფეროს დიამეტრი ძალზე პატარაა უახლოეს ვარსკვლავებამდე მანძილებთან შედარებით და მისი ორი ერთმანეთის საწინააღმდეგო ბოლოდან დაკვირვებით შეუძლებელია ვარსკვლავებისკენ მიმართულებებს შორის განსხვავების შენიშვნა.

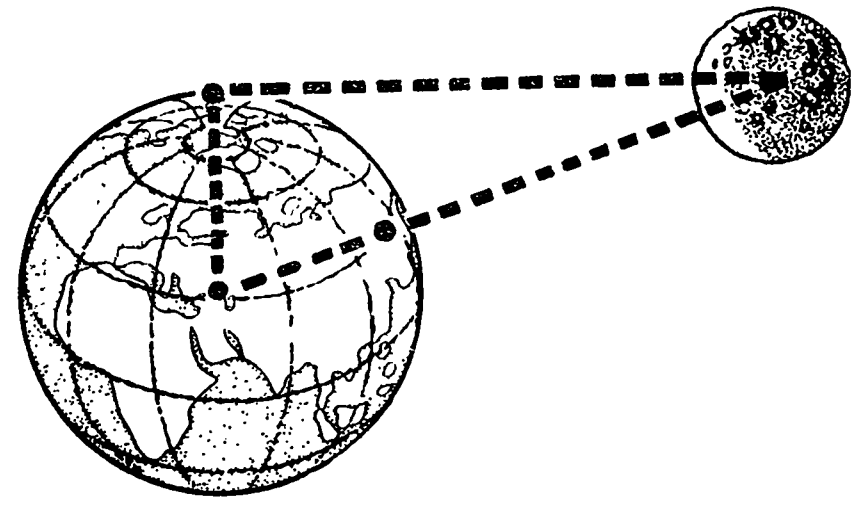
მაშასადამე, საჭირო იყო ვარსკვლავებზე დაკვირვება გრძელი სწორი ხაზის ბოლოებიდან, რომლის სიგრძე დედამიწის სფეროს დიამეტრს მრავალჯერ აღემატებოდა.

მაგრამ, სად შეიძლებოდა აღმოეჩინათ ასეთი ზომის სწორი ხაზი, ის ხომ დედამიწაზე ვერ მოთავსდებოდა. თურმე ასეთი ხაზი არსებობს ბუნებაში — ეს დედამიწის ორბიტის დიამეტრია, რომელიც 300 მლნ კმ-ს ეტოლება. საათში 100 კმ სიჩქარით მოძრავი მატარებელი დედამიწის ორბიტის დიამეტრის გასწვრივ რომ გამგზავრებულიყო, ის ამ მანძილის გავლას 340 წელს მოანდომებდა. თუმცა ეს არც დაგვჭირდება. ნახევარი წლის განმავლობაში დედამიწის სფეროს თვითონ გადავყავართ მზის მეორე მხარეს, დედამიწის ორბიტის დიამეტრის მეორე ბოლოში, და მხოლოდ ამ დიამეტრის ბოლოებიდან დაკვირვებებით შეგვიძლია შევნიშნოთ უმნიშვნელო განსხვავება იმ მიმართულებებს შორის, რომლებითაც უახლოესი ვარსკვლავები ჩანან. თუმცა ასეთი დაკვირვებების წარმოება მოგვიხდება არა ერთდროულად, არამედ ერთმანეთისაგან ნახევარი წლის შუალედით დაშორებულ მომენტებში.

დიდი ხნის განმავლობაში ასტრონომებს დედამიწის ორბიტის დიამეტრის ბოლოებიდან დაკვირვება არ აძლევდათ საჭირო შედეგებს.

მიმართულებებს შორის კუთხეები ძლიერ მცირეა და მათი გაზომვისათვის უდიდესი სიზუსტე იყო საჭირო. არც XVIII საუკუნეში და არც XIX საუკუნის დასაწყისში ასტრონომებს ჯერ კიდევ არ შეეძლოთ ასეთი სიზუსტისათვის მიეღწიათ. ასტრონომებისათვის ნათელი იყო, რომ მანძილები ვარსკვლავებამდე უზარმაზარია, მათი ზუსტად განსაზღვრა კი ვერ მოეხერხებინათ.

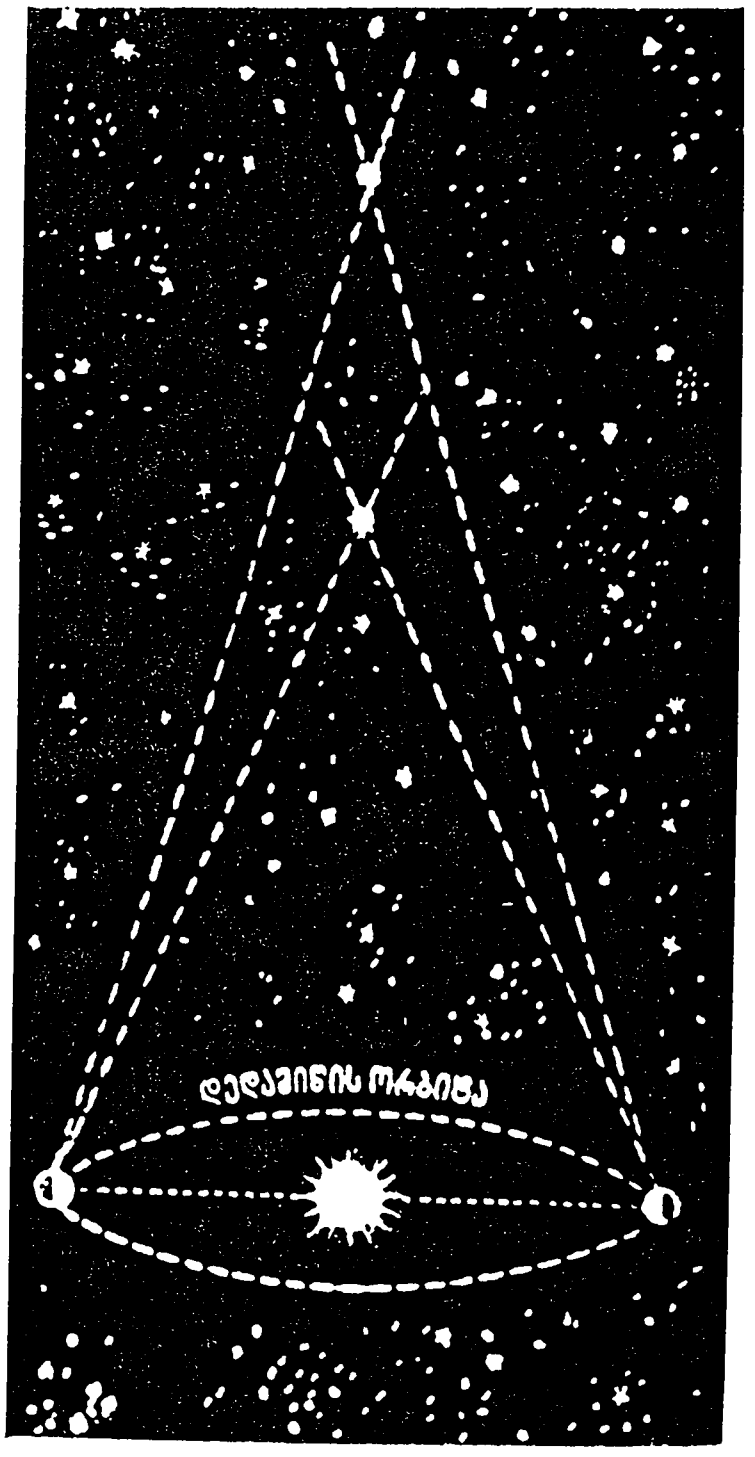
XIX საუკუნის 30-იან წლებში რუსმა მეცნიერმა ვ. სტრუვემ განსაზღვრა მანძილი ვარსკვლავ ვეგამდე (ლირას თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი) და ამით საფუძველი ჩაუყარა ვარსკვლავებამდე მანძილების ზუსტ განსა-



მანძილი ყველაზე უახლოეს მნათობებამდე (მზემდე, მთვარემდე და პლანეტებამდე) განისაზღვრება დედამიწის სფეროს ორი ერთმანეთისაგან დაშორებული წერტილიდან დაკვირვებისას.

ზღვრას, რის შემდეგაც მალე განსაზღვრეს მანძილები სხვა ვარსკვლავებამდეც.

აღმოჩნდა, რომ დედამიწასთან უახლოესი ვარსკვლავებიც კი უშორეს პლანეტაზე — პლუტონზე მრავალ ათასჯერ უფრო შორსაა. ამ მანძილების კილომეტრებში გამოსახვა ძნელია. ამიტომ ვარსკვლავებამდე მანძილებს გამოხატავენ იმ დროის ერთეულებში, რომელიც ესაჭიროება სინათლეს ამ მანძილის გასავლელად. სინათლე ძალიან სწრაფად ვრცელდება და ერთი წამის განმავლობაში 300 ათას კმ-ს გადის. როცა ელვა გაიკაშკაშებს ხოლმე, მისი სინათლე ჩვენამდე წამის ძალზე მცირე ნაწილის განმავლობაში მოდის. მთვარიდან დედამიწამდე მოსვლას სინათლე $1^1/_4$ წამს ანდომებს. მზიდან — რვა წუთს, ყველაზე შორეული პლანეტა პლუტონიდან — დაახლოებით ხუთ საათს, ხოლო უახლოესი ვარსკვლავიდან — ოთხ წელზე უფრო მეტ ხანს. საათში 100 კმ-ის სიჩქარით მოძრავი მატარებელი უახლოეს ვარსკვლავამდე, რომელსაც კენტავრის ალფა ეწოდება, მხოლოდ 46 მილიონი წლის შემდეგ მიაღწევდა, ხოლო თანამედროვე თვითმფრინავი სამ-ოთხ მილიონ წელს მოანდომებდა. მაგრამ ეს ხომ უახლოესი ვარსკვლავია! მისი მანძილი დედამიწიდან სრულიად უმნიშვნელოა ირმის ნახტომის შორეული ვარსკვლავების მანძილებთან შედარებით.



მანძილები უფრო შორეულ მნათობებამდე (ვარსკვლავებამდე) განისაზღვრება დედამიწის ორბიტის ორი ერთმანეთის მოპირდაპირე წერტილიდან დაკვირვებისას.

ვარსკვლავებამდე მანძილების გაზომვის ზემოთ აღწერილი ხერხი მხოლოდ მზის სისტემასთან შედარებით ახლოს მყოფი ვარსკვლავებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ. უფრო შორეული ვარსკვლავებისათვის იგი არ გამოდგება, რადგან დედამიწის ორბიტის დიამეტრი მეტად მცირეა ათასობით სინათლის წლის მანძილებთან შედარებით. ამჟამად ასტრონომებმა იციან უშორეს ვარსკვლავებსა და ნისლეულებამდე მანძილების გაზომვის სხვა ხერხები.

უზარმაზარია ვარსკვლავებამდე მანძილები, მაგრამ რა ძლევამოსილია ადამიანის გონება, რომ მან შეძლო ასეთი მანძილების გაზომვა. ადამიანის გონებისათვის არ არსებობს საზღვრები. მას შეუძლია განუსაზღვრელად შეიცნოს სამყარო, ბუნების კანონები და მიღებული ცოდნა თავის სასარგებლოდ გამოიყენოს.

ვარსკვლავებამდე მანძილების გაზომვამ საბოლოოდ დაამტკიცა, რომ ისინი ჩვენგან სხვადასხვა მანძილებზე იმყოფებიან და სრულიადაც არ არიან განლაგებული მრგვალი გუმბათის ზედაპირზე, როგორადაც გვეჩვენება. ცა დედამიწაზე დაპირქვავებულ გუმბათად ან ყოველი მხრიდან ჩვენი პლანეტის გარემომცველ სფეროდ მხოლოდ იმიტომ გვეჩვენება, რომ შეუიარაღებელი თვალი ვერ აღიქვამს მანძილთა განსხვავებას სხვადასხვა ვარსკვლავამდე.

იუპიტერზე ცოტა უფრო დიდი რომელიმე პლანეტა დედამიწიდან უახლოესი ვარსკვლავის

მანძილზე რომ ყოფილიყო, იგი ჩვენთვის სრულიად უხილავი იქნებოდა. ასეთ უზარმაზარ მანძილზე მზე მას მეტისმეტად სუსტად გაანათებდა და მის მიერ არეკლილი სინათლეც უკან დაბრუნებისას ძალზე მკვეთრად შესუსტდებოდა. ვარსკვლავები კი თავიანთი საკუთარი, მეტისმეტად კაშკაშა სინათლით ანათებენ, ე. ი. თვითმნათი მზეები არიან. მაშასადამე, ჩვენ შეგვიძლია სამყარო დავყოთ მზის სისტემად (ჩვენთან უახლოესი მიდამოები) და მის საზღვრებს იქით მდებარე უსასრულო სამყაროდ, რომელიც ჩვენი მზის მსგავსი ურიცხვი ვარსკვლავისაგან შედგება.

როგორ მუშაობენ ასტრონომები

დაკვირვებები ტელესკოპით

ბნელი ღამეა. ცაზე ვარსკვლავები ციალებენ. მათ სუსტ სინათლეზე ძლივს მოჩანს ასტრონომიული კოშკის მრგვალი თაღის მოხაზულობა. დროდადრო თაღი ნელა მობრუნდება ხოლმე და მასზე ვხედავთ ბნელ ჭრილს — გახსნილ ადგილს, რომელშიც ერთი წამით შეიძლება გაიელვოს ტელესკოპის მინის თვალმა.

ავიდეთ კოშკის ვიწრო კიბეზე და შევიდეთ თაღქვეშ. იქ, მრგვალი მოედნის შუაგულში, აღმართულია თუჯის სვეტი, რომელზედაც დამაგრებულია ყოველი მიმართულებით ადვილად მბრუნავი ტელესკოპის გრძელი მილი. მის წინა, ცისკენ მიმართულ ბოლოზე მიმაგრებულია დიდი, ორმხრივ ამოზნექილი მინა — ლინზა, ანუ ობიექტივი, რომელიც ციური სხეულების სინათლეს კრებს ფოკალურ სიბრტყეში, სადაც მიიღება განსახილველი მნათობის გამოსახულება. ტელესკოპის ქვედა ბოლოსთან მიღებული ეს გამოსახულება განიხილება ოკულარში. ოკულარი განსაკუთრებული გამადიდებელი მინაა, რომელიც ლინზათა სისტემას წარმოადგენს. დამკვირვებელი უშუალოდ მასში იყურება.

იმისათვის, რომ დაკვირვებებს ხელი არ შეუშალოს ქალაქის სინათლემ, ბოლმა და მტვერმა, რომლებიც უხვადაა ატმოსფეროს ქვედა ფენებში, ობსერვატორიებს, ჩვეულებრივ, ქალაქგარეთ ან მთებში აშენებენ. რაც უფრო მაღლა ავდივართ, ჰაერი გაიშვიათებული, სუფთა და გამჭვირვალე ხდება და ცის მნათობებზე დაკვირვებაც უფრო მოსახერხებელია. მაგრამ მთებშიც ჰაერი ყოველთვის წყნარი არაა. ციურ სხეულთა სინათლის სხივები ჰაერის ნაკადებში გადიან და მათი გავლენით გამუდმებით იხრებიან. აი, რატომაა, რომ ტელესკოპში ხილული ვარსკვლავი ზოგჯერ თრთის და ირხევა, ხოლო შორეული პლანეტების პატარა გამოსახულებანი, რომლებზეც ძალზე გვსურს რაიმეს დანახვა, ერთგვარ გადღაბნილ ნათელ ლაქად გარდაიქმნება ხოლმე. ჰაერის ნაკადები ასტრონომის მტრებია, რომლებიც მკვეთრად ზღუდავენ ტელესკოპის გამადიდებლობას. რაც უფრო ძლიერ ადიდებს ტელესკოპი, მით უფრო მეტად შეიმჩნევა მასში ჰაერის ღელვა. ამიტომაა, რომ პლანეტებს აკვირდებიან 500 — 600-ჯერ გადიდების პირობებში, თუმცა თანამედროვე დიდ ტელესკოპებს შეუძლიათ ათეულ ათასჯერ გაადიდონ ისინი.

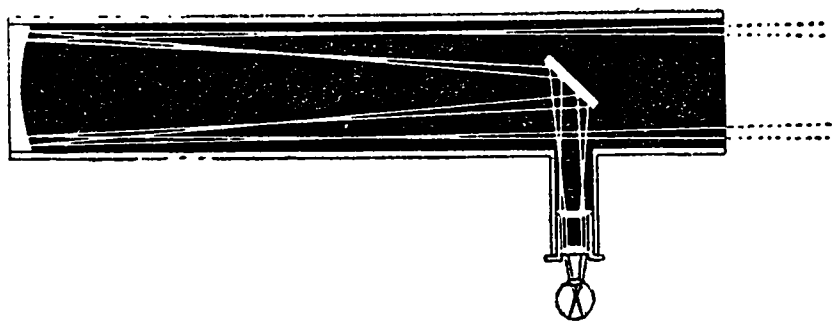
მიადეთ თვალი ოკულარს — ასტრონომი მთვარეს გიჩვენებთ. მაგრამ რატომაა, რომ მხოლოდ მისი პატარა უბანი ჩანს და არა მთელი მთვარე? იმიტომ, რომ რაც მეტია გამადიდებლობა, ცის მით უფრო მცირე „კუნჭული“ ჩანს ტელესკოპში.

ეს რაღაა? რატომღაც მთვარე სწრაფად გადის ხედვის ველიდან — ცის იმ უბნიდან, რომელიც ტელესკოპში ჩანს. ეს იმიტომ, რომ ჩვენი დაკვირვების განმავლობაში დედამიწის სფერომ მოასწრო საკუთარი ღერძის ირგვლივ მოძრაობისას ცოტათი შემობრუნება. თქვენ კი გეჩვენებათ, რომ ცა ტრიალებს და მთვარეც მიდის თავისი ადგილიდან. დედამიწის ეს მობრუნება ტელესკოპში გამადიდებლობის გამო კიდევ უფრო ჩქარი გვეჩვენება.

მაგრამ აი, მთვარე აღარ გადის მხედველობის ველიდან — ასტრონომმა ჩართო საათის მექანიზმი, რომელმაც იმავე სიჩქარით დაიწყო ტელესკოპის შემობრუნება, როგორითაც დედამიწის სფერო ბრუნავს, ოღონდ დედამიწის ბრუნვის სა-

წინააღმდეგო მიმართულებით. ამით ასტრონომმა თითქოს გააბათილა დედამიწის ბრუნვა.

მთვარე თანდათან უახლოვდება ჰორიზონტს, სულ უფრო მაღლა იწევს მთვარისაკენ მიმართული ტელესკოპის ქვედა ბოლო. აი, თითის წვერებზეც ვეღარ ვწვდებით okულარს და საგანგებო კიბით ვსარგებლობთ. დიდ ობსერვატორიებში იატაკი



ტელესკოპ-რეფლექტორის სქემა. მარცხნივ ჩაზნექილი სარკე, რომელიც კრებს სხივებს, ხოლო პატარა ბრტყელი სარკე მათ გვერდით მიმართავს, სადაც დამკვირვებლის თვალია.

ისეა გაკეთებული, რომ მექანიკურ მოწყობილობათა დახმარებით იგი შეიძლება ნელა ავწიოთ და დავუშვათ. ამისათვის საკმარისია დამკვირვებელმა თითი დააჭიროს ღილაკს. აკეთებენ აგრეთვე მოძრავ მექანიზებულ ბაქნებს, რომლებსაც დამკვირვებლები ზემოთ აჰყავთ ან ჩამოჰყავთ. მექანიზმების დახმარებით გადაადგილდება კოშკის თაღიც. პატარა კოშკებში თაღს ხელით აბრუნებენ.

ეს მოწყობილობანი, რომლებიც ასტრონომს შრომას უმსუბუქებენ, ხელის ერთი მოსმით როდია გამოგონებული. თანამედროვე ობსერვატორიის ტექნიკა მრავალი თაობის ასტრონომების, ინჟინრებისა და არქიტექტორების შრომით არის შექმნილი.

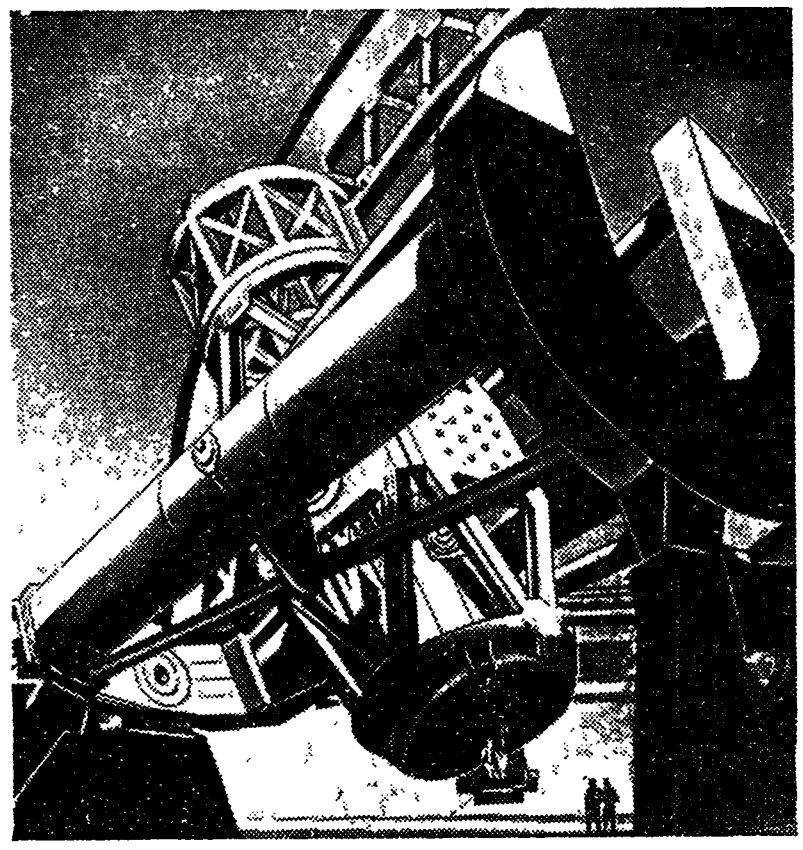
ასტრონომიის ისტორიაში გამოჩენილი ასტრონომების გვერდით პატივისცემით იხსენიებენ იმ შესანიშნავი ოსტატების სახელებს, რომლებმაც შექმნეს ასტრონომიული ხელსაწყოები და ააგეს ობსერვატორიები.

ობსერვატორიები შენდებოდა უძველეს ხანაშიც მართალია, მაშინ ჯერ კიდევ არ იყო ტელესკოპები, მაგრამ უკვე არსებობდა დიდი ზომის სხვადასხვაგვარი ხელსაწყოები ცაზე ვარსკვლავთა მდებარეობების განსასაზღვრავად.

ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიაზე, სამარყანდის მახლობლად, შემონახულია XV ს. პირველი ნახევრის გამოჩენილი უზბეკი ასტრონომისა და მათემატიკოსის ულუღ-ბეგის აგებული შესანიშნავი ობსერვატორიის ნაშთები. ამ ნაშთების მიხედვით შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორ ამოცანებს ისახავდნენ სამარყანდელი ცის მკვლევარნი, როგორ ვითარდებოდა ციური მნათობების კვლევის მეთოდი.

ტელესკოპის გამოგონების შემდეგ ადამიანებმა გულმოდგინე შრომის შედეგად საჭირო ხარისხის დიდი, გამჭვირვალე მინები ჩამოასხეს და მისცეს ის ზუსტი ფორმა, რომელიც საჭიროა ასტრონომიულ იარაღებში მკაფიო გამოსახულების მისაღებად.

ტელესკოპი დიდი ხნის წინათ, ჯერ კიდევ XVII ს. დასაწყისში, გამოიგონეს, მაგრამ ჯერაც ვერ ისწავლეს ისეთი ტელესკოპების დამზადება, რომელთა წინა მინის — ობიექტივის განივკვეთი ერთ მეტრს აღემატებოდეს. რეფრაქტორში—ობიექტივიან ტელესკოპში — მინის განსაკუთრებული თვისებების გამო მნათობები სუსტი ფერადი არშიით გარშემორტყმულნი ჩანან. ეს არშია ხელს უშლის დაკვირვებებს. ამის თავიდან ასაცილებლად გამოიგონეს სხვა სახის ტელესკოპი — რეფ-



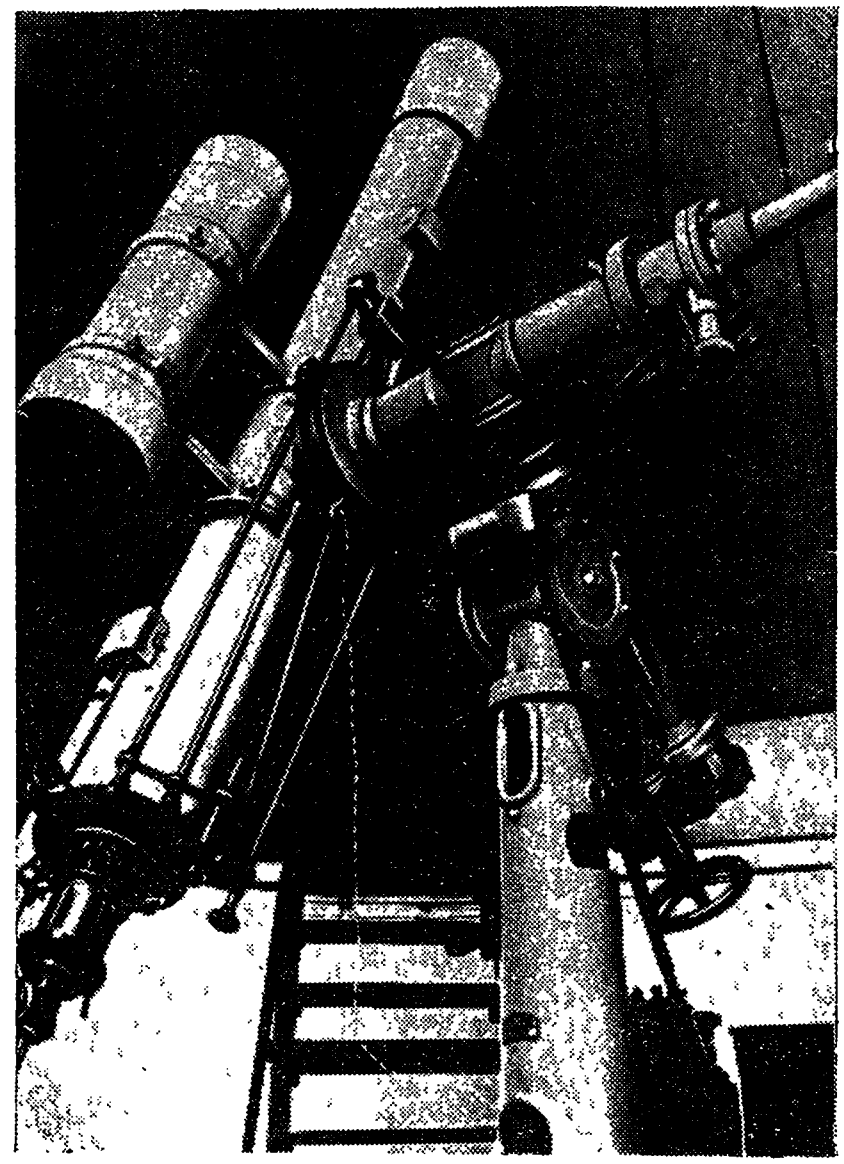
5 მ დიამეტრის სარკის მქონე რეფლექტორი.

ლექტორი, რომელშიც სინათლეს კრებს არა ამოზნექილი მინა, არამედ ჩაზნექილი სარკე. რეფლექტორი გამოიგონა ინგლისელმა მეცნიერმა ი. ნიუტონმა (იხ. გვ. 199). რეფლექტორში სარკეს ათავსებენ ტელესკოპის ქვედა ბოლოში. სარკე აირეკლავს სხივებს და კრებს მათ მილის ზედა ბოლოსთან, სადაც დამკვირვებელი იმყოფება. ჩვეულებრივად, პატარა დამატებითი სარკის დახმარებით ამ კრებად სხივებს გვერდით ან უკანაც კი არეკლავენ ხოლმე. უკანასკნელ შემთხვევაში სხივები მილიდან დიდ სარკეში გაკეთებული ხვრელიდან გამოდის. ასეთი მოწყობილობისას დამკვირვებელი იატაკთან ახლოს იმყოფება და გზას არ უღობავს ტელესკოპში მიმავალ სინათლეს. რეფლექტორის ნაკლი ის არის, რომ მასში კარგად ჩანს ცის მხოლოდ მცირე უბანი. ასეთი სახის უდიდეს ტელესკოპს, რომელიც კალიფორნიაში დგას, ხუთმეტრიანი განივკვეთი აქვს. მისი დახმარებით შესაძლებელია ოცდამესამე ვარსკვლავიერ სიდიდემდე ვარსკვლავების გადაღება. საბჭოთა კავშირში აიგო და ყირიმის ობსერვატორიაში მუშაობს სიდიდით მსოფლიოში მესამე — 2,6 მ დიამეტრის სარკის მქონე ტელესკოპი.

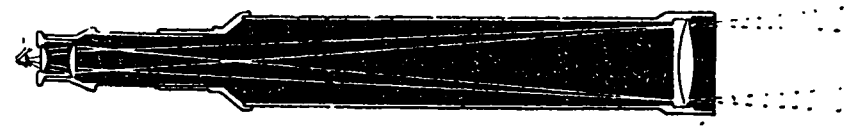
დიდი სამამულო ომის წლებში ტელესკოპების საბჭოთა კონსტრუქტორმა დ. მაკსუტოვმა გადაწყვიტა ამოცანა, რაზედაც დიდხანს ფიქრობდნენ მრავალი ქვეყნის გამომგონებლები: მან ააგო ტელესკოპი, რომელიც აერთიანებს რეფრაქტორისა და რეფლექტორის ღირსებებს და, ამავე დროს, არ გააჩნია მათი ნაკლოვანებანი. მაკსუტოვმა აიღო ჩაზნექილი სარკე და მის წინ მილის ზედა ბოლოზე დადგა ამოზნექილ-ჩაზნექილი თხელი მინა — მენისკი (ხშირად სათვალის მინები ასეთი მენისკების ფორმით კეთდება). ყოველ ტელესკოპს საგანგებო ფორმის სარკეები და მინები ესაჭიროება, მაგრამ მენისკური ტელესკოპისათვის ორივეს დამზადება შედარებით მარტივია, რადგან მათ სფერული ზედაპირი აქვთ.

მაკსუტოვის სისტემის მიხედვით ამზადებენ საბჭოთა ქარხნები სასკოლო ტელესკოპებსაც. ისინი პატარა ზომისაა, მაგრამ ისევე ადიდებენ, როგორც თითქმის ერთ მეტრამდე სიგრძის რეფრაქტორი. ასეთი ტელესკოპები დასაკვირვებელ საგნებს 70-ჯერ ადიდებს, მაშინ როცა ჩვეულებრივი ბინოკლები — მხოლოდ ორიდან რვამდე.

ბევრი სხვადასხვაგვარი ასტრონომიული იარაღი გამოიგონეს და ააგეს როგორც ჩვენთან, ისე საზღვარგარეთ. მაგალითად, მზის სხივების ასარეკლავად ამზადებენ განსაკუთრებულ ბრტყელ სარკეებს, რომლებიც ავტომატურად ბრუნავენ მზის მოძრაობის კვალდაკვალ და მის სხივებს მუდამ უძრავ ტელესკოპში გზავნიან. ციურ სხეულებზე დასაკვირვებლად აგებენ სხვადასხვა სისტემის დიდ ტელესკოპებს და ბევრ სხვა დამხმარე მოწყობილობას.



ტელესკოპ-რეფრაქტორი ფოტოკამერითურთ.



ტელესკოპ-რეფრაქტორის სქემა. მარჯვნივ — სხივების შემკრები ობიექტივის ლინზები; მარცხნივ — ლინზების სისტემა — okულარი.

ვარსკვლავების ფოტოგრაფირება

თუ ასტრონომიულ ობსერვატორიაში მოხვდით, ალბათ გაგიკვირდებათ, რომ ტელესკოპთა უმრავლესობაში ყურება საჭირო არ არის. დამკვირვებელთა თვალი იქ კარგა ხანია ფოტოგრაფიულმა ფირფიტამ შეცვალა. ფირფიტაზე ღებულობენ ციური მნათობებისა და ცის მთელი უბნების „პორტრეტებს“. ერთ სურათზე ერთბაშად ათასი ვარსკვლავის დანახვა შეიძლება. ნაცვლად იმისა, რომ ზამთრის ყინვებში კოშკში ჯდომით თვითეული ვარსკვლავის რიგრიგობით შესწავლას მრავალი საათი მოანდომოს, ასტრონომი თბილად ზის ოთახში, სწავლობს ამ სურათებს და მათ სხვადასხვა დროს გადაღებულ ფოტოგრაფიებს ადარებს. ასე იგებენ ასტრონომები ვარსკვლავთა განლაგებაში, მათ სიკაშკაშესა და სივრცულ მოძრაობაში მომხდარ ცვლილებებს. ფოტოგრაფიული სურათების დახმარებით საზღვრავენ ვარსკვლავებამდე მანძილებს და არკვევენ ზოგიერთი მათგანის სიკაშკაშის ცვლილების მიზეზებს.

სურათების უფრო მოხერხებული შედარებისათვის მათ ათვალიერებენ წყვილ-წყვილად სტერეოსკოპისმაგვარ ხელსაწყოში, ან სხვა მოწყობილობებში, სადაც სურათები რიგრიგობით მოჩანს ერთმანეთზე მიყოლებით. ობსერვატორიებში მთელი კარადებია ავსებული მრავალი წლის განმავლობაში დაგროვილი ვარსკვლავთა ფოტოგრაფიებით.

წამში რამდენიმე ათეული კილომეტრის სიჩქარით მქროლავი რომელიმე შორეული ვარსკვლავის მოძრაობა რომ დავადგინოთ, საჭიროა ერთმანეთს შევადაროთ სურათები, რომლებიც რამდენიმე ათეული წლის შუალედით არის გადაღებული. ორ ასეთ სურათზე ვარსკვლავის მდებარეობა, რომელსაც მიკროსკოპით საზღვრავენ, განსხვავებული იქნება მილიმეტრის რამდენიმე მეასედი ან მეათასედი ნაწილითაც კი.

აი, როგორ მცირე სიდიდეებს ზომავენ ასტრონომები. გიგანტური ციური სხეულების მოძრაობის უზარმაზარი სიჩქარეები რომ განსაზღვრონ.

მაგრამ ასეთი გაზომვების შედეგებს გამოთვლებიც სჭირდება, რასაც საგანგებო მანქანები — არითმომეტრები აკეთებენ. საკმარისია თითი დავაჭიროთ სათანადო ღილაკებს და ისინი თვითონ გაამრავლებენ და გაყოფენ დიდ რიცხვებს. გამოთვლებს გაცილებით სწრაფად ასრულებენ საანგარიშო-ანალიზური და ელექტრონული მანქანები.

ობსერვატორიაში არის ისეთი ხელსაწყოებიც, რომლებითაც ზუსტად ზომავენ ვარსკვლავთა სინათლის ძალასა და მათ მიერ გამოყოფილ სითბოსაც კი. როგორი რთულია ეს სამუშაო და რაოდენ სიზუსტეს მოითხოვს, შეიძლება შემდეგი მაგალითით წარმოვიდგინოთ; ორიონის თანავარსკვლავედის გიგანტურ ვარსკვლავ ბეტელჰეიზედან დედამიწამდე ისეთი მცირე სითბო აღწევს, რომ, თუ მას ერთი წლის განმავლობაში 2,5 მ დიამეტრის ჭქონე ჩაზნექილი სარკის დახმარებით შევკრებდით, დაგროვილი სითბოთი ერთი სათითე წყლის მხოლოდ ერთი გრადუსით გათბობას მოვახერხებდით. მაგრამ ჩვენი ხელსაწყოები ასეთ უმნიშვნელო სითბოსაც გრძნობენ.

სპექტრული ანალიზი

როცა მზის სხივი მინის სამწახნაგოვან პრიზმაში გადის, იგი შემადგენელ ნაწილებად — ცისარტყელას ყველა ფერის სხივებად — იშლება.

სინათლეს, რომელიც შემადგენელ ნაწილებადაა დაშლილი, სპექტრი ეწოდება, ხოლო იარაღს, რომლის საშუალებითაც სპექტრი მიიღება და განიხილება — სპექტროსკოპი.

წვიმის შემდეგ ცაზე მოელვარე ცისარტყელა მზის სპექტრია, რომელიც ჰაერში გაბნეული წყლის წვეთებისაგან წარმოიქმნება. მაგრამ სპექტროსკოპით მიღებული მზის სპექტრი უფრო მკაფიოა. გარდა ამისა, მასში ცისარტყელასებრი ზოლის ფონზე ჩანს სპექტრის სხვადასხვა ადგილებში ამ ზოლის გადამკვეთი მრავალრიცხოვანი ბნელი ხაზები, რომელთა მნიშვნელობასაც ახლა გაიგებთ.

სხვადასხვა ფერის ზოლისმაგვარ სპექტრს იძლევა აგრეთვე ელექტრული ნათურის გავარვარებული ძაფი, სანთლის ალი და გამდნარი ლითონი; მაგრამ სპექტრის ასეთ ზოლებში ბნელი ხაზები არ ჩანს. სპექტრები გაიშვიათებული გაზებისა, კერძოდ, იმ გაზებისა, რომლებსაც მილებში ათავსებენ და მაღაზიების აბრებისა და ვიტრინების შესამკობად ხმარობენ, ბნელ ფონზე გამოსახულ ფერად ხაზებს გვაგონებს.

მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ყოველი ნივთიერება, რომელიც მნათი ორთქლის ან გაზის მდგო-

მარეობაში იმყოფება, სპექტრში იძლევა თავის საკუთარ, ყოველთვის ერთისა და იმავე სახის ფერად ხაზებს.

მაგალითად, ლითონ ნატრიუმის ორთქლი სპექტრში ყოველთვის ერთსა და იმავე კაშკაშა ყვითელ ხაზს იძლევა, ე. ი. ნატრიუმის სინათლე მხოლოდ ყვითელი სხივებისაგან შედგება. ნატრიუმი შედის სუფრის მარილის შემადგენლობაში. თუ ჯიბის დანის წვერით სანთლის ალში შეიტანთ მარილის მარცვლებს, დაინახავთ, რომ ალი ყვითლად შეფერადდება. სხვა ნივთიერებათა სპექტრები კიდევ სხვადასხვა ფერის მრავალი სხვა ხაზისაგან შედგება. რთული ნივთიერების სპექტრში ამგვარი ხაზების განლაგებით შეიძლება გავიგოთ ამ ნივთიერების შემადგენლობა. თუ მოცემული ნივთიერების შემადგენელი ნაწილები ორთქლად გარდაქმნისას ნათებას დაიწყებენ, მაშინ თვითეული ეს ნაწილი თავს იჩენს სპექტრში განსაზღვრული ფერადი ხაზებით. ასე არკვევენ სპექტრის მიხედვით გაზების ქიმიურ შედგენილობას.

ციური სხეულების ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრა

სპექტრული ანალიზის დახმარებით მეცნიერებმა ზუსტად გაიგეს ვარსკვლავების, კომეტებისა და ნისლეულების ქიმიური შედგენილობა. ყველა ესენი დედამიწაზე უკვე ცნობილი ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება.

მეცნიერთა ეს აღმოჩენა მატერიალისტური მეცნიერების დიდი გამარჯვება იყო. მან უარყო წარსული საუკუნის ზოგიერთი ფილოსოფოსის მცდარი შეხედულება, თითქოს ადამიანის შემეცნება შეზღუდულია და ჩვენ ვერასოდეს ვერ შევძლებთ გავიგოთ ციური სხეულების ქიმიური შედგენილობა.

დავუბრუნდეთ მზის სპექტრს, რომელიც ბნელი ხაზებითაა დასერილი, და ამ მხრივ მის მსგავს ვარსკვლავთა სპექტრებსაც. ამ ბნელი ხაზების საიდუმლოება გამოირკვა, როცა სპექტროსკოპსა და სანთლის ალს შორის, რომელიც ცისარტყელას მაგვარ უხაზო სპექტრს იძლევა, მოათავსეს ალზე უფრო ცივი გაზი. სპექტრის ცისარტყელასებრ ზოლში, სწორედ იმ უბნებში, სადაც ეს გაზი თავისთავად ფერად ხაზებს მოგვცემდა, გამოჩნდა ბნელი ხაზები. გამოირკვა, რომ სინათლის უფრო ცხელი წყაროს (მოცემულ შემთხვევაში — სანთლის) სპექტრის შემადგენლობიდან გაზი შთანთქავს სწორედ იმ სხივებს, რომელთაც თვითონ გამოასხივებს გავარვარებულ მდგომარეობაში. აქედან მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ მზისა და ვარსკვლავების გავარვარებული ზედაპირები იძლევა ცისარტყელას ზოლის მსგავს სპექტრს, მაგრამ ეს ზედაპირები გარშემორტყმულია უფრო ნაკლებად გავარვარებული და გაიშვიათებული გაზებით, რომლებიც იწვევენ სპექტრში ბნელი ხაზების გაჩენას. ეს გაზები მზისა და ვარსკვლავების ირგვლივ ქმნიან ატმოსფეროებს, რომელთა ქიმიური შედგენილობის გაგება შესაძლებელია სპექტრის ბნელი ხაზების მიხედვით. აღსანიშნავია, რომ მზისა და ვარსკვლავთა ზედაპირები თუმც ისეთსავე სპექტრს იძლევიან, როგორსაც თხევადი და მყარი გავარვარებული სხეულები, მაგრამ უფრო მკვრივი გავარვარებული დაელექტროებული გაზებისაგან შედგებიან, ვიდრე მათი გარემომცველი ატმოსფეროებია.

მნათობთა სპექტრები მხოლოდ მათ ქიმიურ შედგენილობაზე როდი მოგვითხრობენ. სპექტრებში კიდევ უფრო მეტის „ამოკითხვა“ შეიძლება, თუ „სპექტრულ წერა-კითხვას“ ვისწავლით. მაგალითად, შედარებით ცივი სხეულის სპექტრში ყველაზე უფრო კაშკაშაა წითელი უბანი. რაც უფრო ცხელია სხეული, მით უფრო ნაკლებ კაშკაშაა მის სპექტრში წითელი სხივები სხვა სხივებთან შედარებით, და უფრო თეთრია იგი. ასე აზღვრავენ მეცნიერები ვარსკვლავთ ტემპერატურას მათი ფერის ან სპექტრის მიხედვით.

უკვე დიდი ხანია მეცნიერებმა გამოთქვეს აზრი, რომ, როცა სინათლის წყარო დამკვირვებლის ძიმართ მოძრაობს, ხაზები მის სპექტრში რამდენადმე უნდა გადაადგილდეს: სინათლის წყაროს მოახლოებისას ხაზებმა უნდა გადაინაცვლოს სპექტრის იისფერი ბოლოსაკენ და მით უფრო მეტად, რაც მეტია სინათლის წყაროს მოძრაობის სიჩქარე; დაშორებისას კი, პირიქით—სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ.

რუსმა მეცნიერმა, აკადემიკოსმა ა. ბელოპოლსკიმ (იხ. გვ. 386) ძალზე რთული და ზუსტი ცდებით დაადასტურა, რომ სპექტრის ხაზები სწორედ ამგვარად ინაცვლებენ. ამის შემდეგ შესაძლებელი გახდა სპექტრის მიხედვით დამაჯერებლად განე-

საზღვრათ ციური სხეულების სიჩქარე და მოძრაობის მიმართულება, ხოლო ამასთან დაკავშირებით მეცნიერებმა სხვა ბევრი რამ საინტერესოც აღმოაჩინეს, რომელთა შესახებაც ამ ტომის სტატიებშია ნაამბობი.

თუმცა ფოტოგრაფიებზე სპექტრები ფერადი სახით არ მიიღება, მაგრამ მეცნიერებმა ახლა უკვე კარგად იციან, სახელდობრ, რომელ ფერს შეესაბამება ესა თუ ის ადგილი სპექტრის შავ-თეთრ ფოტოგრაფიაზე.

ვიდრე ასტრონომი თავისი დაკვირვებებიდან დასკვნას გააკეთებდეს, მას, ჩვეულებრივად, ბევრი სხვადასხვაგვარი გამოთვლისა და გაზომვის შესრულება უხდება.

ზუსტი დროისა და მნათობთა კოორდინატების განსაზღვრა

ობსერვატორიებში არის ხელსაწყოები, რომელთა დახმარებითაც ძალზე ზუსტად საზღვრავენ დროს — ამოწმებენ საათებს. ზუსტი დროის გარეშე ასტრონომიული დაკვირვებები არასრულფასოვანია. დროს ადგენენ ჰორიზონტის ზევით მნათობების მდებარეობების მიხედვით. იმისათვის, რომ ობსერვატორიის საათები რაც შეიძლება ზუსტად და თანაბრად მუშაობდნენ, მათ ათავსებენ ღრმა სარდაფებში. ასეთ სარდაფებში მთელი წლის განმავლობაში შენარჩუნებულია მუდმივი ტემპერატურა. ეს ძალზე მნიშვნელოვანია, რადგანაც ტემპერატურის ცვლილება მოქმედებს საათის მუშაობაზე.

უკანასკნელ ხანს დროის შესანახად ჩვეულებრივი ქანქარიანი საათების ნაცვლად სულ უფრო ხშირად ხმარობენ გაცილებით ზუსტ კვარცის საათებს. კვარცის საათი წარმოადგენს კვარცის კრისტალს, რომელშიც აღძრული ელექტრომაგნიტური რხევები გაცილებით უკეთ ინარჩუნებენ მუდმივ სიხშირეს, ვიდრე საუკეთესო პირობებში მოთავსებული საუკეთესო საათის ქანქარა.

რადიოთი ზუსტი დროის სიგნალების გადასაცემად ობსერვატორიაში არსებობს საგანგებო რთული სასაათო, ელექტრული და რადიოაპარატურა. მოსკოვიდან გადაცემული დროის სიგნალები ერთ-ერთი ყველაზე ზუსტია მსოფლიოში. ზუსტი დროის განსაზღვრა ვარსკვლავების მიხედვით, დროის შენახვა ზუსტი საათების დახმარებით და მისი გადაცემა რადიოთი — ყველაფერი ეს დროის სამსახურს წარმოადგენს.

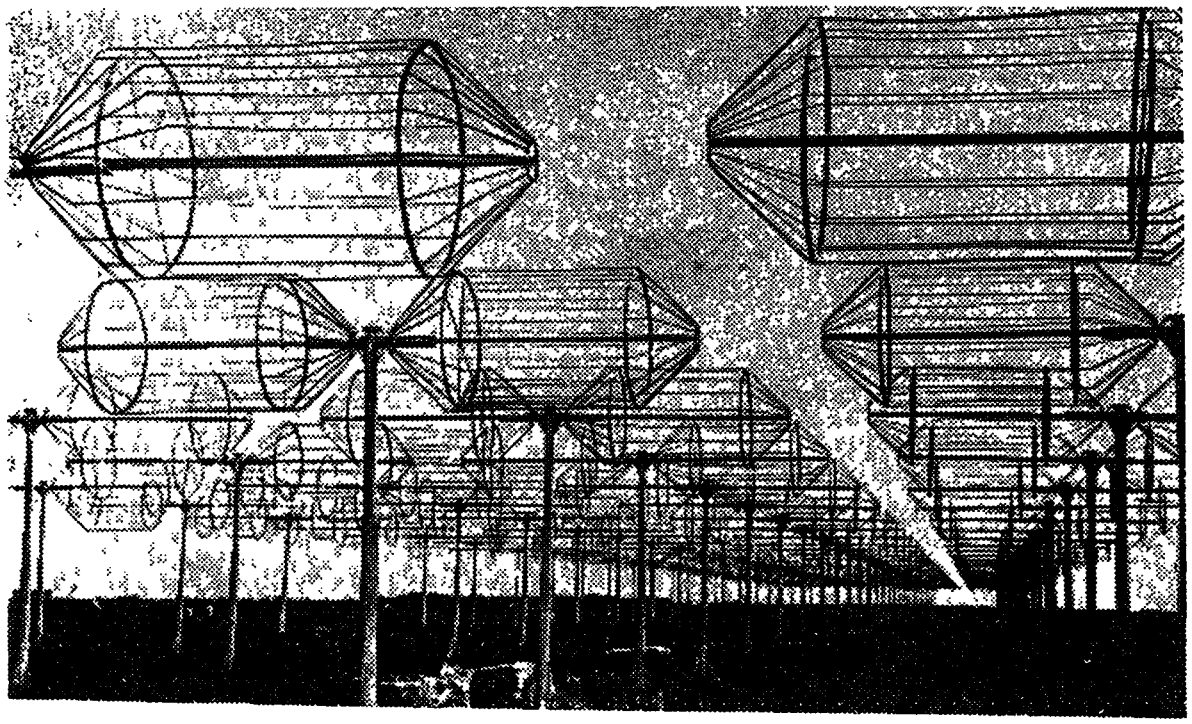
ობსერვატორიებში განსაკუთრებული ტელესკოპების დახმარებით საზღვრავენ აგრეთვე მნათობთა მდებარეობას ცაზე — მათ კოორდინატებს. ეს სამუშაო უდიდესი სიზუსტით სრულდება.

რადიოასტრონომია

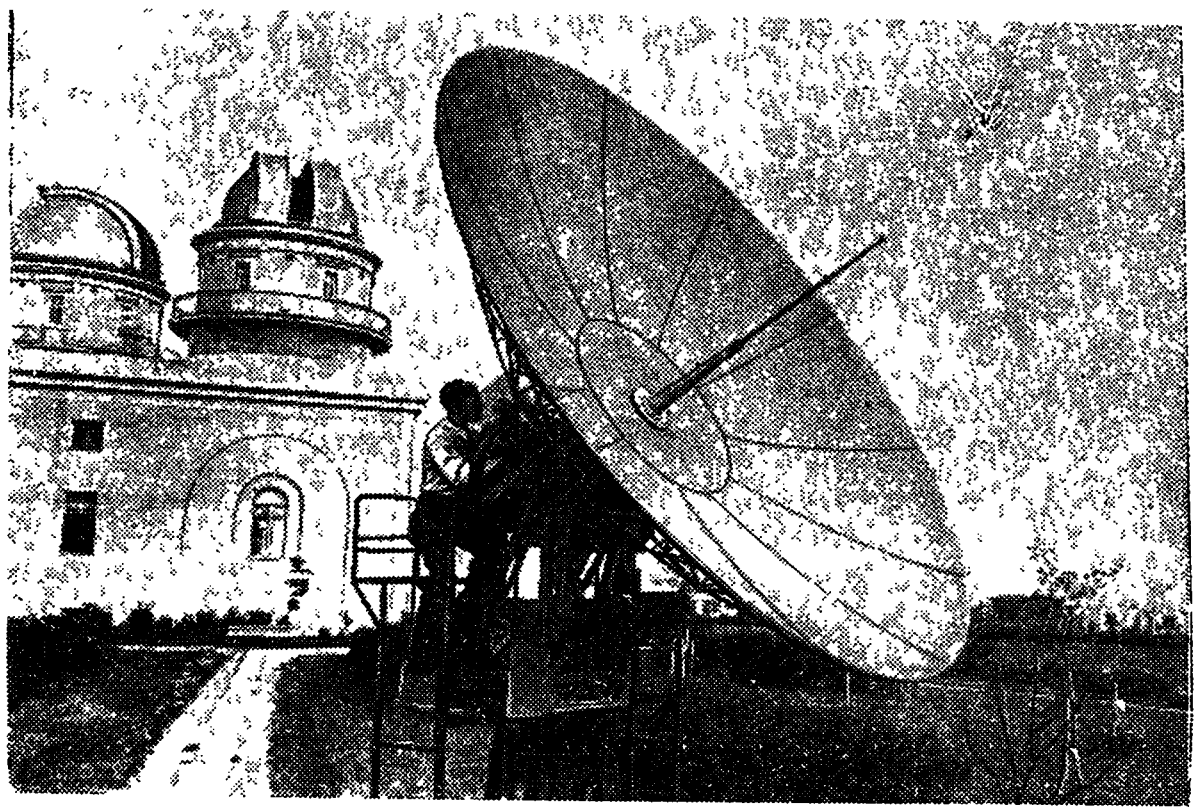
უკანასკნელ დრომდე ასტრონომები ციური სხეულის მიერ გამოსხივებულ სინათლეს ტელესკოპის დახმარებით შეისწავლიდნენ. სინათლე ელექტრომაგნიტური ენერგიაა, რომელიც ისეთი სიგრძის ტალღებით ვრცელდება, რომელთა შესაბამისი სინათლის სხივი თვალითაც შეინიშნება. განსაკუთრებული ხელსაწყოებისა და ფოტოგრაფიის დახმარებით შეგვიძლია აღვიქვათ და შევისწავლოთ თვალისათვის მიუწვდომელი ულტრაიისფერი და ინფრაწითელი სხივები.

ულტრაიისფერ სხივებს უფრო ნაკლები სიგრძის ტალღები აქვს, ვიდრე ხილულ სხივებს. კიდევ უფრო ნაკლები სიგრძის ტალღები აქვს რენტგენის სხივებს. მნათობთა ასეთი მოკლეტალღოვანი სხივები დედამიწის ატმოსფეროში ვერ გადის. მაგრამ ატმოსფეროს ზედა ფენებსა და მის ფარგლებს გარეთ ზოგიერთი ხელსაწყოს გეოფიზიკური რაკეტებითა და დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებით ატანა საშუალებას გვაძლევს, შევისწავლოთ ციური მნათობების მოკლეტალღოვანი გამოსხივება.

ინფრაწითელ სხივებს, პირიქით, ხილულ სხივებზე უფრო გრძელი ტალღები აქვს. ამ სხივების შემდეგ ტალღის სიგრძის ზრდის მიხედვით სითბური სხივებია, რომლებიც ასევე საგანგებო ხელსაწყოებით აღიქმება. კიდევ უფრო იქით იწყება რადიოტალღათა არე. მრავალ რადიოტალღას, რომლებიც, როგორც გამოირკვა, ციური მნათობებიდან მოდიან, დედამიწის ატმოსფერო აკავებს. მაგრამ ატმოსფერო თავისუფლად ატარებს რამდენიმე მილიმეტრისა და სანტიმეტრიდან რამდენიმე მეტრამდე სიგრძის ტალღებს. ეს XX საუკუნის 40-იან წლებში გახდა ცნობილი, როცა პირველად დაიჭირეს კოსმოსური სივრცის სიღრმიდან წამოსული რადიოგამოსხივება. სწორედ მაშინ დაიწყეს ისე-



მძლავრი რადიოტელესკოპის ნაწილი, რომელიც უკრაინის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის რადიოფიზიკისა და ელექტრონიკის ინსტიტუტის რადიოასტრონომიულ ობსერვატორიაში დგას. რადიოტელესკოპს შეუძლია მიიღოს რადიოგამოსხივება ცის ძალზე შორეული სხეულებიდან.



რადიოტელესკოპი, რომელიც პულკოვოს ობსერვატორიაში დგას.

თი რადიოტელესკოპების გაკეთება, რომლებიც კრებენ ციური მნათობების რადიოგამოსხივებებს.

რადიოტელესკოპები ორი სახისაა: ერთია ლითონის ჩაზნექილი, ზოგჯერ ცხაურის ფორმის სარკე, და მეორე—ჩარჩო, რომელზეც ერთმანეთის პარალელურად განლაგებული ლითონის ღეროებია დამაგრებული. სწორედ ამ ღეროებში წარმოიშვება ელექტრომაგნიტური რხევები. სხივთა არეკლვის კანონი ისეთია, რომ, რაც უფრო მეტია ტალღის სიგრძე, მით უფრო ნაკლები სიზუსტით შეიძლება გაკეთდეს ამრეკლი ზედაპირის ფორმა. ამიტომ რადიოტელესკოპების სარკეების დამზადებისას სიზუსტე გაცილებით ნაკლებ საჭიროა, ვიდრე სინათლის შემგროვებელი ოპტიკური ტელესკოპრეფლექტორების დამზადებისას. ეს საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ ისეთი რადიოტელესკოპები, რომელთაც გაცილებით დიდი სარკე ექნებათ, ვიდრე ოპტიკურ ტელესკოპებს. რადიოტელესკოპების სარკის დიამეტრი ათეულ, ზოგჯერ კი ასობით მეტრს აღწევს, რაც შესაძლებელს ხდის დავიჭიროთ უშორესი კოსმოსური წყაროების ძალზე სუსტი გამოსხივება.

რადიოგამოსხივება, რომელიც ციური სხეულებიდან მოდის, ორი სახისაა — სითბური და არასითბური. გავარვარებული სხეული ყოველთვის გზავნის ყველა სახის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, კერძოდ, რადიოტალღებსაც. ეს სითბური რადიოგამოსხივებაა. მისი ინტენსივობა სხეულის ტემპერატურასა და თვისებებზეა დამოკიდებული. არასითბური რადიოგამოსხივება, ზოგჯერ ძალიან ძლიერიც, შეიძლება წარმოიშვას სხვადასხვა ფიზიკური პროცესის დროს, კერძოდ, მაგნიტური ველის მიერ ისეთი ელექტრონების დამუხრუჭებისას, რომელთა სიჩქარეც სინათლის სიჩქარეს უახლოვდება.

დადგენილია, რომ მზის სხვადასხვა გარსი აგზავნის რადიოგამოსხივებას, რომლის სიმძლავრე ძალიან დიდ საზღვრებში მერყეობს და მზეზე მომხდარ ურთულეს ფიზიკურ პროცესებს ასახავს. რადიოტალღების გამოსხივება შეინიშნება აგრეთვე პლანეტების: ვენერასა და იუპიტერის ატმოსფეროშიც. მათ ინტენსიურად გამოასხივებენ გაზოვანი ნისლეულები — გაიშვიათებული, დაელექტროებული და აგრეთვე ნეიტრალური გაზის მასები. ბოლოს, რადიოგამოსხივების წყაროა ბევრი გიგანტური ვარსკვლავთ სისტემაც. ზოგი მათგანი უზარმაზარი ძალით გამოასხივებს რადიოტალღებს.

ციურ სხეულთა რადიოგამოსხივებისა და მისი გამომწვევი მიზეზების შესწავლა ძალზე აფართოებს ჩვენს წარმოდგენას ციურ სხეულებსა და მათ სისტემებზე, მათი ნივთიერებების აგებულებასა და მოქმედებაზე და, საერთოდ, ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებაზე.

რადიოასტრონომია ახალი, საინტერესო მეცნიერებაა. რადიოტელესკოპის გარდა, მის განკარგულებაშია სხვა მნიშვნელოვანი ხელსაწყოც — რადიოლოკატორი. რადიოლოკატორი დედამიწიდან ვიწრო კონად აგზავნის მოკლე რადიოტალღებს, ისე რომ, მათი ენერგია თითქმის არ იფანტება. რადიოლოკატორის მიერ გაგზავნილ რადიოტალღებს მრავალი სხეული და დაელექტროებული გაზი ირეკლავს. იმ დროის მიხედვით, რომელსაც რადიოტალღების იმპულსი სხეულიდან არეკლვის შემდეგ რადიოლოკატორიდან წასვლას და უკან დაბრუნებას ანდომებს, შეიძლება გავიგოთ მანძილი სხეულამდე და მისი მოძრაობის სიჩქარე, რადგან რადიოტალღების გავრცელების სიჩქარე ცნობილია.

რადიოლოკაცია, რომელსაც ადრე სამხედრო საქმეში იყენებდნენ, ახლა საშუალებას გვაძლევს ახალი მეთოდით გამოვითვალოთ მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე და მრავალ პლანეტამდე. მისივე დახმარებით პირველად საკმაო სიზუსტით დაადგინეს „ვარდნილი ვარსკვლავების“ — მეტეორების — მიერ დატოვებული კვლების სიმაღლე, აგრეთვე მათ წარმომშობ ნივთიერებათა ნაწილაკების სიჩქარეც საპლანეტათშორისო სივრციდან დედამიწის ატმოსფეროში შეჭრისას.

რადიოლოკაციას დიდი პერსპექტივები აქვს. კერძოდ, დროთა განმავლობაში იგი საშუალებას მოგვცემს „მოვსინჯოთ“ პლანეტების ზედაპირის რელიეფი, რომელიც სქელი ღრუბლებითაა დაფარული და ჩვეულებრივი ტელესკოპით შეუძლებელია მისი დანახვა.

სად მუშაობენ ასტრონომები

ასტრონომები მეცნიერულ მუშაობას ობსერვატორიებსა და ასტრონომიის ინსტიტუტებში ეწევიან. ინსტიტუტებში უმთავრესად თეორიულ გამოკვლევებს აწარმოებენ.

რევოლუციამდელ რუსეთში დაარსდა მსოფლიოში უდიდესი პულკოვოს ობსერვატორია (1839 წ.) და მთელი რიგი ობსერვატორიები, უმთავრესად უნივერსიტეტებთან.

საბჭოთა ეპოქაში ჩვენს ქვეყანაში დაარსდა თეორიული ასტრონომიის ინსტიტუტი ლენინგრადში, დიდი ასტროფიზიკური ობსერვატორიები ყირიმში, საქართველოში, სომხეთში, ასტრონომიული ობსერვატორიები კიევში, ხარკოვში, ყაზანში, ტაშკენტსა და სხვა ადგილებში.

მოსკოვის ადრინდელი პატარა ობსერვატორია გადაკეთდა მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტთან არსებულ პ. შტერნბერგის სახელობის ასტრონომიულ ინსტიტუტად.

ყველა ობსერვატორიაში მეცნიერული მუშაობა შეთანხმებული გეგმით წარმოებს.

მრავალი ასტრონომიული ობსერვატორია არსებობს სხვა ქვეყნებშიც. მათ შორის განსაკუთრებით ცნობილია უძველესი ობსერვატორიები პარიზსა და გრინვიჩში, რომლის მერიდიანიდანაც წარმოებს დედამიწაზე გეოგრაფიული გრძედების ათვლა. ახლახან გრინვიჩის ობსერვატორია გადაიტანეს ლონდონიდან მოშორებით, რადგანაც იქ

ბევრი დაბრკოლება ეღობებოდა ღამით დაკვირვებებს ცაზე. მსოფლიოში უდიდესი ტელესკოპები დგას კალიფორნიაში (ამერიკის შეერთებულ შტატებში) მაუნტ-პალომარის, მაუნტ-ვილსონის, ლიკისა და საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ყირიმის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიებში. ლიკის ობსერვატორია აგებულია XIX ს. ბოლოს, ხოლო დანარჩენი XX ს.

საბჭოთა კავშირში ასტრონომების მომზადება და სწავლება წარმოებს უნივერსიტეტებში მექანიკა-მათემატიკისა ან ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტებზე.

ჩვენი ქვეყნის ობსერვატორიებში

რევოლუციამდელ რუსეთში XIX ს. მიწურულსა და XX ს. დასაწყისში მხოლოდ რვა უნივერსიტეტთან (სულ ათი უნივერსიტეტი იყო) არსებობდა ასტრონომიული ობსერვატორია. ამ ობსერვატორიებში მუშაობდა ორ-ორი, სამ-სამი მეცნიერი. ისინი კვლევით მუშაობას, კერძოდ, ღამით დაკვირვებებსაც, სასწავლო მეცადინეობებთან ერთად ატარებდნენ. მხოლოდ პეტერბურგის ახლოს აგებულ ცნობილ პულკოვოს ობსერვატორიას (იხ. გვ. 381) ჰყავდა შტატში თხუთმეტამდე ასტრონომი, რომლებიც მხოლოდ მეცნიერულ მუშაობას ეწეოდნენ.

საბჭოთა ხელისუფლების დამყარებასთან ერთად ჩვენს ქვეყანაში სწრაფად განვითარდა მეცნიერება, გაფართოვდა და გაუმჯობესდა ძველი ობსერვატორიები, წარმოიშვა უამრავი ახალი ასტრონომიული დაწესებულება.

ჩვენს სამშობლოზე ფაშისტთა ვერაგულმა თავდასხმამ სამამულო ასტრონომიასაც მძიმე ჭრილობები მიაყენა. ჰიტლერელმა ბარბაროსებმა ნანგრევებად აქციეს ცნობილი პულკოვოს ობსერვატორია და მისი განყოფილება სიმეიზში (ყირიმი). პარტიისა და მთავრობის ზრუნვამ მეცნიერების განვითარებისათვის და მეცნიერთა თავდადებულმა შრომამ მოკლე ხანში აღადგინა დანგრეული ობსერვატორიები. ისინი უფრო დიდი და კეთილმოწყობილი გახდნენ. ძლიერმა ოპტიკურმა მრეწველობამ ჩვენი ობსერვატორიები პირველხარისხოვანი ტელესკოპებითა და სხვადასხვა ასტრონომიული ხელსაწყო-იარაღებით უზრუნველყო. თუ ომამდე ტელესკოპებსა და სხვა მოწყობილობებს საზღვარგარეთ ვუკვეთავდით, ახლა არა მარტო ჩვენთვის, სხვა ქვეყნებისთვისაც ვამზადებთ ობსერვატორიების აღჭურვილობას.

ჩვენში ტექნიკური შესაძლებლობების ზრდასთან ერთად ვითარდებოდა კონსტრუქტორული აზრიც. ყველაზე მნიშვნელოვანი იყო დ. მაკსუტოვის მიერ მენისკური ტელესკოპების გამოგონება. ახლა დიდი ზომის მენისკური ტელესკოპები დგას ჩვენი ქვეყნისა და საზღვარგარეთის ობსერვატორიებში.

ბევრი ახალი ობსერვატორია აიგო საბჭოთა კავშირის სამხრეთ რაიონებში, სადაც ჰაერი უფრო გამჭვირვალეა, ცა უმეტესად — უღრუბლო, ზაფხულში არაა „თეთრი ღამეები“. ამას დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო სამამულო, არამედ მსოფლიო მეცნიერებისათვის. ჩვენი ქვეყნის სხვადასხვა კუთხეებში აგებული ახალი ობსერვატორიები საშუალებას აძლევენ ასტრონომებს შეუფერხებლად ადევნონ თვალყური ციურ მოვლენებს.

საბჭოთა კავშირში უდიდესი პულკოვოს ობსერვატორია განაგრძობს ცაზე ვარსკვლავთა ზუსტი მდებარეობებისა და მათი მოძრაობების განსაზღვრის სახელოვან ტრადიციებს. იმისათვის, რომ ცის უფრო მეტ ნაწილს დააკვირდნენ, ობსერვატორიის ექსპედიცია უკვე რამდენიმე წელია აწარმოებს ვარსკვლავთ მდებარეობების განსაზღვრას ჩილიდან (სამხრეთ ამერიკა). პულკოვოს ობსერვატორიის საქმიანობაში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ციური სხეულების ფიზიკური ბუნების შესწავლას — ასტროფიზიკას. განსაკუთრებით მზის შესწავლას. პულკოვოში მუშაობენ ცნობილი ასტრონომები: ა. მიხაილოვი, მ. ზვერევი და სხვანი. აქ ამუშავებენ ასტრონომიის ყველა დარგის და, კერ-



პულკოვოს ობსერვატორია

ძოდ, რადიოასტრონომიის საკითხებს. პულკოვოში დგას ერთ-ერთი ყველაზე დიდი რადიოტელესკოპი. მისი დახმარებით შეისწავლეს ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის ბირთვის რადიოგამოსხივება.

ამასთან ერთად დიდი ხანია ვითარდება ობსერვატორიები, რომლებიც შედარებით ვიწრო ამოცანებს ისახავს. ასე მაგალითად, დედამიწის ზედაპირზე პოლუსების მოძრაობის შესასწავლად საერთაშორისო შეთანხმების საფუძველზე XIX საუკუნის მიწურულიდან ერთნაირ განედებზე, მაგრამ სხვადასხვა გეოგრაფიულ გრძედებზე დადგმულია მომცრო, ე. წ. განედური სადგურები. საბჭოთა კავშირში ამჟამად დამატებით შეიქმნა ასეთი სადგურები. განედთა რხევას, ე. ი. პოლუსების მოძრაობას, ჩვენში შეისწავლიან პოლტავაში, მოსკოვში, პულკოვოში, გორკში, ირკუტსკში.

ყველაზე დიდი ასტროფიზიკური ობსერვატორია საბჭოთა კავშირში ყირიმის ობსერვატორიაა. უზარმაზარი ტელესკოპის გარდა, რომელსაც 2,6 მ დიამეტრის სარკე აქვს, აქ დგას 1,25 მ სარკიანი რეფლექტორი, მზის განუწყვეტლივ შესწავლისათვის კი — საგანგებო კოშკურა და სხვა სახის ტელესკოპები. ამ ტელესკოპებით აკვირდებიან მზეზე მიმდინარე სხვადასხვა მოვლენას, იღებენ მზის, მისი სპექტრის ფოტოებს და კინოფილმებს.

ასტრონომები ა. სევერნი და ე. მუსტელი განსაკუთრებული წარმატებით შეისწავლიან მზეზე ცხელი გაზების ანთებას. ეს ანთებები და სხვა მოვლენები მზის ატმოსფეროში ცვალებადი მაგნიტური ველის არსებობით ახსნეს. ყირიმის ობსერვატორიაში ნ. კოზირევი აკვირდებოდა მთვარეზე ვულკანური გაზების გამოყოფას.

ყირიმის ობსერვატორიაში შეისწავლიან ვარსკვლავთ სიკაშკაშესა და ფერს, ამის საფუძველზე კი სივრცეში სინათლის შთანთქმასა და ვარსკვლავთა განაწილებას იკვლევენ. მრავალი სამუშაო სრულდება ვ. ნიკონოვის მიერ დამუშავებული უზუსტესი ელექტროფოტომეტრული მეთოდების დახმარებით. განსაკუთრებული ინტენსივობით სწავლობენ აქ ვარსკვლავთა სპექტრებს, რომელთა მიხედვითაც განსაზღვრავენ ვარსკვლავების რაოდენობრივ ქიმიურ შედგენილობასა და მათი ატმოსფეროების აგებულებას.

ყირიმის ობსერვატორია განსვენებულმა აკადემიკოსმა გ. შაინმა დააარსა (იხ. გვ. 395). თავის თანამშრომლებთან ერთად მან ახალი ხერხით აღმოაჩინა მრავალი გაზოვანი ნისლეული და შეისწავლა მათი ფორმა და ფიზიკური ბუნება. ობსერვატორიის ყველაზე დიდი ტელესკოპი გ. შაინის სახელს ატარებს.

ამას წინათ ყირიმის ობსერვატორიის მეზობლად ააგეს შედარებით მცირე სამეცნიერო დაწესებულება — პ. შტერნბერგის სახელობის სახელმწიფო ასტრონომიული ინსტიტუტის ყირიმის სადგური. ეს ინსტიტუტი მდებარეობს მოსკოვში ლენინის გორაკებზე, მაგრამ რადგანაც დიდი ქალაქის პირობებში ბევრი ასტრონომიული დაკვირვების ჩატარება შეუძლებელია, ამიტომ ამ ინსტიტუტის ასტრონომები დაკვირვებების ჩასატარებლად ყირიმში ან ალმა-ატასთან მდებარე მთის სადგურში ჩადიან.

ყირიმის სადგურში სწავლობენ პლანეტებისა და ვარსკვლავების ინფრაწითელ სპექტრებს, განსაკუთრებით კი ვარსკვლავთ გროვებს, ცვალებად

ვარსკვლავებს და ვარსკვლავთა სისტემებს — გალაქტიკებს.

ცვალებადი ვარსკვლავების შესწავლის საქმეში მოსკოვის, ამჟამად კი პ. შტერნბერგის სახ. ინსტიტუტის ობსერვატორიამ კარგა ხანია გაითქვა სახელი. ამ ინსტიტუტში საერთაშორისო ასტრონომიული კავშირის დავალებით პ. პარენაგოსა და ბ. კუკარკინის ხელმძღვანელობით მრავალი წლის წინათ დაიწყო და დღესაც მიმდინარეობს ცვალებად ვარსკვლავთა კატალოგების შედგენა. ათასობით ასეთი ვარსკვლავია უკვე ცნობილი,' ყოველწლიურად გროვდება ცნობები მათ შესახებ და მთელი ეს მასალა უნდა აღირიცხოს. ამისათვის ინსტიტუტში მრავალი ბარათია გახსნილი, რომლებშიც შეაქვთ ყველა ცნობა, რაც კი ცვალებად ვარსკვლავებს ეხება. აქ შეისწავლიან აგრეთვე ვარსკვლავთ მოძრაობასა და ვარსკვლავთ გროვებისა და გალაქტიკების სტრუქტურას, გამოსცემენ მრავალ სხვადასხვა კატალოგს.

ინსტიტუტის ასტროფიზიკის კათედრაზე განსაკუთრებით დიდ წარმატებებს მიაღწია ი. შკლოვსკიმ, რომელმაც ანალიზი გაუკეთა რადიოტელესკოპებით მიღებულ დაკვირვებებს.

მაგალითად, მან წინასწარ ივარაუდა ნეიტრალური წყალბადის რადიოგამოსხივების აღმოჩენის შესაძლებლობა, ახსნა ზოგიერთი ციური სხეულის ანომალური რადიოგამოსხივების მიზეზიც.

ინსტიტუტის პლანეტების განყოფილებაში მთვარის უკანა მხარის ფოტოების საფუძველზე, რომლებიც საბჭოთა საპლანეტათშორისო ავტომატურმა სადგურმა გადაიღო, შეიქმნა მთვარის პირველი გლობუსი. ცის მექანიკის კათედრაზე სხვა საკითხებთან ერთად სწავლობენ ხელოვნური ციური სხეულების მოძრაობის თეორიას; აქ არის ელექტრონული მანქანებით აღჭურვილი გამომთვლელი სადგური. უფრო მძლავრი თანამედროვე გამომთვლელი სადგური აქვს ლენინგრადის თეორიული ასტრონომიის ინსტიტუტს, სადაც შეისწავლიან დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ტრაექტორიას, განსაკუთრებულად გულმოდგინედ მუშაობენ ასტრონომიული წელიწდეულების (კალენდრების) შესადგენად, ციური სხეულების ორბიტების გამოსაკვლევად და ცის მექანიკის მეთოდების დასამუშავებლად. ინსტიტუტს ხელმძღვანელობს გ. ჩებოტარიოვი.

ტყიან ქედზე, კურორტ აბასთუმანთან, მდებარეობს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის დიდი ობსერვატორია. აქ მისი დამაარსებლის, ე. ხარაძის, ზრუნვის შედეგად დგას უდიდესი, 70 სმ დიამეტრის მენისკური ტელესკოპი, 40 სმ დიამეტრის რეფრაქტორი და სხვა ხელსაწყოები. ეს ასტროფიზიკური ობსერვატორიაა, სადაც შეისწავლიან მზეს, იკვლევენ სივრცეში სინათლის შთანთქმას და ახდენენ ვარსკვლავთა სპექტრების მასობრივ კლასიფიკაციას. სტუმართმოყვარე ობსერვატორიის კარი მუდამ ღიაა საბჭოთა და უცხოელი ასტრონომებისათვის, რომლებიც ოცნებობენ საქართველოს სამხრეთის ცის ქვეშ დაკვირვებების ჩატარებაზე.

სომხეთის მეცნიერებათა აკადემიამ ომის შემდეგ ერევნის მახლობლად, ალაგიოზის (არაგაცის) მთის ფერდობზე, ააგო მძლავრი ვარსკვლავთ-ასტრონომიული ობსერვატორია. მისი დამაარსებელი და დირექტორია მსოფლიოში ერთ-ერთი უდიდესი ასტროფიზიკოსი აკად. ვ. ამბარცუმიანი, სსრ კავშირში თეორიული ასტროფიზიკის პირველი სკოლის შემქმნელი. ამბარცუმიანმა პირველმა გამოარკვია გაზოვანი ნისლეულების ნათების მრავალი კანონი, შექმნა ირმის ნახტომის ნათებისა და ღრუბლოვან გარემოში სინათლის გავლის თეორიები და სხვ. უკანასკნელ წლებში მეცნიერთა განსაკუთრებული ყურადღება მიიპყრო მისმა გამოკვლევებმა ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავთ სისტემების წარმოშობა-განვითარების შესახებ. ვ. ამბარცუმიანმა აღმოაჩინა მსგავსი ფიზიკური ბუნების ვარსკვლავთა გაბნეული ჯგუფები, რომელთაც მან ასოციაციები უწოდა, და გამოთქვა აზრი, რომ ასოციაციებში შემავალი ვარსკვლავები ახალგაზრდა, შედარებით ახლად წარმოშობილი ვარსკვლავებია. ამრიგად, აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავები განუწყვეტლივ წარმოიშვებიან ჩვენს დროშიც.

ვ. ამბარცუმიანს მიაჩნია, რომ ვარსკვლავები ჩნდება ჩვენთვის ჯერ კიდევ უცნობი ზემკვრივი, ვარსკვლავამდელი ნივთიერებიდან მისი დანაწილების გზით. სწორედ ესაა მისი შეხედულებების თავისებურება. ამის საფუძველზე ვ. ამბარცუმიანი კიდევ უფრო შორს მიდის და იცავს ჰიპოთეზას, რომ გიგანტური ვარსკვლავთ სისტემები — გალაქტიკებიც ზემკვრივი ნივთიერების დანაწილების გზით წარმოიშვებიან. ამასთანავე იქმნება გა-

ლაქტიკების ჯგუფები, რომლებიც დიდი სიჩქარით იფანტებიან ყველა მიმართულებით. ვ. ამბარცუმიანის ამ შეხედულებების განხილვა და მათი შემოწმება არის თანამედროვე ასტრონომიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი და აქტუალური პრობლემა.

ალმა-ატისკენ დაქანებულ ტიან-შანის ფერდობებზე განლაგებულია ომის შემდეგ შექმნილი ყაზახეთის მეცნიერებათა აკადემიის ობსერვატორია. იგი დააარსა აკად. ვ. ფესენკოვმა. ამ ობსერვატორიაში დაიდგა პირველი დიდი მენისკური ტელესკოპი, რომლის დახმარებითაც შეადგინეს ირმის ნახტომის ზოლში არსებული გაზოვანი და მტვეროვანი ნისლეულების შესანიშნავი ატლასი. ვ. ფესენკოვმა თავისი წვლილი შეიტანა ასტრონომიის სხვადასხვა დარგში: იგი სწავლობდა ზოდიაქურ სინათლეს, სიხოტე-ალინის მეტეორიტის ვარდნას, მთვარის მიერ სინათლის არეკლვას, ვარსკვლავთა მოძრაობას, მათ ფერს და ირმის ნახტომის ვარსკვლავთა ძეწკვებს. ჩვენს ქვეყანაში პირველად ვ. ფესენკოვმა დააფუშავა მზის სისტემის წარმოშობის, ვარსკვლავთ ფიზიკური ბუნების, დედამიწის ატმოსფეროში სინათლის გაბნევისა და სხვა მრავალი საკითხი.

ალმა-ატის მეორე, უფრო პატარა ობსერვატორიაში გ. ტიხოვმა საფუძველი ჩაუყარა ასტრობიოლოგიას. ომის შემდეგ ეს გამოჩენილი პულკოველი ასტრონომი, ვარსკვლავთა ზუსტი ფერისა და მზის კორონის ერთ-ერთი პირველი მკვლევარი ალმა-ატაში დარჩა, სადაც ომის დროს იყო ევაკუირებული. აქ მან პირველად დაიწყო მცენარეთაგან არეკლილი სინათლის სპექტრების შესწავლა, ადარებდა მათ მარსიდან არეკლილ სინათლეს და ამ გზით ცდილობდა აეხსნა, არის თუ არა ამ პლანეტაზე მცენარეები. ამ მხრივ გ. ტიხოვის ყველა მოსაზრებას მეცნიერები არ იზიარებდნენ, მაგრამ მისმა შრომებმა ასტრონომების დიდი ინტერესი გამოიწვია სხვა სამყაროებში სიცოცხლის არსებობის შესაძლებლობის საკითხთან დაკავშირებით.

ორი ობსერვატორიაა კიევში; ძველი—უნივერსიტეტისა და ახალი — უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიისა. პირველი არცთუ ისე დიდია. აქ მუშაობს მეცნიერი-ენთუზიასტი ს. ვსეხსვიატსკი, რომელმაც გარემოქცევის მოკლე პერიოდის მქონე კომეტების სწრაფი გამოფიტვა დაამტკიცა და ბევრი მათგანის სიკაშკაშის ცვალებადობა შეისწავლა. ს. ვსეხსვიატსკის აზრით კომეტები პლანეტა-გიგანტებისა ან მათი თანამგზავრების ზედაპირზე მიმდინარე ვულკანური ამოფრქვევების შედეგად წარმოიშვება. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შეხედულებას ცოტა მომხრე ჰყავს. ს. ვსეხსვიატსკი დიდი ასტრონომის ს. ორლოვის მოწაფეა, რომელიც თავის მხრივ სახელგანთქმული თ. ბრედიხინის მემკვიდრედ ითვლება კომეტების შესწავლის საქმეში. ს. ორლოვის შრომებით დასრულდა იმ თეორიის დამუშავება, რომელიც კომეტების ფორმას მექანიკის კანონებით ხსნიდა. ახლა ეს თეორია კიდევ უფრო ვითარდება ფიზიკის საფუძველზე.

უკრაინის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ახალგაზრდა ობსერვატორია საკმაოდ კარგადაა აღჭურვილი. აქ ფოტოგრაფიის დახმარებით წარმოებს მნათობთა მდებარეობის, სიკაშკაშისა და ფერის განსაზღვრა. იგი დააარსა ა. ორლოვმა, რომელმაც გამოიკვლია დედამიწის ღერძის რხევები, დედამიწის მყარ სხეულში მოქცევების საკითხები და შეისწავლა სიმძიმის ძალა.

უკანასკნელ წლებში ვ. ცესევიჩის ხელმძღვანელობით ფართოდ გაიშალა მუშაობა ოდესის უნივერსიტეტის ობსერვატორიაში, სადაც განსაკუთრებით ყურადღებას აქცევენ ცვალებადი ვარსკვლავებისა და მეტეორების შესწავლას. მსგავს სამუშაოს ასრულებს დუშანბეს (ტაჯიკეთის სსრ) ობსერვატორიაც.

ვ. ენგელჰარდტის სახ. ყაზანის უნივერსიტეტის ობსერვატორიამ დიდი მუშაობა ჩაატარა ცვალებადი ვარსკვლავების შესასწავლად. დ. მარტინოვმა იქ შეისწავლა განსაკუთრებით საინტერესო ვარსკვლავები, რომლებიც პერიოდულად აბნელებენ ურთიერთს. ყაზანის უნივერსიტეტის ობსერვატორიაშივე სისტემატურად ადევნებენ თვალყურს ყველა ახალაღმოჩენილ კომეტას და სწავლობენ მთვარის რხევას თავისი ღერძის ირგვლივ (ლიბრაციას).

ტაშკენტის ობსერვატორია შედარებით ძველია. აქ ძირითადად სწავლობენ ვარსკვლავთ გროვებში ვარსკვლავთა მოძრაობას, იკვლევენ მზესა და ცვალებად ვარსკვლავებს.

უფრო პატარა, მაგრამ ამჟამად სწრაფად მზარდი ობსერვატორიებია: ტარტუში, რიგაში, ვილნიუსში, როსტოვში, ხარკოვში, ნოვოსიბირსკის

რაიონში. სვერდლოვსკში, ნიკოლაევში, კისლოვოდსკთან და სხვა ადგილებში.

ახალი დიდი ობსერვატორია შენდება შემახის რაიონში (აზერბაიჯანის სსრ), პირკულის მთაზე.

მოკლე მიმოხილვაში შეუძლებელია სრული წარმოდგენა შეგვექმნას საბჭოთა ობსერვატორიებსა და მეცნიერების დიდსა და საინტერესო მუშაობაზე, მაგრამ აქედანაც ნათლად ჩანს, რაოდენ ფართოა ჩვენი ქვეყნის ობსერვატორიების ქსელი და რა სხვადასხვაგვარ სამუშაოს ასრულებენ ისინი.

ასტრონომია საქართველოში

ასტრონომია ადამიანის პრაქტიკულ მოთხოვნილებათა საფუძველზე წარმოიშვა. იგი ყველა დროში და ყველგან იყო საჭირო. ამდენად, მეტნაკლებად ყველა სახელმწიფოში ვითარდებოდა. აძ მხრივ არც საქართველო იყო გამონაკლისი. შემონახული ჩანაწერებისა თუ ისტორიული ძეგლების მიხედვით ძველ საქართველოში ასტრონომიული მეცნიერება საკმაოდ მაღალ დონეზე მდგარა. ჩვენამდე მოღწეულია X საუკუნის ხელნაწერი კალენდარი, დაწერილი პალესტინაში ქართველი ბერის იოანე-ზოსიმეს მიერ. ეს კალენდარი საკმაოდ გავრცელებული ყოფილა არა მარტო საქართველოში, არამედ ახლო და შუა აღმოსავლეთშიც, განსაკუთრებით პალესტინაში. საგულისხმოა, რომ აქ თვეების აღრიცხვა დაკავშირებულია მზის მოძრაობასთან ზოდიაქოს თანავარსკვლავედებს შორს, აგრეთვე გათვალისწინებულია სხვაობაც წლის ზამთრისა და ზაფხულის ნახევრების ხანგრძლიობათა შორის.

1210 წლით დათარიღებულ ხელნაწერში დაწვრილებით არის განხილული და ახსნილი მთვარის ფაზები და დროის აღრიცხვა ზოდიაქოს თანავარსკვლავედების მიხედვით. საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმში დაცულია ხელნაწერი „ასტრონომიული ტრაქტატი“ (1233 წ.), რომელიც ეკუთვნის აბუსერიძე-ტბელს. ტრაქტატში გადმოცემულია დროის აღრიცხვის არა მარტო გავრცელებული და ჩვეულებრივი მეთოდები, არამედ საკმაოდ ორიგინალური გამოკვლევებიც. კერძოდ, თხზულებაში ასახულია ის წინააღმდეგობანი, რომლებიც არსებობდა დროის აღრიცხვის მაშინდელი მეთოდებით მიღებულ შედეგებსა და მნათობების მოძრაობათა კანონზომიერებებს შორის. როგორც ცნობილია, სწორედ ეს იწვევდა დროდადრო კალენდრების რეფორმებს. როგორც აკადემიკოსი მ. ბროსე აღნიშნავს, ქართველებმა ჯერ კიდევ 1233 წელს იცოდნენ ძველი კალენდრული სისტემის ის უზუსტობანი, რამაც 1582 წელს აიძულა პაპი გრიგოლ XIII კალენდრის რეფორმა მოეხდინა.

საქართველოში ბევრ სხვა ქვეყანაზე ადრე უარყვეს მთვარის ფაზებზე დაფუძნებული კალენდარი, რაც უდავოდ წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო დროის აღრიცხვის სისტემის სრულყოფის საკითხში.

ასტრონომიული ცოდნის გაფართოებასა და სრულყოფას საქართველოში ხელი შეუწყო თარგმნილმა ლიტერატურამაც. ამ ლიტერატურის მეშვეობით ქართველ მოღვაწეებს საქართველოში შემოჰქონდათ სამყაროს შესახებ არსებული შეხედულებები. ამ მხრივ აღსანიშნავია იოანე დამასკელის „ცოდნის წყარო“ (VIII ს.), რომელიც თარგმნეს ჯერ ეფრემ მცირემ (XI ს.), ხოლო რამდენიმე ათეული წლის შემდეგ არსენ ვაჩისძემ. ორიგინალური და თარგმნილი ნაშრომების წყალობით საქართველოში სწორი წარმოდგენა ჰქონიათ დედამიწის სფერულობის, ანტიპოდების არსებობის, მზისა და მთვარის დაბნელებათა მიზეზებისა და მათი წინასწარ გამოთვლის შესახებ. „ცოდნის წყაროს“ თარგმანები ღირსშესანიშნავია იმითაც, რომ შიგ ვხვდებით მდიდარ ქართულ ტერმინოლოგიას. ხელნაწერებში მთარგმნელებს დაუმატებიათ ზოგიერთი ცნობა და შეუსწორებიათ, რაც იმდროინდელი ქართული ასტრონომიული ცოდნის მაღალ დონეზე მიუთითებს. ამასვე მოწმობს იმ ხელნაწერთა სიუხვე, სადაც თავმოყრილია ასტრონომიული მასალა.

ასტრონომიით დაინტერესებული ყოფილა და-

ვით აღმაშენებელი. იგი თვითონ აკვირდებოდა ცას გელათის აკადემიაში, მის მიერ დაარსებული ობსერვატორიიდან. გელათის გარდა, როგორც ცნობილია, ობსერვატორია არსებობდა თბილისშიც (XIII ს.), საიდანაც ინტენსიურად აკვირდებოდნენ ცის მნათობებს. თბილისელი ასტრონომები მოხსენიებული ჰყავს ნასირედინს თავის შედგენილ, ცნობილ ელხანის ცხრილების შესავალში. თბილისის ობსერვატორიის აქტიურ მუშაობაზე მიუთითებს თუნდაც ის ფაქტი, რომ უკვე XIII საუკუნეში იმ დროისათვის საკმაოდ ზუსტად იყო განსაზღვრული თბილისის გეოგრაფიული განედი. ეს კი მოითხოვდა ასტრონომიულ ცოდნასა და დიდი სიზუსტის დაკვირვებებს. საგულისხმოა ისიც, რომ საქართველოში მკვიდრად ვერ მოიკიდა ფეხი იმ დროისათვის სხვა ქვეყნებში გავრცელებულმა ასტროლოგიამ, რომელიც ვარსკვლავების მდებარეობის მიხედვით ადამიანის ბედის წინასწარმეტყველებას ქადაგებდა.

ცნობებს ასტრონომიულ მოვლენებზე უფრო ძველ წყაროებშიც ვხვდებით. კერძოდ, ბრინჯაოს ხანის ცულებზე აღბეჭდილია ვერძის თავი და მზის გამოსახულებები. ეს ორი სიმბოლო კი მზის წლიურ მოძრაობასთან არის დაკავშირებული; ასტრონომიული ნიშნები ძველი წელთაღრიცხვის-დროინდელ მონეტებზეც გვხვდება. მათზე ასახულია ესა თუ ის ასტრონომიული ცნება ან მოვლენა.

ასტრონომიული მასალა გვხვდება XIII—XVIII საუკუნეების ხელნაწერებშიც, რომლებიც ჯერ სათანადოდ არ არის შესწავლილი. ცნობილია, რომ XVIII საუკუნეში ვახტანგ VI ქართულად თარგმნა ულუღ-ბეგის (XV ს.) ცნობილი ვარსკვლავთ კატალოგი და მას საგულისხმო კომენტარებიც დაურთო.

საქართველოში ასტრონომიის განვითარება განსაკუთრებით XIX საუკუნის ბოლოდან იწყება, როდესაც პროფ. ს. გლაზენაპი თავისი პატარა ტელესკოპით შეუდგა ორჯერად ვარსკვლავებზე დაკვირვებებს კურორტ აბასთუმნიდან. გლაზენაპის მიერ შესრულებული სამუშაოები საინტერესო იყო იმ მხრივაც, რომ დაკვირვების ადგილი (აბასთუმანი) ერთ-ერთი შესანიშნავია ასტრონომიული საქმიანობისათვის. მეცნიერებს სურდათ აბასთუმანში ობსერვატორია აეგოთ, მაგრამ საბჭოთა ხელისუფლების დამყარებამდე ეს სურვილი სურვილადვე დარჩა. ობსერვატორიის აგების საკითხი მხოლოდ საბჭოთა ხელისუფლების დროს, 1930-იან წლებში დაისვა და განხორციელდა 1932 წელს.

საქართველოს ეს მსხვილი სამეცნიერო დაწესებულება მდებარეობს კურორტ აბასთუმნის მახლობლად, მთებში, ზღვის დონიდან 1700 მეტრის სიმაღლეზე. მოწმენდილი, უღრუბლო ღღე-ღამეების, ჰაერის გამჭვირვალობისა და ნაკლები მტვრიანობის, ქარების სიმცირისა და სხვა პირობების მიხედვით ეს ადგილი განსაკუთრებით ხელსაყრელია ასტრონომიული დაკვირვებებისათვის. სწორედ ამიტომ გადაწყვიტეს სამთო ასტროფიზიკური ობსერვატორია აქ აეგოთ. ობსერვატორიის დაარსებისა და სამეცნიერო სამუშაოების დაწყების ორგანიზაცია, კადრების მიზიდვის, მომზადებისა და ობსერვატორიის შემდგომი განვითარების საქმე დაევალა მაშინ სულ ახალგაზრდა მეცნიერ მუშაკს ევგენი ხარაძეს. მისი ხელმძღვანელობითა და დაუღალავი შრომით აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, რომელსაც ახლა უკვე ცნობილი მეცნიერი, აკადემიკოსი ე. ხარაძე განაგებს, არა მარტო საბჭოთა კავშირში, არამედ მთელ მსოფლიოში სახელმოხვეჭილ, ერთ-ერთ ვსხვილ ასტრონომიულ სამეცნიერო დაწესებულებად გადაიქცა და მის მიღწევებს გარკვეული ადგილი უჭირავს მსოფლიოს ასტრონომიულ საგანძურში.

მრავალი სიძნელის მიუხედავად, რაც დაკავშირებული იყო უგზოობის, გაუვალი ტყისა და მაღალი მთის პირობებთან, ახლად დაარსებულ ობსერვატორიაში მაშინვე დაიდგა ნიკონოვის კონსტრუქციის პირველი საბჭოთა სავარსკვლავო ელექტროფოტომეტრი, რომლის საშუალებით ხორციელდებოდა უზუსტესი დაკვირვებები ცვალებად ვარსკვლავებზე. ამ ხელსაწყოს გაუმჯობესებული სახით დღესაც წარმატებით იყენებენ სხვადასხვა ობიექტებზე დასაკვირვებლად. 1937 წელს ობსერვატორიის ტერიტორიაზე, მთა ყანობილზე, აიგო პირველი დიდი კაპიტალური შენობა იმ დროისათვის მძლავრი რეფრაქტორის დასადგმელად. 9,5 მეტრის დიამეტრიანი სფერული გუმბათის შიგნით ამუშავდა თითქმის 7 მეტრის სიგრძისა და 40 სანტიმეტრი დიამეტრის მქონე ტელესკოპი. იმავე ხანებში ობსერვატორიაში მწყობრში ჩადგა შმიდტის კონსტრუქციის საკმაოდ ძლიერი ანაბერაციული კამერა, რომელიც გამოიყენეს გა-

რეგალაქტიკურ ნისლეულებსა და ცეფეიდებზე დასაკვირვებლად. 1938 წლიდან დაიდგა ე. წ. სპექტროჰელიოსკოპი — ხელსაწყო, რომლის საშუალებით შეისწავლიან მზეს სპექტრის სხვადასხვა უბანში.

ობსერვატორია სულ უფრო და უფრო ძლიერდება, მწყობრში დგება თანამედროვე სრულყოფილი იარაღები. ამჟამად, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა, ასტრონომების განკარგულებაშია პირველხარისხოვანი სამზერი ხელსაწყო — ქრომოსფერულ-ფოტოსფერული ტელესკოპი და ახალი კორონოგრაფი, რომლებითაც აკვირდებიან მზის ამოფრქვევებს, პროტუბერანცებს, კორონასა და სხვ. აბასთუმნის ობსერვატორიის სიამაყეს წარმოადგენს მაკსუტოვის სისტემის მძლავრი ტელესკოპი დიდი ობიექტივწინა პრიზმით, რომელზედაც მიიღება ძალზე მკრთალი ვარსკვლავების გამოსახულებები და მათი სპექტრები. ეს ახალი ტელესკოპი (დაიდგა 1956 წელს) აღჭურვილია სამართი პულტით, რომელიც ავტომატურად აწესრიგებს ტელესკოპის სხვადასხვა სახის მოძრაობას.

ახლახან აშენებულ პავილიონებში მოთავსებულია მზის სპექტრის ინფრაწითელი უბნის გამოსაკვლევი ჰორიზონტალური ლაბორატორიული ხელსაწყო, რამდენიმე სპექტროგრაფი ღამის ცის ნათებაზე დასაკვირვებლად სპექტრის სხვადასხვა უბანში, ელექტროფოტომეტრები ბინდის ცის სინათლის ინტენსივობის გასაზომად, ხელსაწყოები დედამიწის ატმოსფეროს ფენების შესასწავლად და სხვა. განსაკუთრებული ხელსაწყოების დახმარებით შეისწავლიან მთვარისა და პლანეტების ზედაპირების აგებულებას.

ობსერვატორიაში წარმოდგენილია აგრეთვე ასტრონომიის ახლად აღმოცენებული დარგი — რადიოასტრონომია, რომელიც სწრაფად ვითარდება. წარმატებით იყენებენ ელექტრონიკას ასტრონომიულ კვლევაში, რისთვისაც შექმნილია განსაკუთრებული ლაბორატორია სათანადო მოწყობილობით.

ყველა ამ ზემოთ ჩამოთვლილი იარაღებით მთელი წლის განმავლობაში, ზამთარ-ზაფხულ, როგორც ღამით, ისე დღისით, წარმოებს დაკვირვებები.

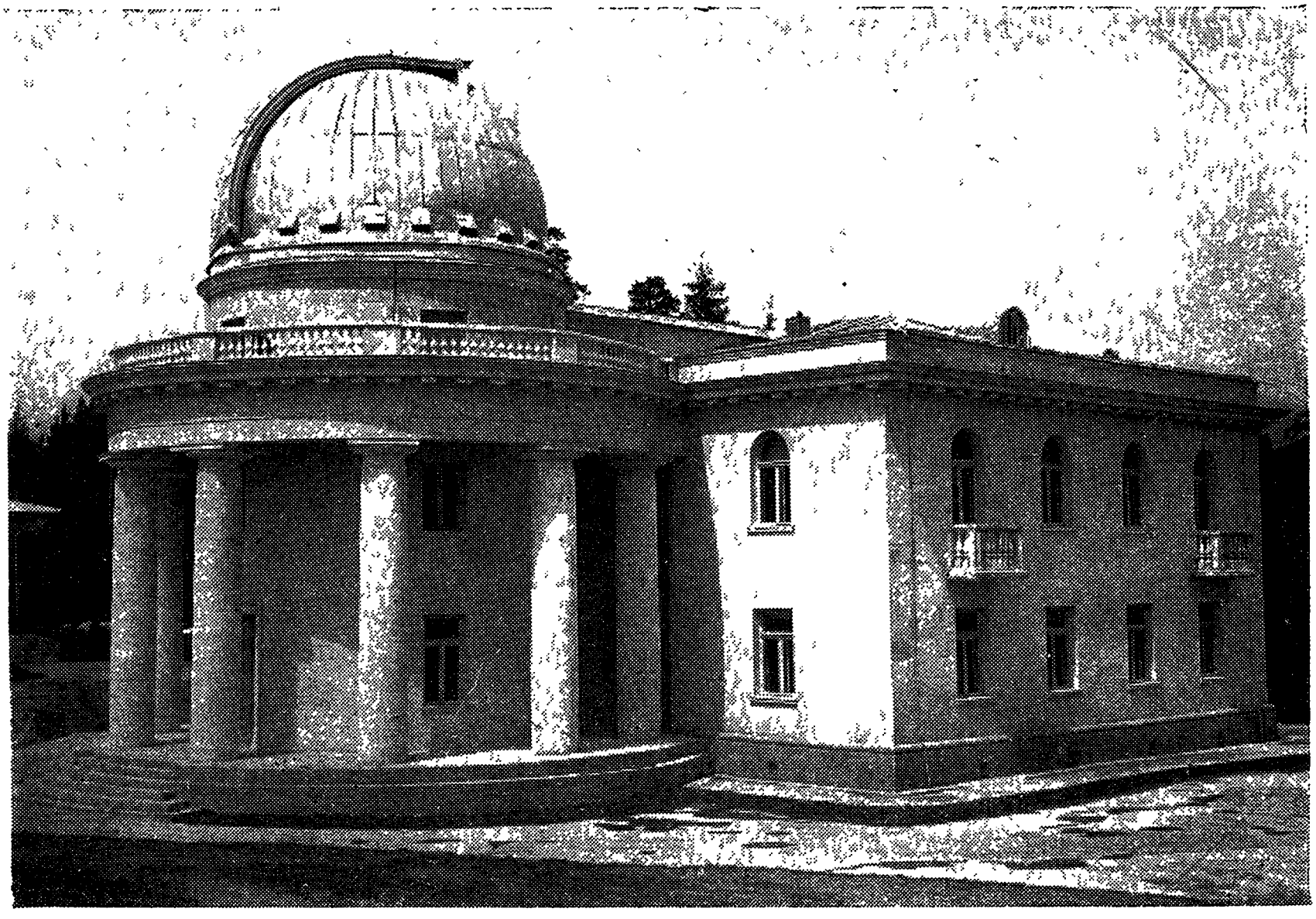
დაკვირვებებით მიღებული მასალა საჭიროებს საფუძვლიან და ყოველმხრივ დამუშავებას. საამისოდ მოწყობილია მთელი რიგი ლაბორატორიები, რომლებშიც მრავალი რთული და ზუსტი იარაღი დგას, შეგროვილია სამუშაო და ვარსკვლავიერი ცის რუკები; ცალკეა ფოტოგრაფიული, ფოტომეტრული, სპექტრული და სხვა ლაბორატორიები. განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს „მინის ბიბლიოთეკას“, სადაც ინახება ცის არეების ფოტოები და სპექტროგრამები, მიღებული ობსერვატორიის დაარსებიდან დღემდე. ამჟამად ამ „ბიბლიოთეკაში“ რამდენიმე ათასი ფოტონეგატივია დაცული.

ობსერვატორია აწარმოებს სამეცნიერო ნაშრომთა გაცვლას საბჭოთა კავშირისა და მსოფლიოს მრავალ ასტრონომიულ დაწესებულებასთან.

აბასთუმნის ობსერვატორია წარმატებით მუშაობს ასტრონომიული მეცნიერების სხვადასხვა დარგებში. კერძოდ, აქ მუშაობენ ჩვენი გალაქტიკის აგებულების შესწავლაზე, არკვევენ ჯგუფებს, რომლებშიც გაერთიანებულია სხვადასხვა ტიპის ვარსკვლავები, იკვლევენ ნისლეულებს — სივრცეში გაბნეულ გაიშვიათებულ ღრუბლებს — ცვალებად ვარსკვლავებს, მზეს, პლანეტებს, დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენებს და სხვა.

დიდი გულმოდგინებით წარმოებს ვარსკვლავთშორის სივრცეში სინათლის შთანთქმის კანონზომიერებათა გამოკვლევები, რაც აუცილებელია გალაქტიკის აგებულების შესასწავლად. შედგენილია ვრცელი კატალოგი 14 000 ვარსკვლავის ფერის ექვივალენტებით. კატალოგის ანალიზით დადგინდა სინათლის შთანთქმის ხასიათი სხვადასხვა მიმართულებით 40-ზე მეტ უბანში და დედამიწიდან საკმაოდ შორ მანძილებამდე, შეფასდა ვარსკვლავთშორისეთის შთამნთქმელი მატერიის საერთო მასა, აღინიშნა, რომ ეს შთამნთქმელი ღრუბლები სივრცეში თანაბრად კი არ არის განაწილებული, არამედ ცალკეული ღრუბლები ჯგუფებად გვხვდება და ამ ღრუბლების შემადგენელი ნაწილაკები, რომლებიც სინათლეს განაბნევენ და შთანთქავენ, სხვადასხვა ზომისაა.

ამ გამოკვლევებმა წამოჭრეს რუკის — ატლასის — შედგენის საკითხი, სადაც ნაჩვენები იქნებოდა გალაქტიკაში ბნელი ღრუბლების მდებარეობა. ესეც აბასთუმნის ობსერვატორიაში განხორციელდა. შედგა სრულყოფილი და თანამედროვე მონაცემების საფუძველზე შემუშავებული ატლასი, რომელმაც გვიჩვენა, რომ ბნელი ნისლეულები ძირითადად განლაგებულია გალაქტიკის შუა ნაწი-



აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დიდი მენისკური ტელესკოპის კოშკი ლაბორატორიითურთ.

ლის — მისი ეკვატორის — გასწვრივ და ცალკეული ღრუბლებიც ორიენტირებულია იმავე ეკვატორის პარალელურად. ატლასის განხილვის შედეგად შეფასებულია ბნელი ღრუბლების საშუალო მასა, ცალკეულ ღრუბლებში სინათლის შთანთქმის საშუალო მნიშვნელობა, საშუალო სიმკვრივე და სხვა.

ობსერვატორიაში შედგენილი კატალოგის საფუძველზე მიიღეს ირმის ნახტომის ნათელი და ბნელი უბნებისათვის შთანთქმის კოეფიციენტის მნიშვნელობები და სხვა; განსაზღვრეს შთამნთქმელი მატერიის სისქის მნიშვნელობა სხვადასხვა მიმართულებით. გალაქტიკაში სინათლის შთანთქმის შესწავლას მიეძღვნა მთელი რიგი შრომები, რომლებშიც განსაზღვრულია სხვადასხვა ტიპის ვარსკვლავების ფერის ექვივალენტები და ამის საფუძველზე მნიშვნელოვანი დასკვნებია გამოტანილი.

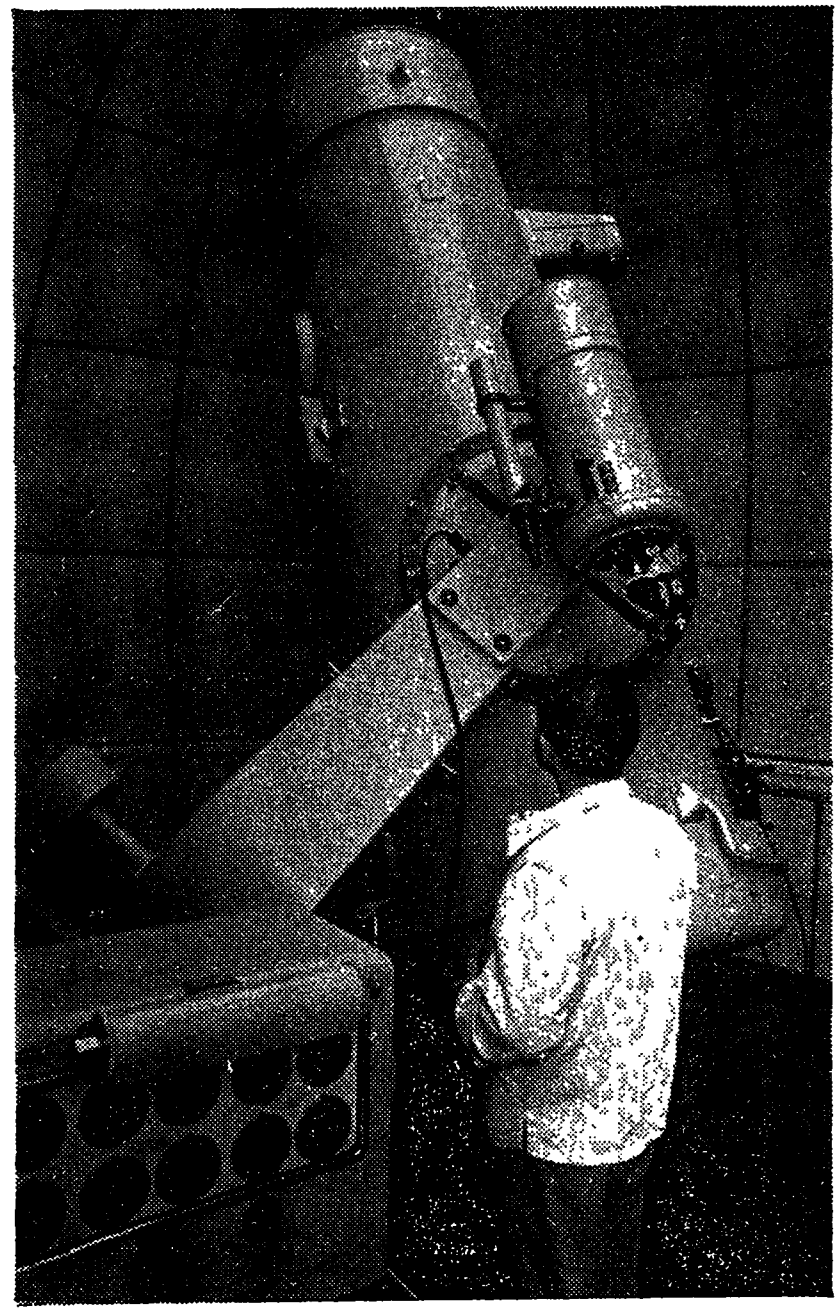
გალაქტიკაში სინათლის შთანთქმის ფაქტი 1930 წელს დადასტურდა და უკვე ორმოციან წლებში აბასთუმნის ობსერვატორიაში ჩატარებული დაკვირვებებისა და გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ სინათლის შთანთქმა გამოწვეულია არა უწყვეტი გარემოს მიერ, როგორც მანამდე ფიქრობდნენ, არამედ ცალკეული ბნელი ღრუბლებით. საყურადღებო სამუშაოები ჩატარდა შთამნთქმელი მატერიის სიმეტრიის სიბრტყის განსასაზღვრავად, განიხილეს შერჩევითი და სრული შთანთქმის ურთიერთდამოკიდებულების საკითხი, დამუშავდა მანძილების განსაზღვრის დროს შთანთქმის გავლენის გათვალისწინების მარტივი და მოხერხებული მეთოდი. აბასთუმნის ობსერვატორიაში ამჟამადაც

ინტენსიურად მუშაობენ გალაქტიკური შთანთქმის საკითხებზე.

მართალია, ვარსკვლავები თავიანთი ბუნებით ერთმანეთის მსგავსი სხეულებია, მაგრამ მათ შორის განსხვავება მაინც არის. მასა, ზომა, ფერი და ტემპერატურა სხვადასხვა ვარსკვლავს სხვადასხვანაირი აქვს. სხვადასხვანაირობა თავს იჩენს ვარსკვლავთ სპექტრების თავისებურებებში; თვითეულ ვარსკვლავს თავისი სპექტრი შეესაბამება, რომელიც მიუთითებს ვარსკვლავის ფიზიკურ ბუნებაზე, მის მდგომარეობაზე. სპექტრების მრავალფეროვნების მიუხედავად, შეიძლება მათი კლასიფიკაცია, ე. ი. მათი დანაწილება მსგავსი თვისებების მქონე ჯგუფებად. სპექტრების მიხედვით შესაძლებელია შევისწავლოთ ვარსკვლავთ ტემპერატურა, სიმკვრივე, მასა, ქიმიური შედგენილობა, განვსაზღვროთ მანძილები, ვარსკვლავების სივრცული და ბრუნვითი მოძრაობები, გამოვიკვლიოთ დედამიწისა და სხვა პლანეტების ატმოსფეროები, ვარსკვლავთშორისეთის შთანთქმა და მრავალი სხვა.

ობსერვატორიაში უკვე შესრულებულია მრავალი სპექტრის კლასიფიკაცია, ამასთან უფრო დეტალური, ე. წ. ორგანზომილებიანი. სპექტრების ანალიზით განსაზღვრულია და კატალოგის სახითაა მოცემული ორი ათასამდე ვარსკვლავის მანძილი. სპექტრების დახმარებითვე შეისწავლეს ზოგიერთი ვარსკვლავის მოახლოებისა და დაშორების სიჩქარეები, ე. წ. სხივური სიჩქარეები. სპექტრული სამუშაოები აბასთუმნის ობსერვატორიაში განსაკუთრებით ინტენსიურად წარმოებს მას შემდეგ, რაც იქ დაიდგა მაკსუტოვის სისტემის ძლიერი ტელესკოპი ობიექტივწინა დიდი პრიზმით.

აბასთუმნის ობსერვატორიაში დიდი ყურადღება ეთმობა ვარსკვლავთა მოძრაობის კვლევის საკითხს. კერძოდ, შესრულებულია სამუშაოები განსაკუთრებული სპექტრული კლასების ვარსკვლავთა ჯგუფური მოძრაობების ე. წ. K ეფექტის ირგვლივ და მითითებულია, რომ ეს გამოწვეული უნდა იყოს გალაქტიკის სპირალურ შტოებში ადრე არსებული ასოციაციების დაშლით. აღნიშნულ ნაშრომებში შეფასებულია განხილული სპექტრული კლასის ვარსკვლავების ასაკი და ის სიჩქარეები, რომლითაც ისინი ტოვებენ ასოციაციებს. ამ შრომებით აბასთუმნის ობსერვატორია ერთ-ერთი პირველი გამოეხმაურა აკადემიკოს ვ. ამბარცუმიანის მიერ 1947 წელს ჩამოყალიბებულ და ახლა უკვე საყოველთაოდ აღიარებულ თეორიას, რომელიც ვარსკვლავთ ასოციაციების თეორიის სახელით არის ცნობილი.



აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დიდი მენისკური ტელესკოპი.

ვარსკვლავთ მოძრაობების კანონზომიერებებს ეხება აგრეთვე სხვა ნაშრომები, რომლებშიც განხილულია გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ ვარსკვლავთ ორბიტებისა და ვარსკვლავთ სიჩქარეების რამდენიმე კომპონენტის განაწილების საკითხები.

საქართველოში შემუშავდა გალაქტიკის აგებულების შესწავლის ერთ-ერთი მოხერხებული მეთოდი, რომელიც უაღრესად პრაქტიკულია ყველა თანამედროვე მეთოდს შორის. ამჟამად ის მსოფ-

ლიო მასშტაბით არის აღიარებული და წარმატებით იყენებენ ყველა ქვეყნის მეცნიერები.

აბასთუმნის ობსერვატორიაში ფართოდ არის წარმოდგენილი ვარსკვლავთ ასტრონომიისა და ასტროფიზიკის ერთი ფრიად ვრცელი და მნიშვნელოვანი დარგი, რომელიც შეისწავლის ცვალებად და არასტაციონარულ ვარსკვლავებს. ასეთი კატეგორიის ვარსკვლავების შესწავლით განისაზღვრება ვარსკვლავთა ფიზიკური და გეომეტრიული პარამეტრები: ბრწყინვალება, მასა, სიმკვრივე, სიკაშკაშის განაწილება მათ ზედაპირზე, რადიუსი, ორბიტის ზომა, მოყვანილობა, სივრცეში ორიენტაცია და სხვა. ამდენად, ცვალებადი ვარსკვლავების შესწავლა მკვლევართა დიდ ინტერესს იწვევს.

ცვალებად ვარსკვლავებს აბასთუმნის ობსერვატორია მისი დაარსების დღიდან სწავლობს. თავდაპირველი მარტივი დაკვირვებები შეიცვალა უფრო რთული და თანამედროვე მოთხოვნილებების შესაბამისი დაკვირვებებით, რისთვისაც გამოყენებულია ზუსტი და მრავალგვარი იარაღები.

შესწავლილია მრავალი ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვლილების ხასიათი, გამოვლინებული და დადგენილია ბევრი ძნელად შესამჩნევი ეფექტი, შესწორებული და დაზუსტებულია ადრე მიღებული შედეგები და სხვა.

მრავალი საყურადღებო მონაცემია მიღებული არასტაციონარული ვარსკვლავების ერთ-ერთ ტიპიურ წარმომადგენელზე. სახელდობრ, ამ ვარსკვლავის სპექტრის ხაზების დეტალური ანალიზით დადგენილია, რომ ვარსკვლავების გარსის შემცველი ქიმიური ელემენტები ფენობრივადაა განლაგებული, რომლებშიც ფიზიკური პირობები (ტემპერატურა, სიმკვრივე და სხვა) სხვადასხვაა. შემჩნეულია ამ ვარსკვლავების ზოგიერთი სხვა თავისებურებაც. ამჟამად აღმოჩენილია კავშირი ამ ვარსკვლავებსა და ბნელი და ბოჭკოვანი ნათელი გაზოვანი ნისლეულების განლაგებას შორის, რაც შესაძლოა ფრიად საინტერესო აღმოჩნდეს კოსმოგონიის თვალსაზრისით.

წარმატებით მუშაობენ ჩვენი მეცნიერები პლანეტმსგავს და გაზოვან ნისლეულებზე. ზუსტი ელექტროფოტომეტრული დაკვირვებებით ზოგიერთი მათგანისათვის დადგენილია სივრცული სიმკვრივის განაწილება, გამოთვლილია ელექტრონების კონცენტრაცია და შეფასებულია მასის ის მნიშვნელობა, რომელზე ნაკლებიც არ შეიძლება ჰქონდეს განხილულ ნისლეულებს. შემჩნეულია ზოგიერთ ნისლეულში პოლარიზაციის ძლიერი ეფექტი და დადასტურდა ნისლეულისა და რადიოგამოსხივების წყაროს კავშირი.

აბასთუმნის ობსერვატორიაში ინტენსიურად მიმდინარეობს ჩვენი მზის შესწავლა-დაკვირვება. მზე ჩვენთვის უახლოეს ვარსკვლავს წარმოადგენს და მისი შესწავლა ძვირფას ცნობებს მოგვცემს, საერთოდ, ვარსკვლავების აგებულებაზე; მეორე მხრივ, მზის მოვლენებში კანონზომიერებების დადგენა დაგვეხმარება დედამიწის ატმოსფერული მოვლენების წინასწარ განსაზღვრაში, რამდენადაც მზის აქტივობაზე ბევრად არის დამოკიდებული ჩვენი ატმოსფეროს მდგომარეობა.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მზის შესწავლა მისი სრული დაბნელების პირობებში. მზის დაბნელების დროს ისეთი დაკვირვებებია შესაძლებელი, რომელთა ჩატარება დაბნელების გარეშე შეუძლებელია. აბასთუმნის ობსერვატორია მრავალი დაბნელების დაკვირვებებში მონაწილეობდა, როგორც საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის ფარგლებში, ისე მის გარეთაც. კარგა ხანია წარმოებს მზის გამოკვლევა დაბნელების გარეშეც.

ობსერვატორიაში ჩვენი მზის სისტემის პლანეტებისა და მთვარის შესწავლასაც მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა, განსაკუთრებით უკანასკნელ ხანებში, როდესაც დაიდგა საამისოდ განკუთვნილი ზუსტი და სრულყოფილი იარაღები.

ზუსტი ელექტროპოლარიმეტრული მეთოდის გამოყენებით შემჩნეულია, რომ მთვარის „ზღვები“ უფრო გვიანდელი წარმოშობისაა, ვიდრე სხვა წარმონაქმნები, და რომ მთვარის რელიეფი ვულკანური წარმოშობისა უნდა იყოს. ობსერვატორიაში საინტერესო ვიზუალურ, ფოტოგრაფიულ და ელექტროპოლარიმეტრულ დაკვირვებებს აწარმოებენ აგრეთვე პლანეტა მარსზე, განსაკუთოებით მისი პირისპირდგომების დროს.

მნიშვნელოვანი თეორიული და პრაქტიკული ღირებულების დაკვირვებები წარმოებს ობსერვატორიაში დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენების შესასწავლად. შესწავლილია ატმოსფეროში წნევისა და სიმკვრივის ვერტიკალური განაწილება დაახლოებით 130 კმ სიმაღლემდე, შემჩნეულია ბინდის ფერის მაჩვენებლისა და ბინდის ინტენ-

სივობის სეზონური ცვლილებები, ატმოსფეროს ზედა ფენების სპექტრის სახის კავშირი მზის აქტივობასთან, აღმოჩენილია ამ სპექტრში რამდენიმე ახალი ზოლი და სხვა.

ჩვენი მეცნიერები მუშაობენ აგრეთვე ასტრონომიის ისეთ კლასიკურ დარგებში, როგორიცაა ცის მექანიკა და თეორიული ასტრონომია.

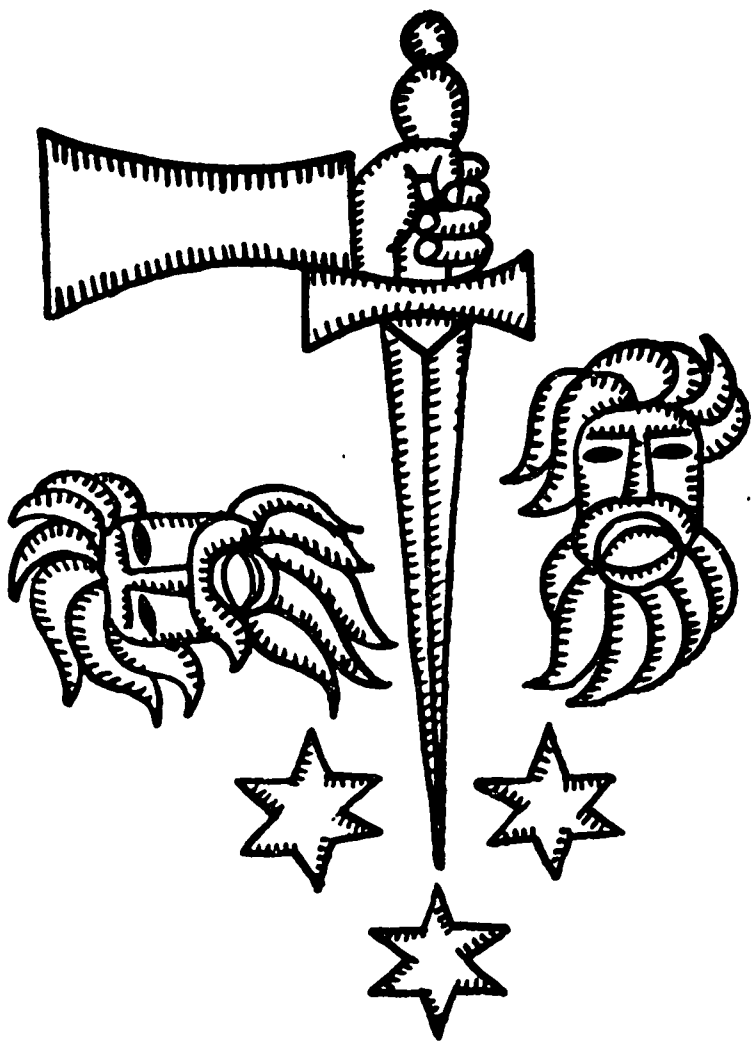
აბასთუმნის ობსერვატორიის თანამშრომლებმა სხვადასხვა დროს აღმოაჩინეს კომეტები, ახალი ვარსკვლავები, პლანეტმსგავსი ნისლეულები. ცვალებადი ვარსკვლავები და რამდენიმე ასტეროიდი. როგორც წესი, ამ ახლად აღმოჩენილი ობიექტების სხვადასხვა მახასიათებლებს იქვე, ობსერვატორიაში, განსაზღვრავენ.

აბასთუმნის ობსერვატორიას მჭიდრო მეცნიერული ურთიერთობა აქვს საბჭოთა კავშირის ყველა და საზღვარგარეთის მრავალ ობსერვატორიასთან.

აბასთუმნის ობსერვატორიაში ჩატარებული სამუშაოების ეს მოკლე მიმოხილვა საშუალებას გვაძლევს ზოგადი წარმოდგენა ვიქონიოთ ობსერვატორიის თანამშრომელთა მრავალფეროვან და საინტერესო საქმიანობაზე. ასტრონომიული სამუშაოები სრულდება აგრეთვე თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასტრონომიის კათედრაზე, რომელიც მჭიდროდ არის დაკავშირებული აბასთუმნის ობსერვატორიასთან.

საქართველოს ასტრონომები ნაყოფიერად მუშაობენ ხალხის ფართო მასებში ასტრონომიული ცოდნის გასავრცელებლად. 1961 წლიდან ყოველწლიურად გამოდის ქართული ასტრონომიული კალენდარი — წელიწდეული.





რა ვიცით სამყაროს შესახებ

ვარსკვლავიერი ცა

ვარსკვლავიერი ცა დედამიწის მხოლოდ ერთი რომელიმე უბნიდან რომ მოჩანდეს, ხალხი განუწყვეტელ ნაკადად ივლიდა ამ ადგილისკენ, რათა შესანიშნავი სანახაობით დამტკბარიყო. ჩვენთვის, XX ს. ადამიანებისთვის, ვარსკვლავიერი ცა განსაკუთრებულად დიდებულია, რადგან ვარსკვლავთა ბუნებას ვიცნობთ. ყოველი მათგანი ხომ მზეა, გიგანტური გავარვარებული გაზოვანი სფერო.

ბნელ ღამეში ცაზე იმდენი ვარსკვლავი მოჩანს, რომ გეგონებათ, მათი დათვლა შეუძლებელია, მაგრამ ასტრონომებმა ტელესკოპის გამოგონებამდე დიდი ხნით ადრე ყველა ვარსკვლავი დაითვალეს, რომელთა დანახვაც ცაზე შეუიარაღებელი თვალით შეიძლება. აღმოჩნდა, რომ ცაზე (სამხრეთ ნახევარსფეროს ცის ჩათვლით) მოწმენდილ, უღრუბლო ღამით ნორმალური მხედველობის მქონე ადამიანმა შეიძლება დაახლოებით 6000 ვარსკვლავი დაინახოს.

თუ ვარსკვლავიერ ცას ყურადღებით დავაკვირდებით, ადვილად შევამჩნევთ, რომ ვარსკვლავები

სიკაშკაშით ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან. განსაკუთრებით კაშკაშა ვარსკვლავებს ასტრონომებმა ურთიერთშეთანხმების საფუძველზე პირველი ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავები უწოდეს (სახელწოდება „ვარსკვლავიერი სიდიდე" ვარსკვლავის ზომას კი არ გულისხმობს, არამედ მის ხილულ სიკაშკაშეს). ხოლო მათ, რომლებიც თავისი სიკაშკაშით 2,5-ჯერ (უფრო ზუსტად 2,512-ჯერ) სუსტი არიან პირველი სიდიდის ვარსკვლავებზე, მეორე ვარსკვლავიერი სიდიდისა უწოდეს. მესამეს კი ისეთები მიეკუთვნება, რომლებიც მეორე სიდიდის ვარსკვლავებს სიკაშკაშით აგრეთვე 2,5-ჯერ (კვლავ, თუ ზუსტად ვიტყვით, 2,512-ჯერ) ჩამორჩებიან და ა. შ. სიკაშკაშით ყველაზე სუსტი, შეუიარაღებელი თვალისათვის მისაწვდომი ვარსკვლავები მიეკუთვნა მეექვსე ვარსკვლავიერ სიდიდეს — ისინი პირველი სიდიდის ვარსკვლავებზე 100-ჯერ სუსტად ანათებენ.

ცაზე სულ 20 განსაკუთრებით კაშკაშა ვარსკვლავი შეინიშნება, რომელთა შესახებაც ჩვეულებრივ ამბობენ, რომ ისინი პირველი სიდიდის ვარსკვლავები არიან. მაგრამ ეს იმას როდი ნიშნავს, რომ მათ ერთნაირი სიკაშკაშე აქვთ. სინამდვილეში ერთნი პირველ სიდიდეზე ოდნავ კაშკაშაა, დანარჩენები ნაკლებად კაშკაშებენ და მხოლოდ ერთი ვარსკვლავია თითქმის პირველი სიდიდის ტოლი. ასევეა მეორე, მესამე და დანარჩენ სიდიდეთა ვარსკვლავებშიც. ამიტომ, ამა თუ იმ ვარსკვლავის ზუსტი სიკაშკაშის დასადგენად ხშირად წილადებს მივმართავთ. ასე, მაგალითად, ვარსკვლავები, რომლებიც სიკაშკაშით პირველ და მეორე ვარსკვლავიერ სიდიდეთა შორის იმყოფებიან, 1,5 ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავებად ითვლებიან. არის ვარსკვლავები, რომელთა ვარსკვლავიერი სიდიდეებია: 1,6; 2,3; 3,1; 5,6 და ა. შ.

იმ 20 ვარსკვლავს შორის, რომლებიც პირველი სიდიდის ვარსკვლავებს მიეკუთვნებიან, გამოირჩევა რამდენიმე განსაკუთრებული სიკაშკაშის ვარსკვლავი, რომლებსაც გაცილებით მეტი ბრწყინვალება აქვთ, ვიდრე პირველი სიდიდის ვარსკვლავებს. მათი ხილული სიკაშკაშის ზუსტი გამოხატვისათვის შემოიღეს ნულოვანი და უარყოფითი ვარსკვლავიერი სიდიდეები. ასე, მაგალითად, ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავს — ვეგას — აქვს 0,1 ვარსკვლავიერი სიდიდის სიკაშკაშე, ხოლო, ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავს — სირიუსს — მინუს 1,6 ვარსკვლავიერი სიდიდისა (სირიუსი სამხრეთი ცის ვარსკვლავია, მაგრამ იგი დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს უმეტეს ნაწილშიაც მოჩანს). ყოველ ვარსკვლავს, რომელსაც შეუიარაღებელი თვალით ვხედავთ და ძალიან ბევრ სუსტ ვარსკვლავსაც, რომლებიც მხოლოდ ტელესკოპში ჩანს, ზუსტადა აქვს გაზომილი ვარსკვლავიერი სიდიდე.

ვარსკვლავიერ ცას დურბინდით რომ გავხედოთ, მაშინაც დავინახავთ შეუიარაღებელი თვალით უხილავ მრავალ სუსტად მოკაშკაშე პატარა ვარსკვლავს. ჩვეულებრივი თეატრალური დურბინდით შეიძლება დავინახოთ მეშვიდე ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავები, პრიზმული საველე დურბინდით კი მერვე და მეცხრე ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავებიც. ტელესკოპით კი მრავალი სუსტად მოელვარე ვარსკვლავი მოჩანს. ასე ნაგალითად, შედარებით პატარა ტელესკოპში (80 მმ დიამეტრის ობიექტივით) მოჩანს მეთორმეტე ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავები. უფრო ძლიერი თანამედროვე ტელესკოპებით შეიძლება დავინახოთ მეთვრამეტე ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავებიც. მძლავრი ტელესკოპებით გადაღებულ ფოტოებზე ჩანს ოცდამესამე ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავები. მათ 6 მლნ-ჯერ ნაკლები სიკაშკაშე აქვთ შეუიარაღებელი თვალით ხილულ ყველაზე სუსტ ვარსკვლავებთან შედარებით. როგორც ვთქვით, შეუიარაღებელი თვალისთვის დაახლოებით 6000 ვარსკვლავია მისაწვდომი, ხოლო ყველაზე მძლავრი თანამედროვე ტელესკოპების საშუალებით შეგვიძლია მილიარდობით ვარსკვლავი დავინახოთ.

ვარსკვლავიერ ცაზე შეიძლება დავინახოთ კაშკაშა და ერთმანეთთან ახლო მდებარე ვარსკვლავები. ხშირად ისინი რაიმე გამოსახულებას გვაგონებენ. ჯერ კიდევ შორეულ წარსულში ვარსკვლავთ ასეთ ჯგუფებს თანავარსკვლავედები უწოდეს და ყოველ მათგანს თავისი სახელი დაარქვეს (იხ. ვარსკვლავიერი ცის რუკა გვ. 232 — 233).

ცაზე თანავარსკვლავედები ვარსკვლავთა ხილული სიახლოვის ნიშნით გამოყვეს, მაგრამ ეს სიახლოვე წმინდა პერსპექტიული მოვლენაა. სინამდვილეში ერთი და იმავე თანავარსკვლავედის ვარსკვლავები შეიძლება ჩვენგან სულ სხვადასხვა მანძილით იყოს დაშორებული.



ცეფევსის თანავარსკვლავედი.

ვარსკვლავები ცაზე სამყაროს სივრცეში მოძრაობენ, მაგრამ ძალზე შორს არიან ჩვენგან და სივრცეში მათი გადაადგილება (ე. წ. ვარსკვლავთა საკუთარი მოძრაობა) თვალისთვის შეუმჩნეველია. ამიტომ ადამიანები თაობიდან თაობამდე ხედავენ ერთსა და იმავე თანავარსკვლავედებს, რომლებშიც თითქოს უცვლელია ვარსკვლავთა ურთიერთმდებარეობა.

ძალზე საინტერესოა დიდი დათვის თანავარსკვლავედი. თავისი შვიდი განსაკუთრებით კაშკაშა ვარსკვლავის განლაგებით იგი ჩამჩას ან ქვაბს მოგვაგონებს. დიდი დათვი მთელი ღამის განმავლობაში ჩანს ცაზე, მხოლოდ ღამისა და წელიწადის სხვადასხვა დროს ეს თანავარსკვლავედი ხან დაბლა მოჩანს (შემოდგომაზე შებინდებისას), ხან მაღლა (ზაფხულში), ხან ცის თაღის აღმოსავლეთ მხარეს (გაზაფხულზე), ხან დასავლეთ მხარეს (ზაფხულის მიწურულში). ამ თანავარსკვლავედის მიხედვით შეიძლება მოიძებნოს პოლარული ვარსკვლავი. ამისათვის საჭიროა ჩამჩის წინა კედლის ორ განაპირა ვარსკვლავზე გავავლოთ სწორი ხაზი. სწორედ ეს ხაზი მიგვანიშნებს პოლარულ ვარსკვლავზე. ჰორიზონტზე პოლარული ვარსკვლავის ქვევით მდებარეობს ჩ რ დ ი ლ ო ე თ ი ს წ-ე რ ტ ი ლ ი. თუ პოლარულ ვარსკვლავს შევხედავთ, სახე ჩრდილოეთისკენ გვექნება მიქცეული, ზურგს უკან სამხრეთი იქნება, მარჯვნივ — აღმოსავლეთი, მარცხნივ კი — დასავლეთი.

დიდი დათვის თანავარსკვლავედი შვიდი ვარსკვლავით არ იფარგლება. ჩამჩა და ჩამჩის ტარი იმ წარმოსახვითი დიდი დათვის სხეულის მხოლოდ ერთი ნაწილი და კუდია, რომელსაც ადრე ვარსკვლავიერ რუკებზე ხატავდნენ. დათვის სხეულის წინა ნაწილი და თავი ჩამჩის მარჯვნივ მდებარეობს, როცა ჩამჩის ტარი მარცხნივაა მიმართული. დიდი დათვის თათების მსგავსად ისინი მესამე, მეოთხე და მეხუთე ვარსკვლავიერი სიდიდის უამრავი სუსტი ვარსკვლავისაგან შედგებიან.

დიდი დათვის თანავარსკვლავედს არა მარტო ჰორიზონტზე ჩრდილოეთის წერტილის მოსაძებნად უნდა ვიცნობდეთ, არამედ ყველა სხვა თანავარსკვლავედის მოსაძებნადაც. დიდი დათვის ნაცნობი მოხაზულობის მიხედვით ორიენტირება საშუალებას იძლევა ადვილად გავერკვეთ გარემომცველ ვარსკვლავიერ „მოხატულობაში“.

ყოველ თანავარსკვლავედში კაშკაშა ვარსკვლავები ბერძნული ანბანის ასოებით აღინიშნება: α (ალფა), β (ბეტა), γ (გამა), δ (დელტა), ε (ეფსილონ), ζ (ძეტა), η (ეტა), θ (თეტა), ι (იოტა), κ (კაპა), λ (ლამბდა), μ (მიუ), ν (ნიუ), ξ (ქსი), ο (ომიკრონ), π (პი), ρ (რო), σ (სიგმა), τ (ტაუ), υ (იფსილონ), φ (ფი), χ (ხი), ψ (ფსი), ω (ომეგა). როცა მოცემული თანავარსკვლავედის ვარსკვლავთათვის ანბანის



პეგასის თანავარსკვლავედი.



ანდრომედას თანავარსკვლავედი.

ასოები არ კმარა, მაშინ იყენებენ რიცხვით აღნიშვნას, მაგალითად, გედის თანავარსკვლავედის 61-ე ვარსკვლავი. განსაკუთრებით კაშკაშა ვარსკვლავებს უძველესი დროიდან ეწოდა საკუთარი სახელები: სირიუსი, ვეგა და სხვ.

დიდი დათვის ჩამჩის ვარსკვლავებსაც აქვთ ანბანური აღნიშვნა, ამის ნახვა ჩვენ ვარსკვლავიერ რუკაზე შეგვიძლია. ყველა ეს ვარსკვლავი δ (დელტას) გარდა, მეორე ვარსკვლავიერი სიდიდისაა; δ კი — მესამე სიდიდისა. ყველაზე საინტერესოა ჩამჩის ტარის შუა ვარსკვლავი. ანბანური აღნიშვნის გარდა, მას აქვს განსაკუთრებული სახელი — მიცარი. მიცარის გვერდით შეუიარაღებელი თვალით შეინიშნება მეხუთე სიდიდის სუსტი ვარსკვლავი — ალკორი. მიცარი და ალკორი შედარებით ადვილად შესამჩნევი ორჯერადი ვარსკვლავია. ის ჯერ კიდევ შუა საუკუნეების არაბ ასტრონომთათვის იყო ცნობილი, რომლებმაც დაარქვეს კიდეც ამ ვარსკვლავებს სახელები. არაბულ ენაზე მიცარი „ცხენს“ ნიშნავს, ალკორი კი „მხედარს“.

საიდან გაჩნდა თანავარსკვლავედთა ასეთი უცნაური სახელები, მაგალითად, დიდი დათვი?

ძველად, როცა ადამიანები ვარსკვლავიერ ცას აკვირდებოდნენ, ყურადღებას აქცევდნენ კაშკაშა ვარსკვლავების ცალკეულ ჯგუფებს. ფანტაზია ეხმარებოდა მათ, რომ ვარსკვლავთა განლაგებაში ზღაპრული გმირებისა და ცხოველების გამოსახულება დაენახათ. ამიტომ თითქმის ყოველ თანავარსკვლავედთან დაკავშირებულია რომელიმე უძველესი ლეგენდა ან მითი. ასე მაგალითად, ძველ ბერძნებში არსებობდა ლეგენდა, რომ ყოვლისშემძლე ღმერთმა ზევსმა გადაწყვიტა, ცოლად შეერთო ულამაზესი ფერია კალისტო — ქალღმერთ აფროდიტეს ერთ-ერთი მოახლე. ქალღმერთი უარზე იყო. აფროდიტეს დევნისაგან რომ ეხსნა, ზევსმა კალისტო ძუ დათვად აქცია და თავისთან აიყვანა ცაში. პატარა დათვის თანავარსკვლავედის შესახებ ძველი ბერძნები მოგვითხრობენ, რომ ის კალისტოს საყვარელი ძაღლია, თავის პატრონთან ერთად ძუ დათვად ქცეული. მოგვიანებით, ამ ლეგენდისგან დამოუკიდებლად, ასტრონომებმა პლანეტა იუპიტერის ერთ-ერთ თანამგზავრს კალისტოს სახელი დაარქვეს.

კასიოპეას, ცეფევსის, ანდრომედას, პეგასისა და პერსევსის თანავარსკვლავედების შესახებ სხვა ლეგენდა შეიქმნა. ოდესღაც, უხსოვარ დროში, ეთიოპთა მითიურ მეფეს ცეფევსს ჰყავდა მზეთუნახავი ცოლი — დედოფალი კასიოპეა. ერთხელ



პერსევსის თანავარსკვლავედი.



კასიოპეას თანავარსკვლავედი

ნერეიდების—ზღვის მითიურ მცხოვრებთა — თანდასწრებით კასიოპეამ გაუფრთხილებლობა გაძოიჩინა და თავის სილამაზეზე დაიტრაბახა. შურიან ნერეიდებს ეწყინათ და ზღვის ღმერთ პოსეიდონთან იჩივლეს. პოსეიდონმა ეთიოპიის ნაპირს საშინელი ურჩხული—ვეშაპი — მოუვლინა. ვეშაპისაგან რომ თავი დაეხსნა, ორაკულის რჩევით ცეფევსი იძულებული გახდა, ურჩხულისათვის შესაჭმელად მიეცა თავისი საყვარელი ქალიშვილი ანდრომედა. მან ანდრომედა ზღვისპირა კლდეს მიაჯაჭვა. ქალიშვილი ყოველ წუთს მოელოდა უბედურებას.

ამ დროს ძველი საბერძნეთის მითიური გმირი პერსევსი ქვეყნის დასალიერზე მდებარე განცალკევებულ კუნძულზე იმყოფებოდა, სადაც სამი საშინელი ქალი — გორგონები — ცხოვრობდა. გორგონებს თავზე თმის ნაცვლად გველები ჰყავდათ შემოხვეული. მათი მზერა ქვად აქცევდა ყველა სულიერს. პერსევსმა ისარგებლა იმით, რომ გორგონებს ეძინათ და ერთ-ერთ მათგანს, სახელად მედუზას, თავი მოჭრა. ქალის დაჩეხილი სხეულიდან ფრთიანი რაში პეგასი გამოხტა. დანარჩენ ორ გორგონას გამოეღვიძა, უნდოდათ თავს დასხმოდნენ პერსევსს, მაგრამ იგი მოახტა პეგასს, ხელში ძვირფასი ნადავლი — მედუზას თავი — დაიჭირა და შინისკენ გაფრინდა.

ეთიოპიაზე გადაფრენისას პერსევსმა კლდეზე მიჯაჭვული ანდრომედა შენიშნა, რომელსაც ზღვის ტალღებიდან ამოსული ურჩხული უახლოვდებოდა. პერსევსი ვეშაპს შეება და მხოლოდ მაშინ შეძლო ურჩხულის დაძლევა, როცა მას მედუზას მკვდარი თავის გამყინავი მზერა მიაპყრო. ვეშაპი გაქვავდა და პატარა კუნძულად იქცა. პერსევსმა გაათავისუფლა ანდრომედა, ცეფევსთან მიიყვანა და ცოლად შეირთო. ამ მითის მთავარი გმირები ძველი ბერძნების ფანტაზიამ ცაზე აიყვანა. ასე გაჩნდა თანავარსკვლავედთა დღემდე შემონახული სახელები: ცეფევსი, კასიოპეა, ანდრომედა, პეგასი და პერსევსი.

ვარსკვლავიერი ცის ბრუნვა

დღისით ცის თაღზე მზე მოძრაობს. იგი ამოდის, მიიწევს სულ მაღლა და მაღლა, მერე ნელნელა დაეშვება და ჩადის. ძნელი არ არის იმაში დარწმუნება, რომ ვარსკვლავებიც მოძრაობენ ცის თაღზე.

სათვალთვალოდ აირჩიეთ ისეთი ადგილი, საიდანაც კარგად მოჩანს ცა, დაიმახსოვრეთ ჰორიზონტზე მდებარე რომელი საგნების (ხეების ან სახლების) ზემოთ ჩანს მზე დილით, შუადღისას და საღამოს. მიდით იმ ადგილზე მზის ჩასვლის შემდეგ, მიინიშნეთ ცის იმავე მხარეზე კაშკაშა ვარსკვლავები და დაკვირვების დრო საათზე აღნიშნეთ. იმავე ადგილზე ერთი ან ორი საათის შემდეგ რომ მიხვიდეთ, დარწმუნდებით, რომ ყველა შენიშნული ვარსკვლავი მარცხნიდან მარჯვნივ გადაადგილებულა. მაგალითად, ვარსკვლავი, რომელიც დილის მზის მხარეზე მდებარეობდა, ცის თაღზე აიწევდა, ხოლო ვარსკვლავი, რომელიც საღამოს მზის მხარეზე იყო — დაეშვებოდა.

ყველა ვარსკვლავი მოძრაობს ცაზე? ირკვევა, რომ ყველა და თანაც ერთდროულად. შეიძლება

ითქვას, რომ მთელი ცა ზედ განლაგებული ვარსკვლავებით თითქოსდა დღედაღამ ჩვენს ირგვლივ ბრუნავს.

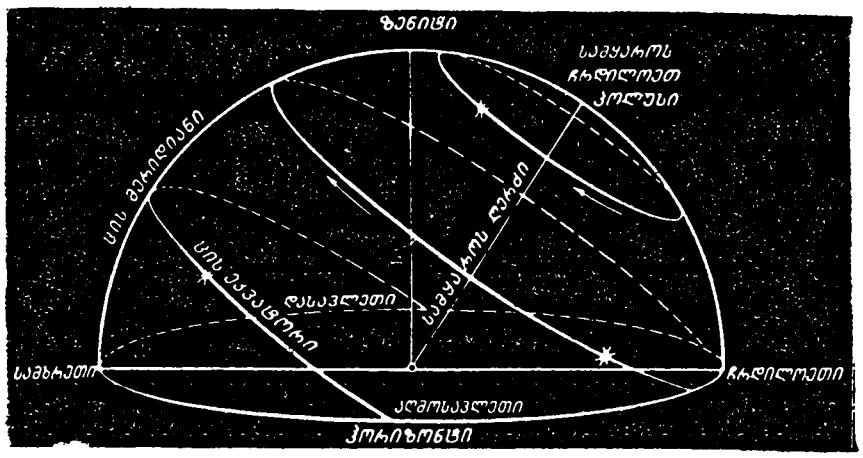
ცის იმ მხარეს, სადაც მზე შუადღისას მოჩანს, სამხრეთ მხარეს ეძახიან, საწინააღმდეგოს კი — ჩრდილოეთ მხარეს. თუ ცის ჩრდილოეთ მხარეზე ჯერ ჰორიზონტთან ახლო მდებარე ვარსკვლავებს დააკვირდებით და შემდეგ კი უფრო მაღლა განლაგებულებს, დაინახავთ, რომ, რაც უფრო მაღლაა ვარსკვლავი ჰორიზონტზე, მით უფრო ნაკლებ შესამჩნევია მისი მოძრაობა. ცაზე ისეთი ვარსკვლავის პოვნაც შეიძლება, რომლის მოძრაობა მთელი ღამის მანძილზე თითქმის შეუმჩნეველია, და რაც უფრო ახლოა მასთან სხვა ვარსკვლავები, მით უფრო ნაკლებ შესამჩნევია მათი მოძრაობა. ამ ვარსკვლავს პ ო ლ ა რ უ ლ ი დაარქვეს. ჩვენ უკვე ვიცით, როგორ მოვძებნოთ იგი დიდი დათვის თანავარსკვლავედის მიხედვით.

როცა პოლარულ ვარსკვლავს, უფრო სწორად, მის გვერდით უძრავ წერტილს — ს ა მ ყ ა რ ო ს ჩ რ დ ი ლ ო ე თ პ ო ლ უ ს ს — შევყურებთ, ჩვენი ხმზერის მიმართულება ვარსკვლავიერი ცის ღერძის მიმართულებას ემთხვევა. ვარსკვლავიერი ცის ბრუნვის ღერძს ს ა მ ყ ა რ ო ს ღ ე რ ძ ი ეწოდება.

დედამიწის ირგვლივ ცის ბრუნვა მოჩვენებითია, ამის მიზეზი დედამიწის ბრუნვაა. მსგავსად იმისა, როგორც ოთახში მბრუნავ ადამიანს ეჩვენება, რომ მთელი ოთახი მის ირგვლივ ტრიალებს, ასევე ჩვენც, მბრუნავ დედამიწაზე მყოფთ, გვგონია, რომ ვარსკვლავები მოძრაობენ. ძველად, ცის დღეღამურ ბრუნვაზე დაკვირვებისას, ადამიანები მეტად მცდარ დასკვნამდე მივიდნენ. მათი აზრით ვარსკვლავები, მზე და პლანეტები ყოველ დღეღამეში ერთხელ შემობრუნდებიან ხოლმე დედამიწის ირგვლივ. სინამდვილეში კი, როგორც ეს კოპერნიკმა დაადგინა XVI ს., ვარსკვლავიერი ცის ხილული ბრუნვა მხოლოდ თავისი ღერძის ირგვლივ დედამიწის დღეღამური ბრუნვის ანარეკლია. მიუხედავად ამისა, ვარსკვლავები მაინც მოძრაობენ. თუ როგორ მოძრაობენ ისინი სინამდვილეში და რატომაა ძნელი ამ მოძრაობის შემჩნევა ტელესკოპითაც კი, მოთხრობილია სტატიაში „ვარსკვლავები და სამყაროს სიღრმეები“.

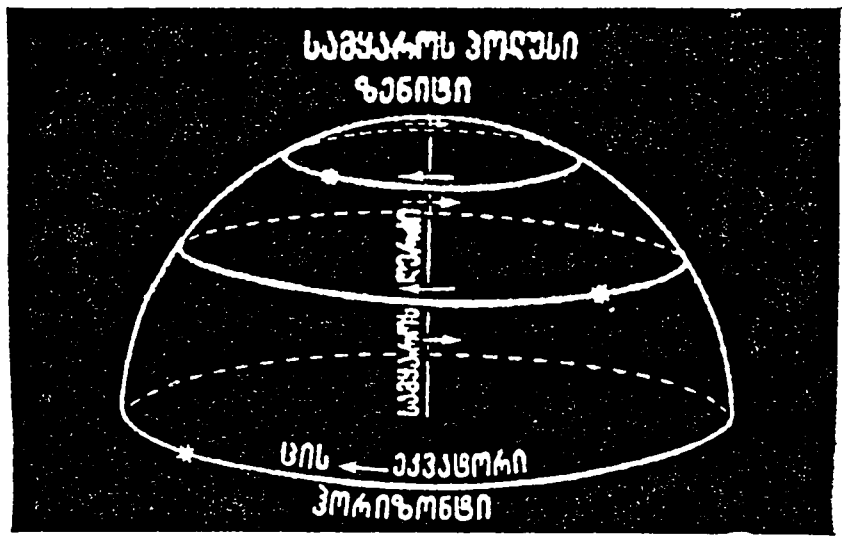
წარმოსახვითი ღერძი, რომლის ირგვლივ დედამიწა ბრუნავს, ორ წერტილში კვეთს დედამიწის ზედაპირს. ეს წერტილებია — ჩრდილოეთ და სამხრეთ გეოგრაფიული პოლუსები. დედამიწის ღერძის მიმართულება რომ გავაგრძელოთ, იგი პოლარული ვარსკვლავის სიახლოვეს გაივლის. აი, რატომ გვეჩვენება, რომ პოლარული ვარსკვლავი უძრავია.

ვარსკვლავიერი ცის სამხრეთ ნახევარზე, რომელიც ჩვენს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში დედამიწის ბურთისმაგვარი ფორმის გამო მხოლოდ ნაწილობრივ მოჩანს, მდებარეობს ცის მეორე უძრავი წერტილი—ს ა მ ყ ა რ ო ს ს ა მ ხ რ ე თ ი პ ო ლ უ ს ი. ამ წერტილის ირგვლივ ბრუნავს სამხრეთ ნახევარსფეროს ვარსკვლავები.

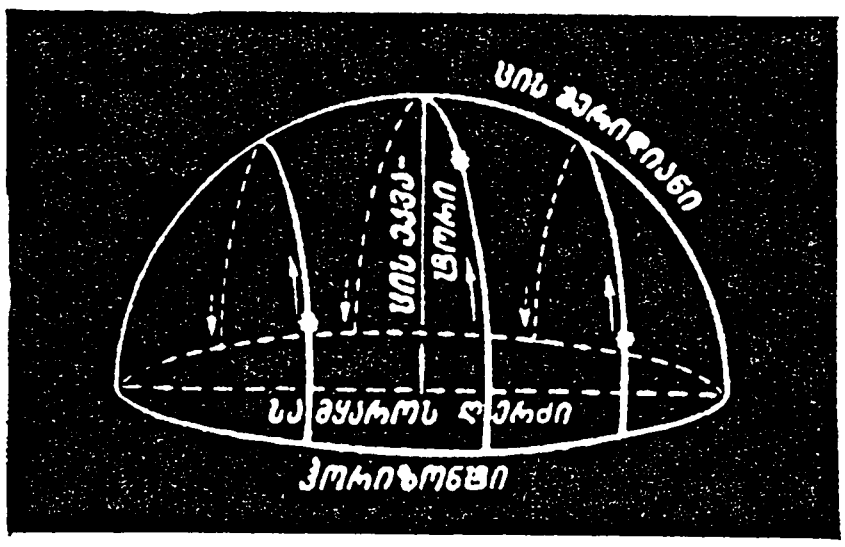


ჰორიზონტის მიმართ ვარსკვლავთა ხილული მოძრაობის სქემა საშუალო განედებზე მყოფი დამკვირვებლისათვის.

უფრო დაწვრილებით გავეცნოთ ვარსკვლავთა მოჩვენებით დღეღამურ მოძრაობას. სახით ჰორიზონტის სამხრეთ მხარისკენ მიტრიალდით და ვარსკვლავთა მოძრაობას დააკვირდით. იმისათვის, რომ დაკვირვება უფრო მოსახერხებელი იყოს, წარმოიდგინეთ ნახევარწრე, რომელიც გადის ზენიტზე (წერტილი პირდაპირ ჩვენს ზევით) და სამყაროს პოლუსზე. ეს ნახევარწრე (ცის მერიდიანი) ჩრდილოეთის წერტილსა (პოლარული ვარსკვლავის ქვევით) და მის საწინააღმდეგო სამხრეთის წერტილში გადაკვეთს ჰორიზონტს. იგი ცის თაღს ყოფს აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნახევრებად. ცის სამხრეთ ნაწილში ვარსკვლავთა მოძრაობაზე დაკვირვებისას შენიშნავთ, რომ ცის მერიდიანის მარცხნივ (ე. ი. ცის აღმოსავლეთ ნახევარში) მდებარე ვარსკვლავები ჰორიზონტიდან მაღლა ადიან. შემდეგ გაივლიან ცის მერიდიანს, გადავლენ ცის დასავლეთ ნაწილში და ჰორიზონტისკენ ეშვებიან. მაშასადამე, ცის მერიდიანზე



ჰორიზონტის მიმართ ვარსკვლავთა ხილული მოძრაობის სქემა დედამიწის პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის.



ჰორიზონტის მიმართ ვარსკვლავთა ხილული მოძრაობის სქემა დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის.

გავლისას ისინი ჰორიზონტიდან თავიანთ უდიდეს სიმაღლეს აღწევენ. ასტრონომები ვარსკვლავების ჰორიზონტიდან უდიდეს სიმაღლეზე გავლას ამ ვარსკვლავის ზედა კულმინაციას უწოდებენ.

თუკი ახლა ჩრდილოეთისკენ მიბრუნდებით და ცის ჩრდილოეთ ნაწილში დააკვირდებით ვარსკვლავთა მოძრაობას, შენიშნავთ, რომ პოლარულ ვარსკვლავს ქვემოთ ცის მერიდიანის გავლისას, ვარსკვლავები ჰორიზონტიდან თავის ყველაზე დაბალ მდებარეობას აღწევენ. მარცხნიდან მარჯვნივ მოძრაობისას, ცის მერიდიანის გავლის მერე, ისინი ზევით იწევენ. როცა ვარსკვლავი ჰორიზონტის მიმართ ყველაზე დაბალ მდებარეობას გადის, ასტრონომები ამბობენ, რომ ვარსკვლავი ქვედა კულმინაციაში იმყოფება.

ჩვენს ქვეყანაში ხილულ თანავარსკვლავედთა შორის არიან ისეთებიც, რომლებიც სამყაროს პოლუსის ირგვლივ მოძრაობისას არასოდეს ეფარებიან ჰორიზონტს. ამის შემოწმება დაკვირვებებით შეიძლება: ზამთრის თვეებში დიდი დათვის თანავარსკვლავედი ჰორიზონტის მიმართ უმდაბლესი მდებარეობის დროს ჰორიზონტს ზემოთ მოჩანს. მაგრამ საბჭოთა კავშირის მცხოვრებთათვის მარტო დიდი დათვი როდია ისეთი თანავარსკვლავედი, რომელიც არასოდეს არ ჩადის. სამყაროს პოლუსთან ახლოს მდებარე პატარა დათვის, კასიოპეას, გველეშაპის, ცეფევსის თანავარსკვლავედების ვარსკვლავები არასოდეს ჩადიან, მაგალითად, თბილისის ჰორიზონტს ქვევით. ესაა — ჩაუვალი ვარსკვლავები.

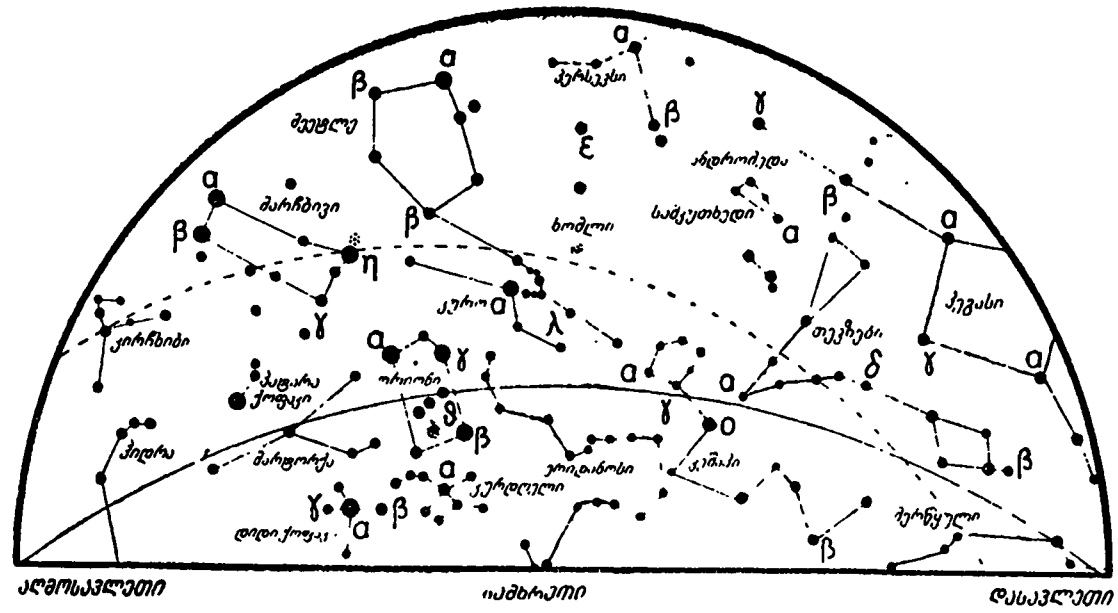
ჩაუვალ ვარსკვლავებთან ერთად გვხვდება ისეთებიც, რომლებიც არასოდეს ჩანან ჩვენი ქვეყნის ცაზე. მათ რიცხვს ეკუთვნის ცის სამხრეთ ნახევარსფეროს ბევრი ვარსკვლავი.

ცა, დედამიწის მსგავსად, წარმოდგენაში ორ ნახევარსფეროდ იყოფა წარმოსახვითი წრეხაზით, რომლის წერტილებიც სამყაროს პოლუსებიდან თანაბარი მანძილითაა დაშორებული. ამ წრეს ცის ეკვატორი ეწოდება. იგი ჰორიზონტის ხაზს აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებში კვეთს. ყველა ვარსკვლავი დღე-ღამის განმავლობაში ცის ეკვატორის პარალელურად მოძრაობს. ცის იმ ნახევარსფეროს, რომელშიც პოლარული ვარსკვლავი მდებარეობს, ჩრდილოეთი ეწოდება, მეორე ნახევარსფეროს კი — სამხრეთი.

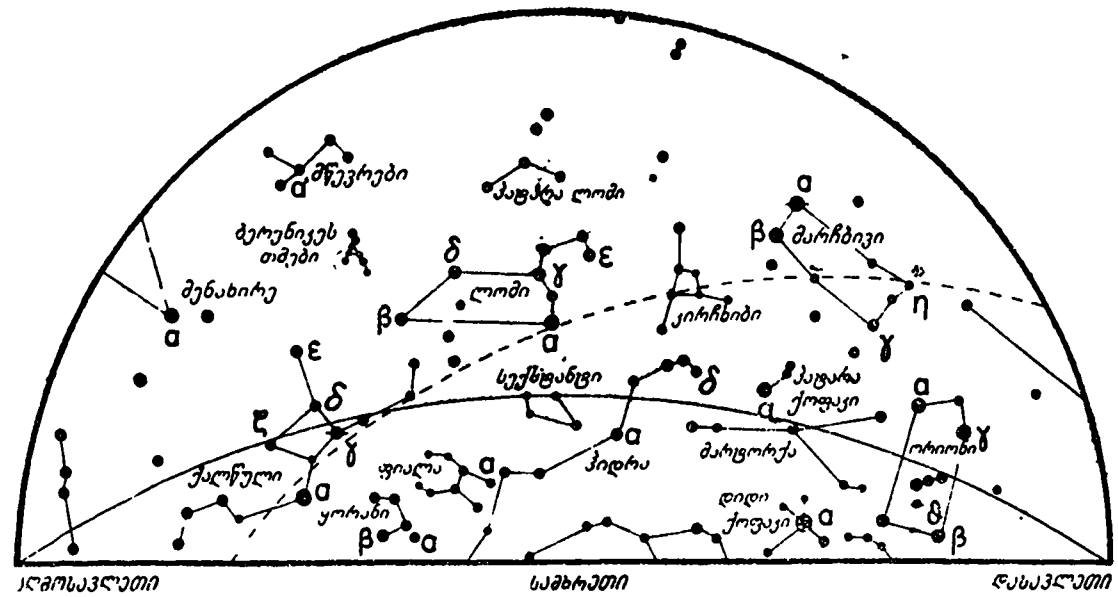
ვარსკვლავიერი ცის ხედი დედამიწის სხვადასხვა ადგილებიდან

დედამიწის სხვადასხვა ადგილიდან ცა სხვადასხვანაირად გამოიყურება. თურმე ვარსკვლავიერი ცის ხედი იმაზე ყოფილა დამოკიდებული, თუ რომელ პარალელზე იმყოფება დამკვირვებელი, ე. ი. სხვანაირად რომ ითქვას, როგორია დაკვირვების ადგილის გეოგრაფიული განედი.

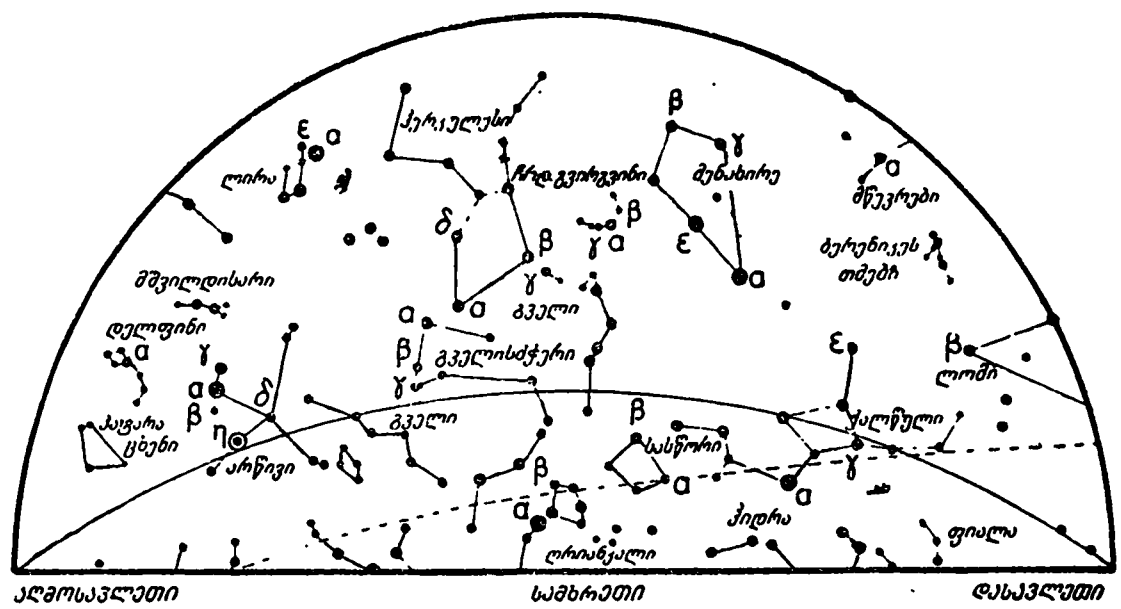
სამყაროს პოლუსის (ან მიახლოებით პოლარული ვარსკვლავის) კუთხური დაშორება ჰორი-



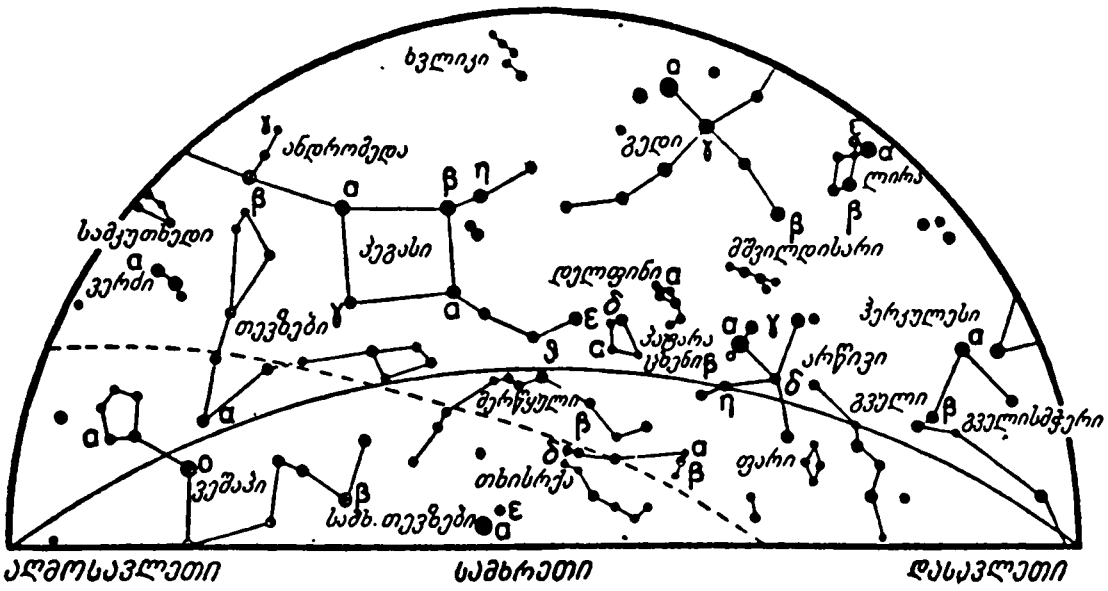
თანავარსკვლავედები, რომლებიც ზამთრობით ჩანან ცის სამხრეთ ნახევარზე საშუალო განედებიდან.



თანავარსკვლავედები, რომლებიც გაზაფხულობით ჩანან ცის სამხრეთ ნახევარზე საშუალო განედებიდან.



თანავარსკვლავედები, რომლებიც ზაფხულობით ჩანან ცის სამხრეთ ნახევარზე საშუალო განედებიდან.



თანავარსკვლავედები, რომლებიც შემოდგომით ჩანან ცის სამხრეთ ნახევარზე საშუალო განედებიდან.

ზონტიდან ყოველთვის ეტოლება ადგილის გეოგრაფიულ განედს.

თუ თბილისიდან ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ გაემგზავრებით, შეამჩნევთ, რომ, რაც უფრო მიუახლოვდებით პოლუსს, მით უფრო მაღლა აიწევს პოლარული ვარსკვლავი (ანუ სამყაროს პოლუსი) ჰორიზონტს ზემოთ. ამასთან დაკავშირებით, უფრო მეტი ვარსკვლავი მოგეჩვენებათ ჩაუვალი. აი, მიხვედით ჩრდილოეთ პოლუსზე. აქ ვარსკვლავთ-განლაგება სრულიად არ ჰგავს თბილისურს.

დედამიწის სფეროს ჩრდილოეთ პოლუსის გეოგრაფიული განედი 90°-ის ტოლია. მაშასადამე, სამყაროს პოლუსი (და პოლარული ვარსკვლავი) პირდაპირ თქვენს ზემოთ — ზენიტში — იქნება. ძნელი მისახვედრი არ არის, რომ ცის ეკვატორი აქ, ჩრდილოეთ პოლუსზე, ჰორიზონტის ხაზს დაემთხვევა. ამის გამო ჩრდილოეთ პოლუსზე თქვენ დაინახავთ ვარსკვლავთ მოძრაობის არაჩვეულებრივ სურათს: ეკვატორის პარალელურად გადაადგილებისას, ვარსკვლავები ყოველთვის ჰორიზონტის პარალელურად მოძრაობენ. აქ ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ყველა ვარსკვლავი ჩაუვალი იქნება, ხოლო სამხრეთისა — ამოუვალი.

თუ ახლა პირობითად ჩრდილოეთ პოლუსიდან დედამიწის ეკვატორზე გადაინაცვლებთ, სრულიად სხვაგვარ სურათს დაინახავთ. სამხრეთისაკენ თქვენი გადანაცვლებისდა მიხედვით ადგილის განედი და, მაშასადამე, სამყაროს პოლუსის (და პოლარული ვარსკვლავის) სიმაღლე შემცირებას დაიწყებს, ე. ი. პოლარული ვარსკვლავი მიუახლოვდება ჰორიზონტს.

როდესაც დედამიწის ეკვატორზე მოხვდებით, რომლის ყოველი წერტილის გეოგრაფიული განედი ნულის ტოლია, ასეთ სურათს დაინახავთ: სამყაროს ჩრდილოეთი პოლუსი აღმოჩნდება ჩრდილოეთის წერტილში, ცის ეკვატორი კი ჰორიზონტის პერპენდიკულარული გახდება. სამხრეთის წერტილში მოხვდება ოქტანტის თანავარსკვლავედში მყოფი სამყაროს სამხრეთი პოლუსი. დედამიწის ეკვატორზე ყველა ვარსკვლავი დღე-ღამის განმავლობაში გაივლის ჰორიზონტის პერპენდიკულარულ გზებს. მზეს რომ ხელი არ შეეშალა დღისით ვარსკვლავების დანახვაში, მაშინ დედამიწის ეკვატორზე დღე-ღამის განმავლობაში შევძლებდით ცის ორივე ნახევარსფეროს ყველა ვარსკვლავზე დაკვირვებას.

ვარსკვლავიერი ცის ხედის ცვლილება წლის განმავლობაში

წლის სხვადასხვა დროს საღამოობით შეიძლება დავაკვირდეთ სხვადასხვა თანავარსკვლავედს. რატომ ხდება ასე?

ეს რომ გამოარკვიოთ, ჩაატარეთ ასეთი დაკვირვება: მზის ჩასვლისთანავე ცის დასავლეთ ნაწილში, დაბლა, ჰორიზონტის მახლობლად, ჩაინიშნეთ რომელიმე ვარსკვლავი და დაიმახსოვრეთ მისი მდებარეობა ჰორიზონტის მიმართ. თუ თქვენ შეეცდებით, მოძებნოთ იგივე ვარსკვლავი მზის ჩასვლისთანავე, დაახლოებით ერთი კვირის შემდეგ შენიშნავთ, რომ ის ახლა უფრო ახლოს იქნე-

ბა ჰორიზონტთან, და თითქმის დაიმალება დაისის სხივებში. ეს იმიტომ მოხდა, რომ მზე მიუახლოვდა აღნიშნულ ვარსკვლავს. რამდენიმე კვირის შემდეგ კი ვარსკვლავი სრულიად დაიმალება მზის სხივებში და მას საღამოობით ვეღარ დაინახავთ. კიდევ 2 — 3 კვირის შემდეგ იგივე ვარსკვლავი გამოჩნდება დილდილობით, ცოტა ხნით ადრე მზის ამოსვლამდე, ცის აღმოსავლეთ ნაწილში. ახლა უკვე მზე, რომელიც განაგრძობს თავის მოძრაობას დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, აღმოჩნდება ამ ვარსკვლავის აღმოსავლეთით.

ასეთი დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მზე აღმოსავლეთიდან ამოსვლისა და დასავლეთით ჩასვლისას დღე-ღამის განმავლობაში არა მარტო ყველა ვარსკვლავთან ერთად მოძრაობს, არამედ ნელ-ნელა გადაინაცვლებს კიდეც ვარსკვლავებს შორის უკუმიმართულებით (ე. ი. დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ) და თანავარსკვლავედიდან თანავარსკვლავედში გადადის.

რასაკვირველია, იმ თანავარსკვლავედზე დაკვირვებას, რომელშიც მოცემულ მომენტში მზე იმყოფება, თქვენ ვერ შეძლებთ, რადგანაც იგი ამოდის მზესთან ერთად და ცაზე მოძრაობს დღისით: ე. ი. მაშინ, როცა ვარსკვლავები არ ჩანან. მზე თავისი სხივებით აქრობს არა მხოლოდ იმ თანავარსკვლავედის ვარსკვლავებს, რომელშიც თვითონ იმყოფება, არამედ ყველა დანარჩენსაც. ამიტომ მათზე დაკვირვება შეუძლებელია.

გზას, რომელზედაც მზე ვარსკვლავებს შორის წლის განმავლობაში გადაინაცვლებს, ე კ ლ ი პ ტ ი კ ა ეწოდება. ეკლიპტიკა გადის თორმეტ, ე. წ. ზ ო დ ი ა ქ უ რ თ ა ნ ა ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ე დ ზ ე, რომელთაგან თითოეულში მზე ყოველ წელს დაახლოებით თითო თვეს იმყოფება. ამ თანავარსკვლავედების სახელწოდებანი ასეთია: თევზები (მარტი), ვერძი (აპრილი), კურო (მაისი), მარჩხვი (ივნისი), კირჩხიბი (ივლისი), ლომი (აგვისტო), ქალწული (სექტემბერი), სასწორი (ოქტომბერი), ღრიანკალი (ნოემბერი), მშვილდოსანი (დეკემბერი), თხის რქა (იანვარი), მერწყული (თებერვალი). ფრჩხილებში აღნიშნულია თვეები, როცა მზე აღნიშნულ თანავარსკვლავედში იმყოფება.

მზის წლიური მოძრაობა ვარსკვლავებს შორის მოჩვენებითია. სინამდვილეში დედამიწასთან ერთად მზის გარშემო თვით დამკვირვებელი მოძრაობს; ამიტომაც თუ წლის განმავლობაში საღამოობით ვარსკვლავებს დავაკვირდებით, შევნიშნავთ ვარსკვლავიერი ცის თანდათანობით შეცვლას და გავეცნობით ყველა თანავარსკვლავედს, რომლებიც წლის სხვადასხვა დროს ჩანან.

მ თ ვ ა რ ე

ჩვენი ბუნებრივი თანამგზავრი

მთვარე დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრია. ადამიანები უხსოვარი დროიდან ხედავდნენ მას ცაზე. ჯერ კიდევ უძველესი დროის მეცნიერები სავსებით სწორად ვარაუდობდნენ, რომ მთვარე დედამიწის ირგვლივ გარემოიქცევა და ერთ სრულ შემობრუნებას ერთი თვის განმავლობაში ასრულებს. მაგრამ უძველესი დროის მეცნიერებმა ვერ ახსნეს, რატომ არ ეცემა მთვარე დედამიწაზე მის ირგვლივ განუწყვეტელი ბრუნვისას ან რატომ არ მიფრინავს მისგან მსოფლიო სივრცეში.

ამ კითხვას პასუხი გასცა ინგლისელმა მეცნიერმა ნიუტონმა. მან დაადგინა, რომ ყველა ციური სხეულის მოძრაობას მიზიდულობის ძალა წარმართავს (იხ. გვ. 201). მაგალითად, დედამიწა თავის ორბიტაზე მზის მიზიდულობის ძალის გავლენით მოძრაობს, მთვარე კი დედამიწის მიზიდულობის მოქმედებით.

ახლა მთვარის მოძრაობა საკმაოდ კარგადაა შესწავლილი და შეიძლება მრავალი წლით ადრე ძალზე ზუსტად გამოვითვალოთ, როგორი მდებარეობა ექნება მას ცაზე ნებისმიერი დღის ნებისმიერ საათზე. ზუსტადაა გამოთვლილი აგრეთვე მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე, მთვარის ზომები და მისი მასა.

უპირველეს ყოვლისა, მთვარე იმითაა საინტერესო, რომ ის ჩვენთან ყველაზე ახლოს მყოფი ციური სხეულია (ხელოვნური თანამგზავრები, რომლებიც სივრცეში დიდხანს არა რჩებიან, საერთოდ არ მიიღება). მთვარემდე მანძილი საშუალოდ 384 400 კმ შეადგენს. იმ მანძილებთან

შედარებით, რომლებსაც დედამიწაზე ვართ მიჩვეული, ეს, რა თქმა უნდა, დიდია, მაგრამ სხვა კოსმოსური სხეულების — მზისა და პლანეტების (ვარსკვლავებზე რომ არაფერი ვთქვათ) — სიშორესთან შედარებით, ეს ძალზე ახლოა. ჩქარი მატარებელი მანძილს დედამიწიდან მთვარემდე ხუთ თვეში დაფარავდა, მზემდე — 165 წელში, ჩვენი კოსმოსური რაკეტები კი „მთვარე-1“, „მთვარე-2“, „მთვარე-3“ — ორ დღე-ღამეში.

ხშირად კითხულობენ: რატომაა, რომ ბევრი ხელოვნური თანამგზავრი დედამიწის ირგვლივ რამდენიმე თვის მოძრაობის შემდეგ აუცილებლად ვარდება და იწვის, მთვარე კი უკვე მილიარდობით წელია ბრუნავს და კიდევ, ვინ იცის, რამდენ ხანს იმოძრავებს?

პასუხი მარტივია: ამის მიზეზია მანძილი დედამიწამდე. დედამიწას გარს არტყია ატმოსფერო. რაც უფრო ვშორდებით დედამიწის ზედაპირს, მით უფრო ნაკლებია ჰაერის სიმკვრივე. იმ სიმაღლეებზე, რომლებზეც ხელოვნური თანამგზავრები მოძრაობენ, ჰაერის სიმკვრივე ძალზე მცირეა, თუმცა იქ მაინც არის ჰაერი, რომელიც თანამგზავრის მოძრაობას ამუხრუჭებს. ამის გამო რაკეტის მიერ მინიჭებული ენერგია იკარგება და ბოლოს და ბოლოს იგი დედამიწაზე ეცემა.

სულ სხვაა მთვარე. მისი ორბიტა დედამიწიდან ისეთ მანძილზეა, სადაც არავითარი ჰაერი უკვე აღარ არის, ამიტომ მთვარის მოძრაობას არაფერი ამუხრუჭებს და დედამიწის ირგვლივ მისი ბრუნვა ინერციით შეიძლება განუსაზღვრელად დიდხანს გაგრძელდეს.

მთვარე ცაზე წრის, დისკოს სახით მოჩანს. თუ არ ჩავთვლით დიდ კომეტებს, რომლებიც იშვიათად გამოჩნდებიან ხოლმე, შეუიარაღებელი თვალისათვის მხოლოდ ორ მნათობს — მზესა და მთვარეს — აქვს დისკოს ფორმა. ყველა დანარჩენი ჩვენ ნათელ წერტილებად წარმოგვიდგება.

თუ მთვარის დისკოს ხილულ განივკვეთს გავზომავთ (იგი დაახლოებით ნახევარი გრადუსია) და მთვარემდე მანძილიც გვეცოდინება, მაშინ შეიძლება მთვარის ჭეშმარიტი დიამეტრიც გამოვიანგარიშოთ. ირკვევა, რომ, ის დედამიწის დიამეტრზე თითქმის ოთხჯერ წაკლებია და 3 473 კმ უდრის. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მთვარის ზედაპირი დედამიწის ზედაპირის ფართობის 7,5 % შეადგენს (იგი ცოტათი ნაკლებია აზიის ფართობზე და თითქმის სამხრეთ და ჩრდილოეთ ამერიკის ფართობს უდრის). მთვარის სფეროს მოცულობა დედამიწის სფეროს მოცულობაზე 50-ჯერ ნაკლებია. ჩვენი დედამიწისგან შეიძლება „დამზადდეს“ მთვარის ზომის 50 სფერო. მთვარის მასა დედამიწის მასასთან შედარებით 82-ჯერ ნაკლებია, მაშასადამე, მთვარის სიმკვრივე მნიშვნელოვნად ნაკლებია დედამიწის სიმკვრივეზე. დედამიწის ნივთიერებისაგან 82 ერთნაირი სფერო რომ გაგვეკეთებინა, ყოველი მათგანი მთვარის წონისა იქნებოდა, მაგრამ მოცულობით მასზე ნაკლები.

მასა განსაზღვრავს იმ ძალას, რომლითაც მოცემული ციური სხეული სხვა საგნებს იზიდავს. გამოთვლამ გვიჩვენა, რომ სიმძიმის ძალა მთვარის ზედაპირზე ექვსჯერ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწიდან მთვარეზე გადატანილი ნებისმიერი საგანი ექვსჯერ უფრო მსუბუქი იქნება, ვიდრე დედამიწაზე. მაგრამ ასე მხოლოდ ზამბარიანი სასწორი გვიჩვენებს; მთვარეზე რომ ტვირთი ჩვეულებრივ-საწონებიან სასწორზე ავწონოთ, იმავე წონას მივიღებთ, რაც დედამიწაზე გვქონდა, რადგან ტვირთიც და საწონებიც ერთნაირად დაიკლებს წონაში.

თუმცა მთვარე დიდი არ არის, მისი მიზიდულობის ძალა დედამიწაზეც შეიმჩნევა. ეს განსაკუთრებით თავს იჩენს დედამიწის ზღვებისა და ოკეანეების მოქცევების მოვლენაში (იხ. გვ. 205).

მთვარის სინათლის წარმოშობა

მზისგან განსხვავებით, მთვარე დაახლოებით თვეში ერთხელ არის მრგვალი (ანუ სავსე). დანარჩენ დღეებში ის „ნაკლულია“, თანაც მისი ხილული ნაწილი ყოველდღიურად იცვლება, ან ივსება, ან იკლებს. მთვარის ხილული ფორმის ამ ყველასათვის ცნობილ ცვალებადობას მთვარის ფაზების ცვლას უწოდებენ. რატომ ხდება ეს?

ოდესღაც ამ კითხვას ადამიანები ლეგენდებითა და ზღაპრებით პასუხობდნენ. მაგალითად, ამბობდნენ, რომ მთვარე სულიერი არსებაა, რომელიც ყოველთვე იბადება და თანდათან იზრდება. ხოლო როცა წრე შეივსება, მას ავი სული სდევნის და ყოველდღე თითო ნაჭერს აჭრის. მაგრამ ძველად მეცნიერებმა უკვე იცოდნენ მთვარის ცვალებადობის ნამდვილი მიზეზი. საქმე ის არის, რომ

მთვარე საკუთარ სინათლეს არ გამოასხივებს. იგი ცაზე სხვის „ხარჯზე“ ანათებს და ჩვენსკენ მზის სხივების ანარეკლს გზავნის.

მთვარე მარტო ღამით როდი ჩანს. იგი ხანდახან დღისითაც გამოჩნდება მოთეთრო ლაქად ცისფერი ცის ფონზე და ჩვეულებრივ საგნებზე, მაგალითად, მიწიერ ქვებსა და კლდეებზე, ნათელი არაა. ღამით მთვარე იმიტომ ჩანს ძალზე ნათელი, რომ ირგვლივ სიბნელეა, ხოლო მისი ზედაპირი კი მზის ძლიერი სინათლითაა განათებული.

მაგრამ მზე მთვარის მხოლოდ ერთ ნახევარს ანათებს — იმას, რომელიც მისკენაა მიმართული. მთვარის ამ ნახევარსფეროზე დღეა. მთვარის მეორე ნახევარსფეროზე მზის სხივები არ ეცემა, იქ ღამეა.

ამრიგად, მთვარის ფორმის ცვალებადობა მოჩვენებითი მოვლენაა. სინამდვილეში მთვარე, რა თქმა უნდა, ყოველთვის სფეროა, ყოველთვის მრგვალია. იცვლება მხოლოდ სინათლისა და სიბნელის განლაგება ჩვენსკენ მოქცეულ მის ნახევარსფეროზე. ეს კარგად ჩანს მაშინ, როცა მთვარეს წვრილი ნამგლის ფორმა აქვს. ამ დროს შესაძლებელია დავათვალიეროთ დისკოს დანარჩენი, ბნელი ნაწილიც. იგი ცის ფონზე სუსტად ანათებს ე. წ. ფერფლისებური სინათლის ხარჯზე. საიდან ჩნდება იქ ეს სინათლე? — დედამიწიდან. ჩვენი პლანეტა ხომ მზის სინათლის არეკვლის გამო გარკვეულ პირობებში საკმაოდ ძლიერად ანათებს მთვარის სფეროს ღამისეულ მხარეს.

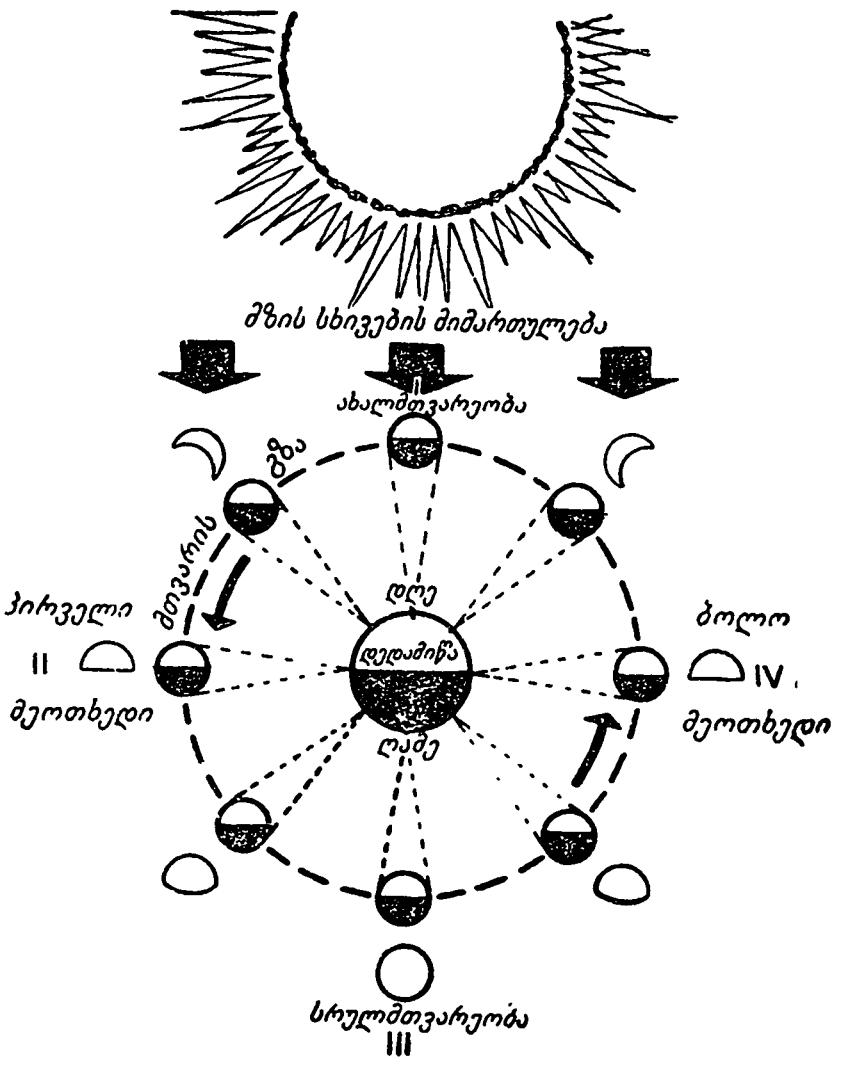
„ახალგაზრდა“ მთვარის ნამგლის ერთი მხარე — ამოზნექილი — მთვარის ნახევარსფეროს ნამდვილი კიდეა, მეორე — ჩაზნექილი—ნახევარსფეროს საზღვარი კი არა, მხოლოდ მისი განათებული და ბნელი ნაწილების საზღვარია. ამ ზღვარს ან ხაზს, რომელიც მთვარის განათებულ და ბნელ ნაწილებს ყოფს, ტ ე რ მ ი ნ ა ტ ო რ ი ეწოდება.

მთვარის იმ ადგილებში, სადაც ტერმინატორი გადის, მზე ან ამოდის, ან ჩადის, და, მაშასადამე, იქ დღე ან იწყება, ან თავდება. ტერმინატორი თანდათან იცვლის ადგილს მთვარის დისკოზე. სწორედ ესაა მთვარის ფაზების ცვლის მოვლენა.

მთვარე არეკლილი მზის სინათლით ანათებს და მზემ რომ უცებ ნათება შეწყვიტოს, მთვარეც ჩაქრება. მაგრამ მზე ყოველთვის ანათებს, მთვარე კი ზოჯერ ქრება ხოლმე, რაც მთვარის დაბნელების დროს ხდება (იხ. გვ. 260).

მთვარის ფაზები და მთვარის თვეები

უფრო დაწვრილებით გავეცნოთ მთვარის ფაზებს. ამისათვის განვიხილოთ ნახატი, რომელზედაც ნაჩვენებია დედამიწა, მთვარის ორბიტა და ორბიტაზე მთვარის სხვადასხვა მდებარეობა; იგულისხმება, რომ მზე ზევიდან ანათებს.



მთვარის ფაზები. მთვარის ხედი იცვლება იმის გამო, რომ დედამიწის ირგვლივ მთვარის მოძრაობისას იცვლება მთვარის განათების პირობები.

I მდებარეობაში მთვარე დაახლოებით დედამიწასა და მზეს შორის იმყოფება. იგი ჩვენსკენ თავისი ბნელი ნახევარსფეროთია მოქცეული და სრულებით არ ჩანს ცაზე. ამ ფაზას ახალმთვარეობას ეძახიან. ისეთი შთაბეჭდილება რჩება, თითქოს ძველი მთვარის ნაცვლად ახალი იბადებაო.

ისრით ნაჩვენები მიმართულებით ორბიტაზე მოძრაობისას მთვარე მზეს შორდება, მარცხნივ ინაცვლებს ადგილს და ჩვენ მისი სფეროს დღის, ე. ი. ნათელ, მომცრო ნაწილს ვხედავთ. მას ძალზე ვიწრო ნამგლის ფორმა აქვს, რომელსაც „ახალ მთვარეს“ ვუწოდებთ. იგი საღამოს მზის ჩასვლისთანავე ჩანს.

ყოველდღიურად მთვარე მარცხნივ შორდება მზეს და ნამგალიც თანდათან ფართოვდება. II მდებარეობაში მიმართულებები დედამიწა — მთვარე და დედამიწა — მზე ქმნიან მართ კუთხეს. ასეთ მდებარეობას „პირველი მეოთხედი“ ეწოდება. ამ დროს დედამიწიდან ხილული ნახევარსფეროს ზუსტად ნახევარია განათებული, ტერმინატორი კი დისკოს შუაზე ჰყოფს.

II და III მდებარეობებს შორის უკვე მთვარის დისკოს ნახევარზე მეტია განათებული და იგი გამობერილი ჩანს. III მდებარეობას სრულმთვარეობა ეწოდება. ასეთი მდებარეობის დროს მთვარე ცაზე მზის საწინააღმდეგო მხარეს იმყოფება, მისი დისკო მთლიანადაა განათებული და ამიტომაც ანათებს ასე ძლიერად. სრული მთვარე მზის ჩასვლისას ამოდის და მზის ამოსვლისას ჩადის. ასე რომ, იგი მთელი ღამე ანათებს.

სრულმთვარეობის შემდეგ მთვარე თავისი გზის ნაწილს III და IV წერტილებს შორის გადის. საღამოს იგი არ ჩანს, მხოლოდ შუაღამისთვის ამოდის და მთლიანადაც არაა განათებული, თანაც მისი განათებული ნაწილი დღითი დღე იკლებს. IV მდებარეობაში, რომელსაც „უკანასკნელი მეოთხედი“ ჰქვია, განათებულია მხოლოდ დისკოს ნახევარი. IV — I უბანზე მზესთან მიახლოებისას მთვარე კვლავ ნამგლად იქცევა. მხოლოდ ახლა მისი კუზი მოქცეულია არა მარჯვნივ (როგორც ეს „ახალი“ მთვარის დროს იყო), არამედ მარცხნივ. ასეთი ნამგალი საღამოს არ ჩანს. იგი დილას, განთიადისას გამოჩნდება ხოლმე.

29,5 დღე-ღამის შემდეგ მთვარე კვლავ უბრუნდება I მდებარეობას და იწყება მორიგი ახალმთვარეობა. ამრიგად, ახალმთვარეობები (აგრეთვე სრულმთვარეობები) გარკვეული დროის შემდეგ მეორდება, რომელიც, თუ ზუსტად დავწერთ, საშუალოდ 29 დღე-ღამეს, 12 საათს, 44 წუთს, 2,8 წამს შეადგენს და მთვარის, ანუ სინოდური თვე ეწოდება.

მთვარის „ზღვები“

მთვარე ისე ახლოსაა ჩვენგან, რომ მასზე შეუიარაღებელი თვალითაც შეიძლება ზოგიერთი წვრილმანის დანახვა. ყოველ ჩვენგანს შეუმჩნევია ბადრი მთვარის ზედაპირზე მონაცრისფრო ლაქების მოხატულობა. ძველად ადამიანებს უკვირდათ ეს. ამიტომ ხალხმა მრავალი ზღაპარი და მითი შექმნა. დიდი ხანია გამოთქვეს სხვადასხვა ბუნიერული მოსაზრებაც. ერთნი ამტკიცებდნენ, რომ დედამიწის მსგავსად, მთვარეზეც არის ზღვები და ოკეანეები, იმოწმებდნენ მთვარის ზედაპირზე მონაცრისფრო ლაქების არსებობას.

მთვარის პირველი რუკების შემდგენლებს სჯეროდათ ამ ვარაუდისა და მთვარეზე მუქ ადგილებს „ზღვები“ უწოდეს. ყოველ ლაქას საკუთარი სახელი დაარქვეს. ასე გაჩნდა მთვარის რუკებზე: მოწმენდილობის ზღვა, წვიმების ზღვა, სიუხვის ზღვა. ზღვების განშტოებებს „ყურეებს“ ეძახდნენ, განცალკევებულ პატარა მუქ ლაქებს — „ტბებს“. ხოლო ყველაზე დიდ ლაქას, რომელიც მთვარის დისკოს მარცხენა ნახევარზე მდებარეობს, ქარიშხლების ოკეანე უწოდეს. ნათელ ფონს, რომელზეც ყველა ეს „ზღვა“ იყო განლაგებული, საერთო სახელი — „მატერიკები“ მიეკუთვნა.

ყოველივე ეს იმას მოწმობდა, რომ მთვარე თავისი ბუნებით ძალიან ჰგავდა დედამიწას, რომლის ზედაპირიც ოკეანეებისა და ხმელეთისაგან შედგებოდა. მაგრამ ჩვენთან ხმელეთი ნაკლებია, ვიდრე წყალი, მთვარეზე კი, პირიქით, ნათელი „მატერიკების“ ფართობი მეტია, ვიდრე მუქი „ზღვების“ ფართობი.

მაგრამ მთვარის ეს „ზღვები“ მართლა ნამდვილი წყალსატევებია?

პირველად ამ კითხვაზე გალილეიმ გასცა პასუხი. თავისი გამოგონებული ტელესკოპით მთვარეზე დაკვირვებისას გალილეი დარწმუნდა, რომ მთვარეზე „ზღვებისა“ და „ოკეანეების“ ზედაპირი ისეთი სწორი არაა, როგორიც ოკეანის გლუვი ზედაპირი უნდა იყოს. „ზღვებზე“ ადვილად შეინიშნება სხვადასხვაგვარი უსწორმასწორობა, ცალკეული ბორცვები ან დამრეცი შემაღლებები მომცრო მიწაყრილებისა და მთაგრეხილების სახით. აქედან გალილეიმ დაასკვნა, რომ მთვარეზე მუქი ადგილებიც ხმელეთია და არა წყალი. ისინი რაღაც ველებისა და დაბლობების მსგავსია

და მთიან ნათელ ადგილებს — „მატერიკებს“ — შორისაა განლაგებული.

მაგრამ, არის თუ არა მთვარეზე ნამდვილი ზღვები, ტბები ან მდინარეები მაინც? არა, მთვარეზე წყალი არ არის. მთვარის მთელი ზედაპირი ერთიანი ხმელეთია.

მთვარის მთები

მთვარის ნათელი, პირობითად „მატერიკებად“ წოდებული ადგილები მთიანია. მთვარის მთები პატარაა, სასკოლო ტიპის ტელესკოპებშიც კარგად ჩანს. მთვარეს უნდა დავაკვირდეთ არა მარტო სრულმთვარეობისას, არამედ როცა მთვარე ნახევრადაა განათებული, რადგანაც მთები და სხვა უსწორობანი მხოლოდ მთვარის სფეროს დღისა და ღამის მხარეების საზღვართან, ტერმინატორთანაა, ნათლად გამოკვეთილი. მზის სხივები იქ ზედაპირის გასწვრივ ეცემა და ყოველგვარი უსწორობა გრძელ შავ ჩრდილს გვაძლევს. სწორედ ამ ჩრდილების საშუალებით შეგვიძლია კარგად გავარჩიოთ ზედაპირის მთელი რელიეფი, სადაა მთა და სად დაბლობი. ორბიტაზე მთვარის გადაადგილებასთან ერთად ტერმინატორის ხაზიც მოძრაობს მის ზედაპირზე და ამიტომ სულ ახალ-ახალი ადგილები ექცევა ირიბი განათების ზონაში. ხვალ ტერმინატორი იქ აღარ იქნება, სადაც დღეს იყო და ამიტომ მასზე უკვე სხვა მთები და ველები აღმოჩნდება. მთვარეს რომ ორი კვირის მანძილზე ყოველ ღამით დავაკვირდეთ, თანდათანობით შევძლებთ ყველა მისი მთიანი ადგილის შესწავლას.

ასეთი სახის დაკვირვებები ძალზე საინტერესოა. ვთქვათ, ტერმინატორმა გაკვეთა მთვარის „ზღვის“ ველი, რომელზეც უსწორობანი არ შეიმჩნევა. კვლავ გახედავ ერთი ან ორი საათის შემდეგ და უცებ დაინახავ, რომ დისკოს ბნელ ნაწილზე ვარსკვლავის მსგავსი კაშკაშა, ნათელი წერტილი აინთო. რა არის ეს? — ეს მაღალი მთის მწვერვალია, რომელიც მზემ გაანათა, თუმცა ირგვლივ მთელი მიდამო ჯერ უკუნეთშია ჩაძირული. კიდევ ცოტა ხანი და გამოჩნდება ახალი ნათელი წერტილები, რომლებიც პირველთან ერთად მთელ ჯაჭვს ქმნიან. ეს მწვერვალების რიგია, რომელიც მთების ქედს აგვირგვინებს. რამდენიმე ხნის შემდეგ წერტილები ნათელ ხაზად ერთიანდება, იქმნება ქედის თხემი, რომელიც ჯერ განცალკევებულია ტერმინატორისაგან ბნელი ველით. ხვალ ტერმინატორი ქედს მიაღწევს და გაშორდება კიდევაც მას. ქედის ფერდი მზის სხივებით გაჩახჩახებულ ველს შეერევა და გადანაცვლებული ტერმინატორის მხარეს დაკბილული ჩრდილი გაწვება.



მთვარის ფოტოსურათი პირველ მეოთხედში. ბნელი ლაქები — „ზღვები“, ნათელი — „მატერიკები“ სურათზე კარგად ჩანს მთები და კრატერები.

მეცნიერები დიდი ხანია იკვლევენ მთვარის მთების ფორმას, აგებულებას და ჩრდილის სიგრძით მათ სიმაღლესაც განსაზღვრავენ. გამოირკვა, რომ მთვარეზე იმავე ტიპის მთებია, როგორიც ჩვენს დედამიწაზე გვხვდება. ასეთებია, მაგალითად, ცალკეული წვერწამახული მწვერვალები ან

წაგრძელებული ქედები და მთაგრეხილები. მთვარეზე ყველაზე მაღალ მთებს რვა კილომეტრის სიმაღლე აქვთ — ამდენივეა დაახლოებით დედამიწის უმაღლესი მწვერვალების სიმაღლეც. მაგრამ ჩვენთვის ცნობილი მთის წარმონაქმნების გარდა, მთვარეზე ისეთებიც არის, რომლებიც ჩვენში არაა. ეს მრგვალი, უფრო სწორად, რგოლის მაგვარი მთებია. ასეთ მთებს ცირკები და კრატერები ეწოდება.

ცირკი სწორი რგოლის მოყვანილობის ქედია, რომელიც მიწაყრილს ქმნის. ეს მიწაყრილი გარს ერტყმის სავსებით სწორ და გლუვ მრგვალ მოედანს, რომელსაც ცირკის ფსკერს უწოდებენ. კრატერი იმით განსხვავდება ცირკისაგან, რომ მის ცენტრში უზარმაზარი კონუსისებური მთაა ამაროული.

მთვარეზე ბევრი ცირკი და კრატერია. ისინი ზოგან მატერიკების მთელ ნათელ ზედაპირს ფარავენ, ისე რომ, რგოლისმაგვარი მიწაყრილები ერთმანეთზეა მიჯრილი.

ასტრონომების შეთანხმებით მთვარის კრატერებსა და ცირკებს დიდი მეცნიერების სახელები დაერქვა. ასე მაგალითად, ერთ-ერთ ყველაზე დიდ და ლამაზ კრატერს კოპერნიკი ეწოდება, მეორეს — კეპლერი, მესამეს — ნიუტონი და ა. შ.

ჯერ არაა ცნობილი, როგორ გაჩნდა მთვარეზე რგოლისმაგვარი მთები. ზოგიერთ მეცნიერს მიაჩნია, რომ კრატერები განსაკუთრებული სახის ვულკანებია, რომლებიც უჩვეულო ძალით მოქმედებდნენ მთვარეზეც და დედამიწაზეც. შემდგომში დედამიწაზე ისინი წყლისა და ჰაერის ზეგავლენით დაინგრა, მთვარეზე კი დღემდე შემორჩა. მეცნიერთა მეორე ნაწილის აზრით კი ცირკები და კრატერები მთვარეზე უზარმაზარი მეტეორიტების ვარდნის შედეგად წარმოიშვა. ასეთი ციური ქვა მთვარის ზედაპირზე უზარმაზარი, წამში ათეული კილომეტრების სიჩქარით ეცემოდა. დაცემისას წარმოიშვებოდა დიდი ძალის დარტყმა, რომელსაც თან ახლდა მძლავრი აფეთქება.

მოზრდილი მეტეორიტები ზოგჯერ დედამიწაზეც ცვივა. მათი დაცემის ადგილზე უზარმაზარი ორმოები ჩნდება, რომლებიც ფორმით მთვარის კრატერებს მოგვაგონებს. მაგრამ დედამიწაზე წყლისა და ჰაერის ზეგავლენით ისინი თანდათან იშლება, მაშინ როდესაც მთვარეზე მეტეორიტის დარტყმის ყოველგვარი კვალი რჩება. ამიტომ მთვარის არსებობის რამდენიმე მილიარდი წლის მანძილზე ასეთი დარტყმების კვალი მართლაც მრავლად დაგროვდებოდა.

მომავალი მკვლევარები დაადგენენ, ამ ორი ჰიპოთეზიდან რომელი უფრო სწორად ხსნის მთვარეზე მთების წარმოშობას.

მთვარის ხილული და უხილავი მხარეები

მოხატულობა, რომელსაც მთვარის დისკოზე „ზღვების“ მუქი ლაქები ქმნის, ადვილი დასამახსოვრებელია, მით უმეტეს, ეს ლაქები რამდენადმე სავსე მთვარეს გაღიმებულ სახეს ამსგავსებს. მაგრამ აი, რა არის საოცარი: როცა არ უნდა შევხედოთ მთვარეს, ღამით თუ დღისით, ზამთარში თუ ზაფხულში, სრულმთვარეობისას თუ სხვა ფაზის დროს, მუდამ კარგად ნაცნობი მუქი ლაქების ერთსა და იმავე მოხაზულობას ვხედავთ. ბუნებრივი იქნებოდა, რომ მთვარე, თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნვისას, ხან ერთი, ხან მეორე მხრით



დედამიწიდან მთვარის ხილული ნახევარსფეროს სქემა. ყველაზე მეტად შესამჩნევი კრატერები: 1 — ტიხო, 2 — გრიმალდი, 3 — კეპლერი, 4 — არისტარქე, 5 — კოპერნიკი, 6 — არქიმედე, 7 — პლატონი, 8 — მანილიუსი, 9 — პოსიდონიუსი, 10 — ლანგრენიუსი, 11 — პეტავიუსი, 12 — ფურნერიუსი.

ყოფილიყო ჩვენსკენ მოქცეული. მაგრამ ასე არ არის. რატომ?

მთვარე თავის ორბიტაზე დედამიწის ირგვლივ მოძრაობს, ამასთანავე თავისი ღერძის ირგვლივაც ბრუნავს. მაგრამ ღერძის ირგვლივ იგი ისე ბრუნავს, რომ ყოველთვის ერთი და იმავე მხრითაა ჩვენსკენ მოქცეული. ამიტომ დედამიწიდან ყოველთვის მოჩანს მთვარის სფეროს ერთი ნახევარი, მეორე კი არასოდეს არ ჩანს.

მთვარის ბრუნვას საკუთარი ღერძის ირგვლივ უკეთ წარმოვიდგენთ, თუ მას ფერხულს შევადარებთ. ფერხულის დროს მონაწილეებს ხელები აქვთ ერთმანეთისთვის ჩაჭიდული, წრის ცენტრში მდგომის ირგვლივ ტრიალებენ და სახე განუწყვეტლივ მისკენ აქვთ მიქცეული. ხოლო გარემომცველი საგნებისაკენ, მაგალითად, ფანჯრის ან კარისაკენ, ხან ზურგით დგანან, ხან კი სახით.

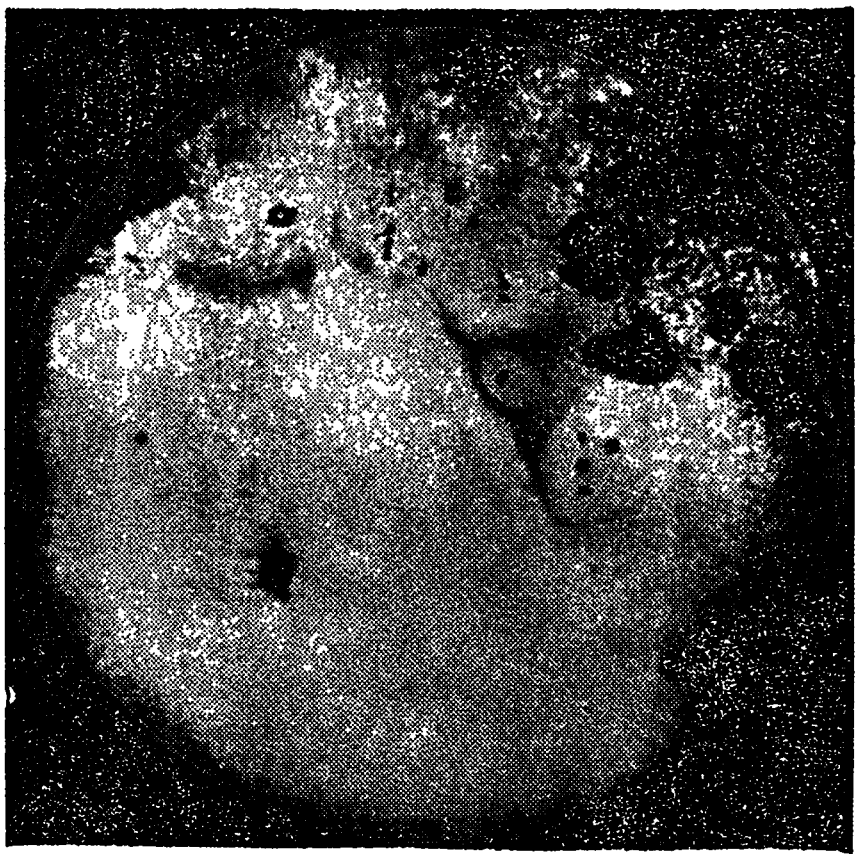
უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, მთვარის მოძრაობის შესანიშნავი თავისებურება ისაა, რომ მთვარის მიერ დედამიწის ირგვლივ შემოვლის დრო ზუსტად ემთხვევა იმ დროს, რომელსაც მთვარე თავისი ღერძის ირგვლივ სრულ შემობრუნებას ანდომებს.

რა თქმა უნდა, ასეთი ზუსტი დამთხვევა არ შეიძლება შემთხვევითი იყოს. ვარაუდობენ, რომ დიდი ხნის წინათ, შეიძლება მილიარდი წლების წინათაც, მთვარე თავისი ღერძის ირგვლივ უფრო სწრაფად ბრუნავდა. მაგრამ დედამიწის მიზიდულობის მოქმედება მანამდე ამუხრუჭებდა, ანელებდა ამ ბრუნვას, სანამ მისი პერიოდი დედამიწის ირგვლივ მთვარის გარემოქცევის პერიოდს არ გაუტოლდა.

ეს გარემოებები მთვარის ბუნების შესწავლას ართულებს. მეცნიერები ზუსტად ზომავენ მთვარის სხვადასხვა დეტალების განედსა და გრძედს, მთვარის მთების სიმაღლესა და ღრმულების სიღრმეს, არკვევენ ცალკეული ლაქების სიკაშკაშესა და ფერს, გამოსცემენ მთვარის ზედაპირის დაწვრილებით რუკებსა და ატლასებს. მაგრამ ყველაფერი ეს ეხება მთვარის მხოლოდ ერთ, დედამიწიდან ხილულ მხარეს.

მთვარის მეორე, დედამიწიდან უხილავი მხარე უკანასკნელ დრომდე ამოუხსნელ ამოცანას წარმოადგენდა.

ამ უხილავი მეორე ნახევარსფეროს შესასწავლად მთვარეს, ასე ვთქვათ, უკანა მხრიდან უნდა შევხედოთ. ამისთვის კი მთვარის ირგვლივ კოსმოსური რეისის ჩატარებაა საჭირო.



დედამიწიდან მთვარის უხილავი მხარე. გადაღებულია საბჭოთა ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგურიდან 1959 წლის 4 ოქტომბერს.

მთვარის ირგვლივ ასეთი შემოვლა დიდი ხნის ოცნება იყო. მაგრამ ეს ოცნება სინამდვილედ იქცა 1959 წლის ოქტომბერში, როცა საბჭოთა კავშირში მთვარის მიმართულებით გაუშვეს მესამე კოსმოსური რაკეტა. ამ რაკეტას გამოეყო საგანგებო აპარატურით აღჭურვილი ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური, რომელმაც რთულ ორბიტაზე მოძრაობით მთვარეს შემოუარა.

როცა სადგური მთვარის უკანა მხარეზე იმყოფებოდა, საგანგებო მოწყობილობათა მეშვეობით სადგურზე დადგმული ფოტოაპარატები მთვარისკენ მიიმართა და დაიწყო გადაღებები. გადაღებული ფირი იქვე, სადგურზე გამომჟღავნდა ავტომატურად, ფიქსაჟით დამუშავდა და გაშრა. ხოლო როცა სადგური უკანვე გამოემართა დედამიწისკენ, მასზე დადგმული ხელსაწყოები ჩაერთო და იმავე საშუალებით გადმოსცა დედამიწის სადგურებს კოსმოსში მიღებული სურათები, როგორითაც ტელეხედვა გადასცემს გამოსახულებას. მაგრამ დედამიწის სატელევიზიო სადგურები გამოსახულებას მხოლოდ ასობით კილომეტრზე გა-

დასცემენ. ეს ფოტოები კი ასიათასობით კილომეტრის მანძილიდანაა გადმოცემული. ტელეცენტრის ჩვეულებრივი სადგური უზარმაზარი ნაგებობაა, ხოლო ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგურის მთელი აპარატურა კი ძალზე პატარა და მსუბუქი იყო. შეიძლება წარმოვიდგინოთ, თუ რამდენი გამომგონებლობა, შრომა და ცოდნა დასჭირდა ასეთი ხელსაწყოების შექმნას.

რა მოგვცა მთვარის უკანა მხარის ამ პირველმა ფოტოებმა? მათ გვიჩვენეს, რომ მთვარის უხილავ ნახევარსფეროზეც არის კრატერებით მოფენილი „მატერიკები“ და „ზღვების“ მუქი ველები. მხოლოდ „ზღვები“ იქ იმდენი არაა, რამდენიც ხილულ მხარეზე, და ზომითაც უფრო პატარებია. ამ ფოტოების საფუძველზე საბჭოთა მეცნიერებმა მთვარის უკანა მხარის ატლასი შეადგინეს.

მთვარის მეორე მხარეზე აღმოჩენილ „ზღვებსა“ და კრატერებს სახელებიც უწოდეს. ასე მაგალითად, ნახევარსფეროს უკან, შუაში მდებარეობს მომცრო „ზღვა“, რომელსაც „მოსკოვის ზღვა“ დაერქვა, ახალ კრატერებს კი ლომონოსოვის, ციოლკოვსკის, ჟოლიო კიურისა და სხვა დიდი მეცნიერების სახელები.

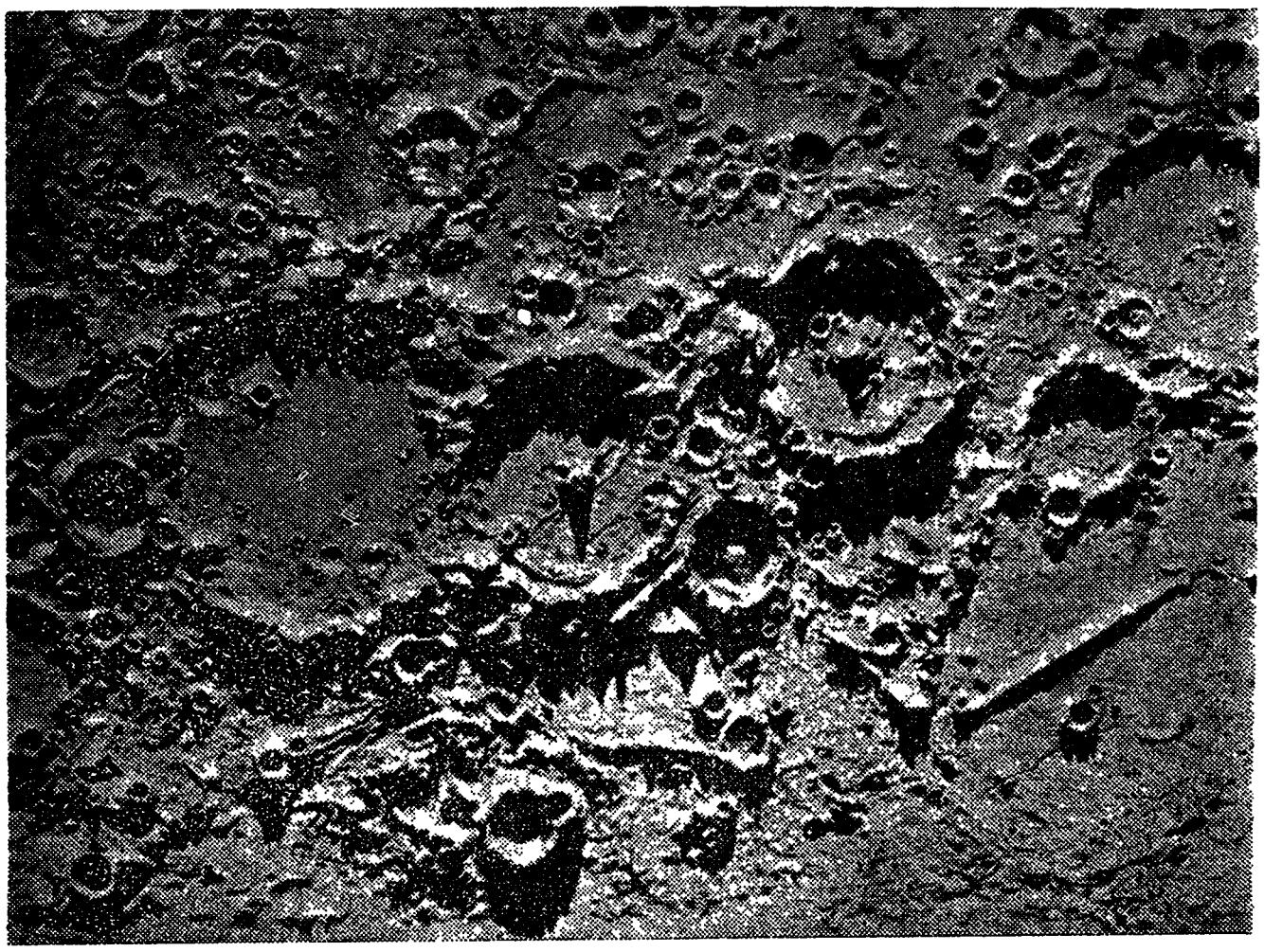
მთვარის სამყარო

მთვარე ახლა მხოლოდ ასტრონომებს როდი აინტერესებთ. ყველა საფუძველი გვაქვს, ვიფიქროთ, რომ კოსმოსის ათვისებისას ადამიანები, უპირველეს ყოვლისა, მთვარეზე აფრინდებიან. შესაძლოა, მთვარიდან სხვა პლანეტებზეც გაფრინდნენ. მთვარეზე სიმძიმის ძალა ნაკლებია და იქიდან უფრო ადვილია შორეული კოსმოსური რეისისათვის სტარტის აღება.

ვიდრე მთვარეზე გაფრენისა და სხვა გრანდიოზული პროექტის განხორციელებას შევუდგებოდეთ, საჭიროა გავიგოთ, რა ხდება მთვარეზე, რას იპოვის იქ ადამიანი და რას ვერა.

ის, რომ მთვარეზე არის მთები, ველები, კლდეები, ქვები და არ არის წყალი, უკვე ვიცით. იქ ყველგან უწყლო უდაბნოა, არასოდეს წვიმს, არც ნამია და არც ნისლი.

ჩვენ ვიცით, რომ მთვარეზე არც ატმოსფეროა. დიდი ხანია მეცნიერებმა იციან, რომ მთვარეზე ტელესკოპით გახედვისას არასოდეს ჩანს ღრუბლები, მთათა ჩრდილები იქ სრულიად შავია. ამის მიზეზი უჰაერობაა, რადგან ჰაერი მზის სხივებში



მთვარის კრატერები.

ცისფერი შუქით ანათებს და ყველასთვის ნაცნობ ცისფერ ჰაეროვან ბოლს ქმნის.

ამის გამო დიდი ხანია დაასკვნეს, რომ მთვარეზე არ არსებობს რამდენადმე მაღალი და მკვრივი ატმოსფერო. მაგრამ იქნებ ცოტაოდენი გაზი მაინც არის? ეს საკითხიც გამოკვლევების ახალი მეთოდის მეშვეობით უკანასკნელ დროს საბოლოოდ გადაწყდა. გამოირკვა, რომ გაზის სიმკვრივე მთვარის ზედაპირთან, სულ ცოტა, მილიონ მილიონჯერ (ეს იქნება 12-ნულიანი რიცხვი) ნაკლებია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირთან. პრაქტიკულად ეს იმას ნიშნავს, რომ მთვარის ირგვლივ უჰაერო სივრცეა. ეს დასკვნა ბრწყინვალედ დამტკიცდა მთვარეზე მეორე კოსმოსური რაკეტის, „მთვარე-2“, გაფრენისას. მან მთვარის ზედაპირზე მიიტანა ვიმპელი, რომელზეც საბჭოთა კავშირის გერბი იყო გამოსახული.

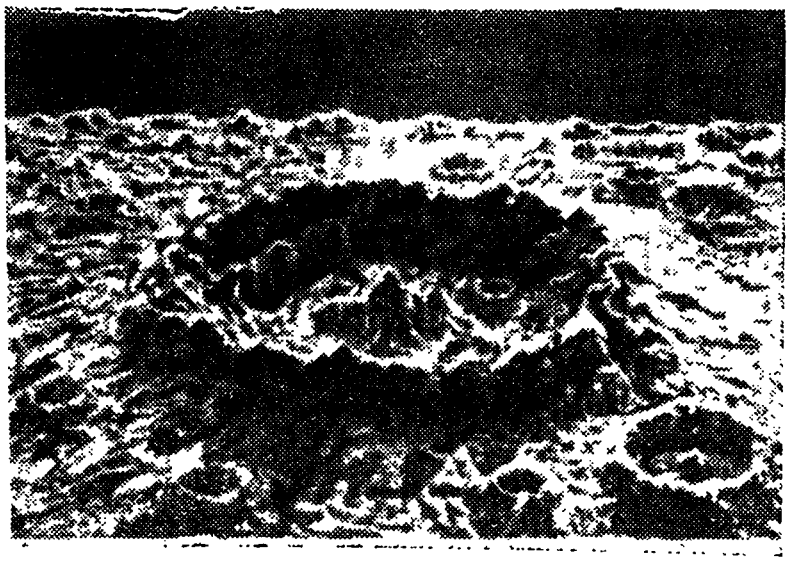
მთვარეზე ატმოსფერო არ არის. ამიტომ იქ არც ქარია და, საერთოდ, არავითარი ატმოსფერული მოვლენა არაა, რომლებიც დედამიწაზე ამინდს ქმნიან. არ არის მთვარეზე ხმაც, იმ გაგებით, როგორც ჩვენ გვესმის, რადგან ჩვენს ყურამდე ხმა უმეტეს შემთხვევაში ჰაერის მეშვეობით აღწევს.

მთვარეზე ცა მხოლოდ ღამით კი არა, დღისითაც შავია. ნათელი, ცისფერი ცის თაღი, რომელსაც ჩვენ დღისით ვხედავთ, მზის გასხივოსნებული ჰაერის ფენებია. რამდენადაც მთვარეზე ატმოსფერო არაა, ვარსკვლავები იქ დღისითაც ჩანს მზესთან ერთად.

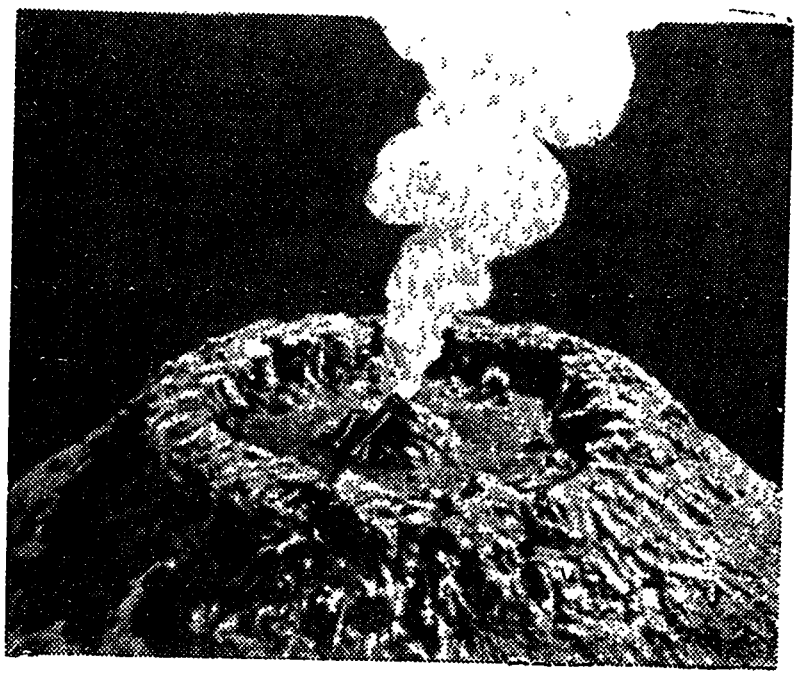
მთვარის ზედაპირს არ იცავს ატმოსფერო, არ ქრის ქარი და ამიტომ დღის განმავლობაში მზე ძლიერ ახურებს მას. დღეები მთვარეზე გრძელია, იქ დღე-ღამე დედამიწის 29,5 დღე-ღამეს უდრის, დღე კი ორ კვირაზე მეტ ხანს გრძელდება. ამ დროის განმავლობაში ზოგ ადგილებში მთვარის ზედაპირი 100 — 130°-მდე ხურდება. სამაგიეროდ ასეთივე გრძელი ღამის მანძილზე იგი 150°-მდე იყინება. ასეთ პირობებში მთვარეზე სიცოცხლე შეუძლებელია.

რას წარმოადგენს მთვარის ზედაპირი, რომელზედაც კოსმოსური ხომალდები უნდა დაეშვას და კოსმონავტებმა უნდა იაროს?

იმ ნივთიერების ქიმიური შედგენილობა, რომელიც მთვარის ზედაპირს ქმნის, ჯერ ჩვენთვის უცნობია. ამის გაგება ვერ ხერხდება იმიტომ, რომ მთვარე საკუთარი კი არა, არეკლილი სინათლით ანათებს და მის მიმართ არ შეიძლება ციური სხეულების შედგენილობის შემსწავლელი ძირითადი მეთოდის — სპექტროსკოპიის გამოყენება.



მთვარის ტიპიური კრატერი.



ვულკან ვეზუვის კრატერი.

ცნობილია მხოლოდ, რომ ნივთიერება, რომელიც მთვარეს აკრავს, ძალზე მუქია, მაგრამ ქვა არაა, რადგან ქვა კარგად ატარებს სითბოს, მთვარის ზედაპირის საფარი კი, პირიქით, სითბოს არ ატარებს. მაშ, რა უნდა იყოს ეს? უფრო მართებული იქნება ვივარაუდოთ, რომ მთვარის მთებისა და ველების ზედაპირი ყველგან ფოროვანი, დაჩვრეტილი მასალითაა დაფარული, რომელიც ღრუბელს მოგვა-

გონებს, მხოლოდ იმას კი არა, რომელსაც ვიცნობთ, არამედ ქვის ღრუბელს. ასეთი სახის ნივთიერება დედამიწის ვულკანებიდან ამოღვრილი ლავის ნაკადის ზედაპირზე იქმნება. იგი თითქოს გაყინულ ქვის ქაფს წააგავს, რომელსაც ვულკანურ წიდას უწოდებენ.

ზოგიერთ მეცნიერს მიაჩნია, რომ მთვარეზე ახლაც ხდება ვულკანური ამოფრქვევები, იღვრება ლავა, იქმნება წიდა და ვულკანური ფერფლი.

მაგრამ უფრო მართებულია შემდეგი: როგორც უკვე ვთქვით, მთვარეს განუწყვეტლივ ეცემა მეტეორიტები, მაგრამ არა მარტო ისეთი დიდები, რომლებიც, შესაძლოა, ცირკებსა და კრატერებს ქმნიან (ასეთი მეტეორიტები იშვიათობას წარმოადგენენ, მაგრამ მთვარის მილიარდი წლების არსებობის მანძილზე, იქ მრავალი ასეთი მეტეორიტის ვარდნაა დასაშვები), არამედ მცირეებიც და უმცირესებიც. მაგრამ უმცირესი მეტეორული ნაწილაკიც კი — კენჭი იქნება ეს თუ სულ უმნიშვნელო ნამცეცი, მთვარის ზედაპირზე დაცემისას პატარა აფეთქებას იწვევს. წარმოიშვება ძლიერი სიმხურვალე, ზედაპირი მეტეორიტის დაცემის ადგილის ირგვლივ დნება, დუღს და მუქ წიდად იქცევა. მხოლოდ ეს ვულკანური კი არა, მეტეორული წიდა იქნება.

მართლაც ასეა თუ არა სინამდვილეში, ამას მთვარის პირველი ექსპედიციის მონაწილენი გვიამბობენ.

მ ზ ე

მშვიდი მზე

შეიძლება თუ არა დედამიწაზე უმზეოდ არსებობდეს სიცოცხლე? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად წარმოვიდგინოთ ის, რაც სინამდვილეში შეუძლებელია. წარმოვიდგინოთ, რომ მზე უცებ გაქრა, ან რაღაც უზარმაზარმა საფარველმა მის სხივებს ჩვენი პლანეტისაკენ გზა გადაუღობა. მაშინ დედამიწა უცებ ჩაიძირება უკუნეთში. მთვარე და პლანეტები, რომლებიც მზის სხივებს ირეკლავენ, შეწყვეტენ ნათებას. მხოლოდ შორეულ ვარსკვლავთა მჭრქალი სინათლე გაანათებს დედამიწას. მწვანე მცენარეები დაიღუპება, რადგან ისინი მზის სხივების მეშვეობით ღებულობენ ჰაერიდან ნახშირბადს. ცხოველებს საკვები აღარ ექნებათ და ამოწყდებიან. ყველაფერი სწრაფად გაიყინება დედამიწაზე. ჰაერი, ოკეანეები და ხმელეთი ძალზე მალე გადასცემენ მსოფლიო სივრცეს იმ ენერგიას, რომელსაც განუწყვეტლივ იღებენ მზისგან. აღარ იქროლებს ქარები და გაიყინება ყველა წყალსატევი. ჰაერი გათხევადდება და დედამიწაზე წვიმად წამოვა თხევადი ჟანგბადი და აზოტი. ამის შედეგად ჩვენი პლანეტა მკვრივი ჰაერის ყინულის ფენით დაიფარება. შესაძლებელია ასეთ პირობებში სიცოცხლის არსებობა? რასაკვირველია, არა.

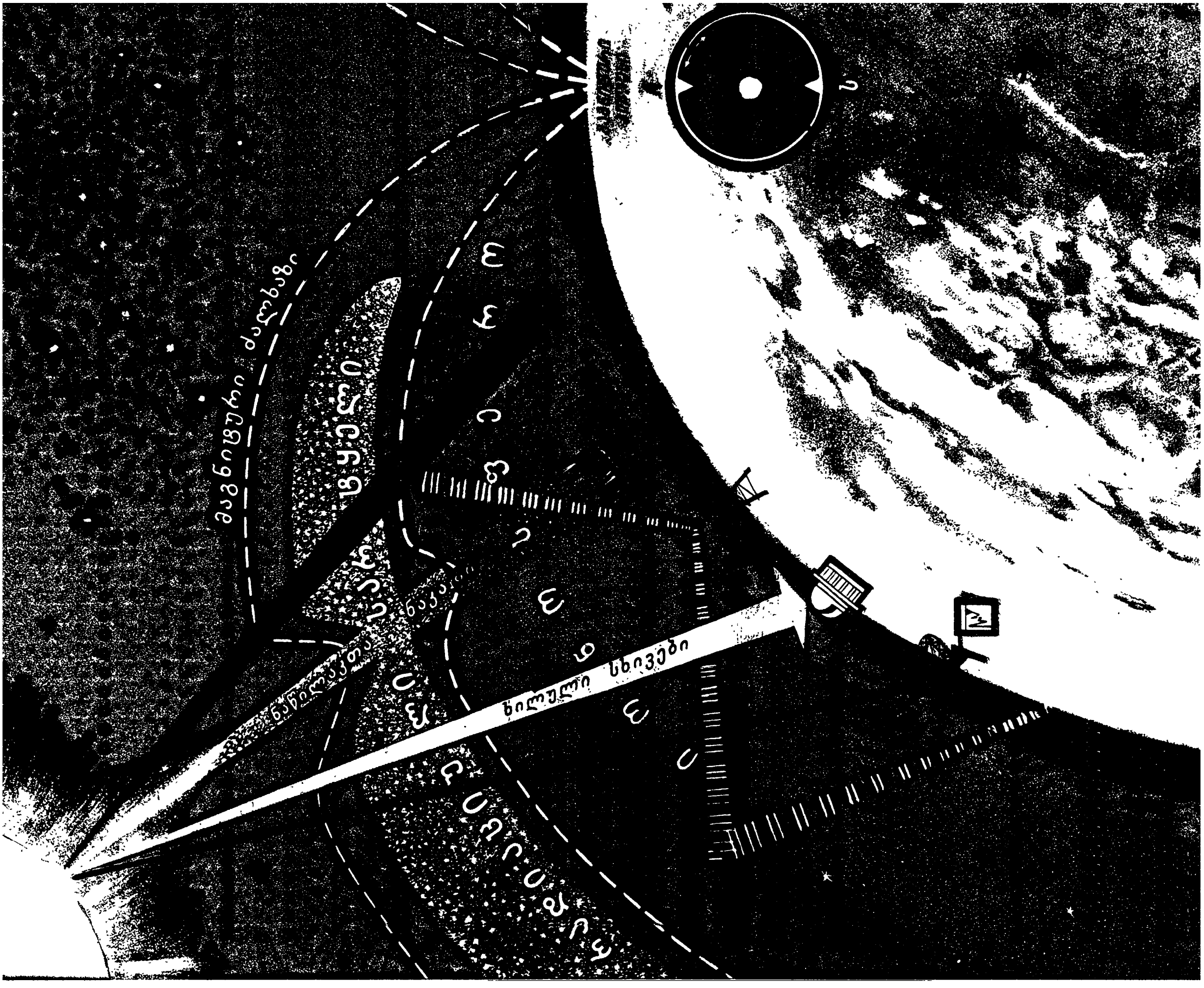
საბედნიეროდ, ყოველივე ეს შეუძლებელია. მზე ყოველდღიურად აგზავნის დედამიწაზე თავის ცხოველმყოფელ სხივებს, ათბობს ხმელეთს, წყლებს და ჰაერს, აორთქლებს წყალსატევებს, ქმნის ღრუბლებსა და ქარს, ხელს უწყობს ნალექთა გამოყოფას, სითბოსა და სინათლეს აძლევს ცხოველებსა და მცენარეებს.

პირობითი სქემა გამოხატავს დედამიწაზე მზის მოვლენების მოქმედებას, რომლებიც თან ახლავს ანთებას.

ანთება — თეთრი გამონაშვერი მზეზე, ზედა მარცხენა კუთხეშია გამოხატული (ანთების ზომა მეტად გადიდებულია). ანთებიდან დედამიწისკენ მიმართული ისრები შეესაბამება სხვადასხვა სახის ანთებას.

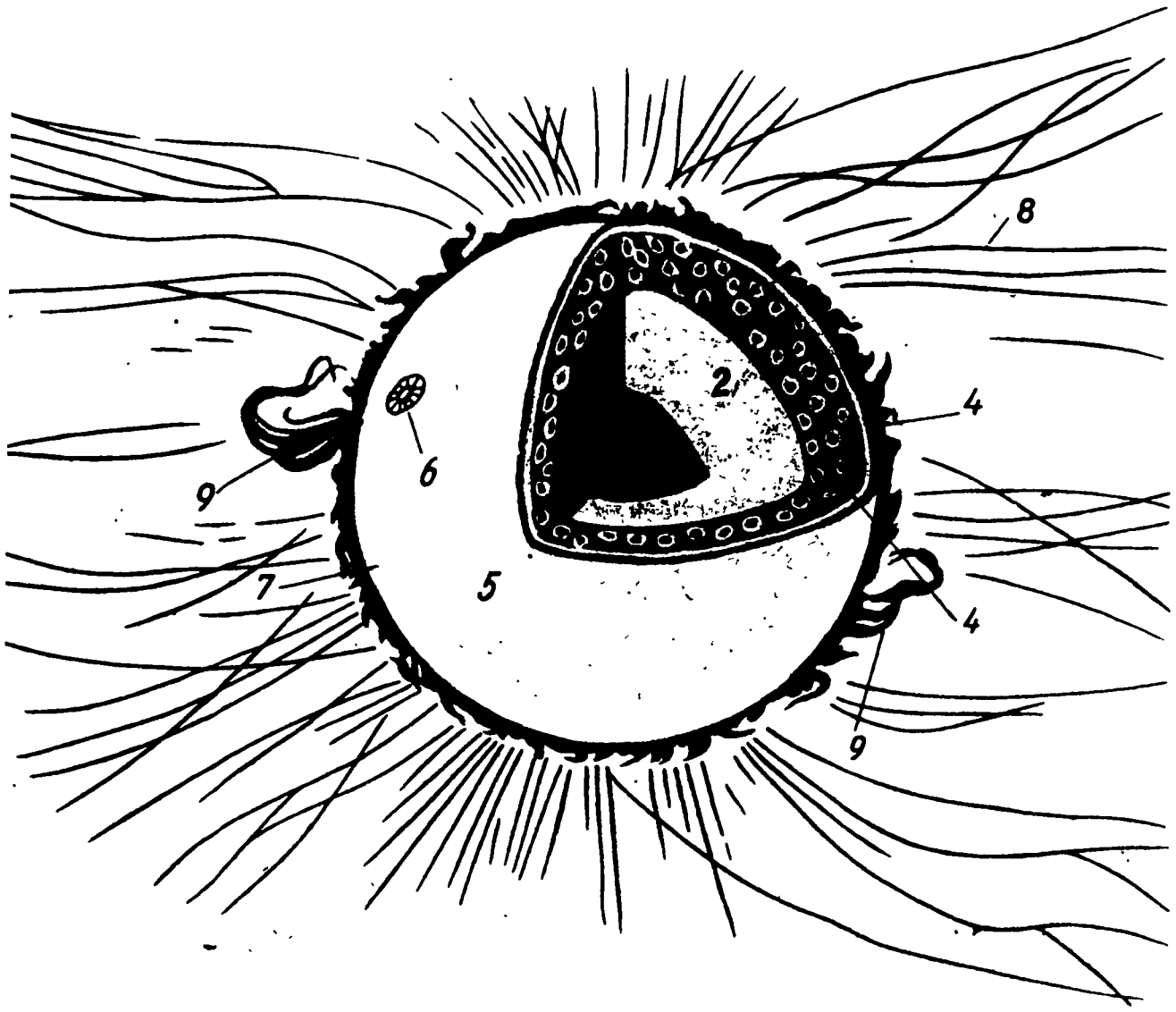
ყვითელი — ანთების ხილული გამოსხივება, ცისფერი — რენტგენის და ულტრაიისფერი გამოსხივება (ის აძლიერებს იონიზაციას იონოსფეროში, რასაც აღნიშნავს წითელი წერტილების შეჯგუფება). იონიზაციის გაძლიერება იწვევს რადიოტალღების შთანთქმას. ანთებიდან წამოსული თეთრი წერტილები ნაწილაკების (კორპუსკულების) ნაკადია, რომელიც წარმოშობს პოლარულ ნათებას. თეთრი პუნქტირის ხაზები მაგნიტური ველის ძალხაზებია, მათ შორის რადიაციული სარტყელია მოქცეული. მაგნიტური ველის ძალხაზების გამრუდება, რაც ნაწილაკთა ნაკადების მოქმედების შედეგია, მაგნიტურ ქარიშხალს იწვევს. წვრილი წითელი ისარი — ანთების რადიოგამოსხივებაა.

——→


ხილული სხივები



ზ ე მ ო თ — მზის ფოტოსფეროს ერთერთი უბანი; ჩანს მზის ლაქების ჯგუფი; მარჯვენა ლაქის ირგვლივ კარგად შეიმჩნევა ნახევარჩრდილი; „უჯრედები“ ფოტოსფეროში გრანულებია. ქ ვ ე მ ო თ მ ა რ ც ხ ნ ი ვ — მზისა და მისი ატმოსფეროს აგებულების სქემა: *1* — ბირთვი, სადაც გამოიყოფა ბირთვული ენერგია; *2* — ენერგიის სხივური გადატანის არე; *3* — კონვექციური ზონა; *4* — კონვექციის ელემენტი; *5* — ფოტოსფერო; *6* — ლაქა; *7* — ქრომოსფერო; *8* — კორონა; *9* — პროტუბერანცი. ქ ვ ე ვ ი თ მ ა რ ჯ ვ ნ ი ვ — პროტუბერანცი.



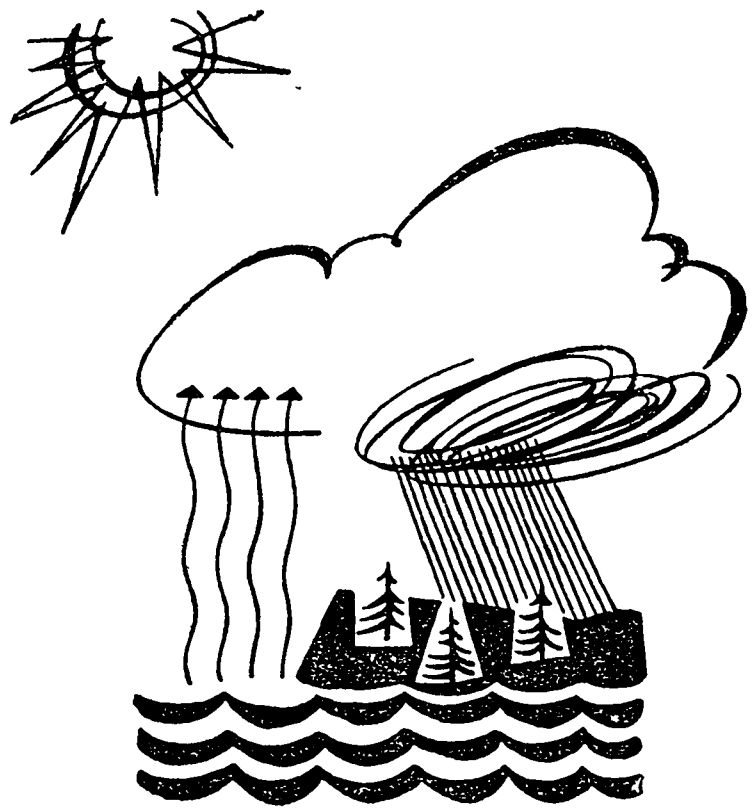
მზის ენერგია უზარმაზარია. ის უმცირესი ნაწილიც კი, რომელიც დედამიწას ეცემა, ძალზე დიდია. მზის სხივების ენერგიას, რომელიც დედამიწის ზედაპირის ერთ კვადრატულ მეტრზე ეცემა, შეუძლია ამუშაოს დაახლოებით ორი ცხენის ძალის სიმძლავრის ძრავა, ხოლო მთელი დედამიწა მზისგან რამდენიმე ათეულ ათასჯერ მეტ ენერგიას იღებს, ვიდრე მთელი სიმძლავრით მომუშავე მსოფლიოს ყველა ელექტროსადგური შეუძლია გამოიმუშაოს.

დედამიწიდან მზე შედარებით პატარა გვეჩვენება. იგი ადვილად იფარება მუხუდოს მარცვლით გაგაშიმული ხელის მანძილიდან. თუ ამ ცდას დიდი სიზუსტით ჩავატარებთ, შეიძლება გამოვითვალოთ, რომ მანძილი მზემდე 107-ჯერ აღემატება მის დიამეტრს. მზის განივკვეთი კი ძალზე დიდია, იგი 109-ჯერ აღემატება დედამიწის დიამეტრს, რომელიც დაახლოებით 13 ათას კმ უდრის. ახლა უკვე ადვილად შეიძლება მზის სიდიდე და მზემდე მანძილი კილომეტრებში გამოვხატოთ.

თუკი ვიცით მანძილი მზემდე და ენერგიის რაოდენობა, რომელიც ჩვენამდე აღწევს, შეიძლება გაგაგიგოთ, რამდენ ენერგიას გამოასხივებს მზის ზედაპირი. რაც უფრო ვუახლოვდებით სინათლის წყაროს, მით უფრო კონცენტრირებული ხდება მისი გამოსხივება. დედამიწა რომ ორჯერ უფრო ახლოს იყოს მზესთან, იგი ოთხჯერ მეტ ენერგიას მიიღებდა მისგან, ვიდრე ახლა იღებს. ამავე გზით შეგვიძლია გამოვთვალოთ, რომ, თუ უშუალოდ მივუახლოვდებით მზის ზედაპირს, გამოსხივების სიმძლავრე 46 ათასჯერ გაიზრდება. წარმოიდგინეთ, რომ მზის თვითეული, ჩვენი რვეულის უჯრედის ოდენა ნაწილი თბება ორი ელექტროქურით. ამის სასარგებლოდ დაადგენთ მზის ზედაპირის გამოსხივების სიმძლავრესაც. ფიზიკიდან ცნობილია, რომ გაგაცხელებული სხეულის გამოსხივების ასეთი სიმძლავრე 6000°-მდე გახურებულ სხეულს გააჩნია. აქედან გამომდინარე, მზის ზედაპირის ტემპერატურაც ასეთია.

თავისი მასით მზე 333 ათასჯერ მეტია დედამიწაზე, მოცულობით კი 1 მლნ. 301 ათასჯერ აღემატება მას. ამიტომ მზის სიმკვრივე დედამიწის სიმკვრივეზე ნაკლებია. საშუალოდ მზე 1,41-ჯერ მკვრივია, ვიდრე წყალი. მაგრამ ეს მხოლოდ საშუალოდ. მზის შიდა ნივთიერება ძლიერ შეკუმშული ზედა ფენების დაწოლის გამო და ტყვიაზე ათჯერ მკვრივია. სამაგიეროდ, მზის გარე ფენები რამდენიმე ასეულჯერ უფრო გაშვიათებულია, ვიდრე ჰაერი დედამიწის ზედაპირთან.

წნევა არის ერთი კვადრატული სანტიმეტრი ფართობის ზემოთ განლაგებული ყველა ფენის წონა. გამოთვლები უჩვენებენ, რომ მზის წიაღში წნევა 100 მლრდ ატმოსფეროს აღემატება.



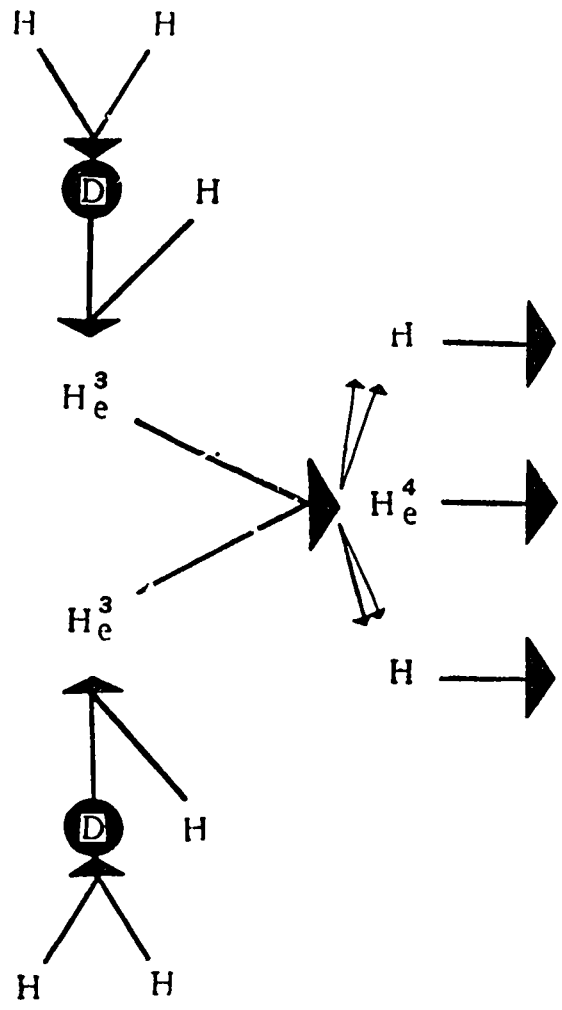
წყალი ორთქლდება მზის სხივების ზეგავლენით. ზემოთ ასვლისას ორთქლი ღრუბლებად კონდენსირდება.

ასეთი უზარმაზარი წნევის დროს ტემპერატურა 10 მლნ გრადუსზე მაღლა იწევს. ირკვევა, რომ ასეთ პირობებში ნივთიერება გაზობრივ მდგომარეობაშია. თუმცა თავისი თვისებებით ეს გაზი ძალზე განსხვავდება ჩვენთვის ნაცნობი, ჩვეულებრივი გაზების, მაგალითად, ჰაერისგან. ამ გაზში თითქმის ყველა ატომი სრულიად კარგავს თავის ელექტრონებს და შიშველ ატომურ ბირთვად იქცევა. ატომისგან მოწყვეტილი თავისუფალი ელექტრონები გაზის შემადგენელი ნაწილი ხდება. ამ პირობებში მყოფ გაზს პლაზმა ეწოდება.

10 მლნ გრადუსამდე გახურებული პლაზმის ნაწილაკები წამში ასობით და ათასობით კილომეტრის სიჩქარით მოძრაობენ. ამასთანავე მეტისმეტად დიდი წნევის შედეგად ნაწილაკები ძალზე

უახლოვდება ერთმანეთს. ატომების ზოგიერთი ბირთვები ერთმანეთშიც კი აღწევენ. ამ დროს ხდება ბირთვული რეაქციები, რაც მზის ამოუწურავი ენერგიის წყაროს წარმოადგენს.

მოცემულ ნახაზზე სქემატურადაა ასახული, როგორ მიმდინარეობს ერთ-ერთი ასეთი რეაქცია.



ერთ ატომ ჰელიუმს ოდნავ უფრო მცირე მასა აქვს, ვიდრე ოთხ ატომ წყალბადს, რომლებიც ჰელიუმის წარმოქმნას მოხმარდა. სწორედ მასის ეს დეფექტი გამოიყოფა მზის წიაღში ენერგიის სახით.

იგი წყალბადს ჰელიუმად გადააქცევს. ამ რეაქციის შუალედურ ეტაპებზე წარმოიშვება მძიმე წყალბადის — დეიტერიუმის ბირთვები, რომლებიც ლათინური ასო D-თია აღნიშნული, და აგრეთვე ჰელიუმის ატომის იზოტოპი, რომელიც ჩვეულებრივი ჰელიუმისაგან იმით განსხვავდება, რომ მისი მასა ოთხჯერ კი არა, მხოლოდ სამჯერ აღემატება წყალბადის ატომის მასას.

ძირითადად მზე იგივე ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება, რომლისგანაც დედამიწა. მხოლოდ მზეზე წყალბადი ბევრად უფრო მეტია, ვიდრე დედამიწაზე. შეიძლება ითქვას, რომ მზე თითქმის მთლიანად წყალბადისაგან შედგება, ხოლო ყველა დანარჩენი ელემენტი მნიშვნელოვნად ნაკლებია. ამიტომ წყალბადი ძირითადი წყაროა იმ ენერგიისა, რომელსაც ბირთვული რეაქციების ხარჯზე მზე გამოასხივებს. მთელი თავისი არსებობის მანძილზე, რომელიც 6 მლრდ წელზე ნაკლები არ უნდა იყოს, მზეს წყალბადის ბირთვული საწვავის მარაგის ნახევარიც კი არ დაუხარჯავს. თითქმის მთელი ამ ხნის განმავლობაში მზის გამოსხივება დაახლოებით ისეთივეა, როგორც ახლა. ასე ინათებს იგი კიდევ მრავალი მილიარდი წელი — მანამდე, სანამ მზის წიაღში მთელი წყალბადი ჰელიუმად არ გადაიქცევა.

როგორ გამოიყოფა მზის შიგნით ბირთვული ენერგია? როცა ერთი ელემენტის (წყალბადის) ბირთვები შეერთებისას სხვა ელემენტის (ჰელიუმის) ბირთვებს ქმნიან, წარმოიშვება უზარმაზარი ენერგიის მქონე გამა-სხივები. ატომები ენერგიას გამოასხივებენ ულუფებად, რომლებსაც კვანტებს უწოდებენ. გამა-სხივების კვანტების ენერგია მეტისმეტად დიდია. მზის წიაღში ნივთიერების ატომები ხარბად შთანთქავენ ყოველგვარ გამოსხივებას. ამ დროს, როგორც წესი, ძალზე დიდი ენერგიის კვანტის შთანთქმისას ატომი ნაკლები ენერგიის ორ ან რამდენიმე კვანტს გამოასხივებს. სანამ ბირთვული რეაქციის შედეგად წარმოშობილი გამა-სხივები მზის ზედაპირს მიაღწევენ, ხდება პირველადი გამა-სხივების კვანტების მრავალი ასეთი დანაწევრება. ამის შედეგად მზის ზედაპირი უმთავრესად გაცილებით ნაკლები ენერგიის მქონე სხივებს გამოასხივებს: ულტრაიისფერს, ხილულსა და ინფრაწითელს.

248 — 249 გვერდზე მოთავსებული ფერადი სქემატური ნახატი წარმოდგენას გვაძლევს, როგორაა „მოწყობილი“ მზე. მზის შიდა ფენები რომ დაგვენახა, მხატვარმა სფერული სექტორი „ამოჭრა“. ყველაზე შიდა ნაწილი, რომელიც მუქ წითლადაა შეღებილი, იმ ადგილს შეესაბამება, სადაც ბირთვული რეაქციები და ენერგიის გამოყოფა ხდება. ამ ბირთვის დიამეტრი თვით მზის დიამეტრის $^1/_3$ ნაწილს შეადგენს. ბირთვში მზის ნივთიერების უმეტესი ნაწილია თავმოყრილი.

ბირთვს ეკვრის მზის ყველაზე განფენილი შრე, რომელიც სქემაზე ღია წითლადაა შეღებილი. აქ

კვანტების შთანთქმის, მათი დანაწევრებისა და ხელმეორედ გამოსხივების შედეგად, ენერგია შიგნიდან გარეთ აღწევს. უფრო ზემოთ განლაგებულია ფენა, რომლის სისქე მზის რადიუსის დაახლოებით $^1/_{10}$-ს უდრის და რომელსაც კონვექტული ზონა ეწოდება. ეს ზონა უკვე შესამჩნევად ცივია. იგი მზის ყველაზე გარე ფენებში — მის ატმოსფეროში — გადადის.

თავისი შედარებით დაბალი ტემპერატურის გამო კონვექტულ ზონას არ ძალუძს ქვემოდან მომდინარე მთელი ენერგიის გადატანის უზრუნველყოფა მხოლოდ შთანთქმისა და ხელმეორედ გამოსხივების გზით. ამიტომ გამოსხივების გადატანისას კონვექტულ ზონაში თვით ნივთიერება მონაწილეობს: სიღრმეებიდან ზევით ამოდის უფრო ცხელი გაზების ცალკეული ნაკადები, რომლებიც თავის ენერგიას უშუალოდ გარე ფენებს გადასცემენ. ფერად სქემაზე ეს ნაკადები (ამ გაზის ცალკეული შემკვრივება) გამოსახულია ყვითელი რგოლებით, რომლებიც კონვექტულ ზონას ავსებენ.

მზის ატმოსფეროც რამდენიმე მკვეთრად განსხვავებული ფენისაგან შედგება. მათ შორის ყველაზე ღრმასა და თხელ ფენას ფოტოსფერო ეწოდება, რაც ქართულად „სინათლის სფეროს“ ნიშნავს. აქ წარმოიშვება სინათლისა და სითბური სხივების უმეტესი რაოდენობა, რომლებსაც მზე მსოფლიო სივრცეში აგზავნის.

ფოტოსფერო მზის სწორედ ის ზედაპირია, რომლის დანახვაც საგანგებო მუქი შუქფილტრით აღჭურვილ ტელესკოპში შეიძლება. შუქფილტრის გარეშე დამკვირვებელი უეჭველად დაბრმავდება.

ფოტოსფეროს სისქე სულ რაღაც 200 — 300 კმ-ია. ასე რომ, ჩვენს ფერად სქემაზე იგი პირობითად ვიწრო ხაზითაა ნაჩვენები. მზის უფრო ღრმა ფენებს ჩვენ სულ ვერ ვხედავთ. ეს იმიტომ, რომ ფოტოსფეროს ნივთიერება სქელი ნისლის მსგავსად ძალზე გაუმჭვირვალეა.

რაც უფრო ღრმადაა ფოტოსფეროს ფენები, მით უფრო ცხელია ისინი. როცა მზის დისკოს ცენტრს ვუყურებთ, ფოტოსფეროს შედარებით ღრმა ფენებს ვხედავთ. ეს იმავე მიზეზით ხდება, რა მიზეზითაც დედამიწის ატმოსფერო ზენიტში ყოველთვის უფრო გამჭვირვალეა, ვიდრე ჰორიზონტთან. როცა მზის კიდეს ვუყურებთ, ისეთ ღრმა ფენებს ვერ ვხედავთ, როგორსაც ცენტრზე დაკვირვებისას. ვინაიდან ეს ფენები უფრო ცივია და ნაკლებ სინათლეს იძლევა, კიდეში მზის დისკო უფრო მუქი ჩანს, მისი ნაპირები კი ძალზე მკვეთრია.

დიდი ტელესკოპის დახმარებით შეიძლება შევისწავლოთ ფოტოსფეროს დამახასიათებელი სტრუქტურა, რომელიც კარგად ჩანს ჩართულ გვერდზე გამოსახულ ფოტოზე. პატარა (სინამდვილეში 1000 კმ სიდიდის) ნათელი წერტილები, რომლებსაც მუქი შუალედები ერტყმის, ისეთ შთაბეჭდილებას ქმნის, თითქოს მზის ზედაპირზე ბრინჯის მარცვლებია მიმობნეული. ეს წერტილები, რომლებსაც გრანულები ეწოდება, კონვექტული ზონიდან ამოსულ კონვექციის ცალკეულ ელემენტებს წარმოადგენენ. ისინი უფრო ცხელი და, მაშასადამე, უფრო ნათელიცაა, ვიდრე გარემომცველი ფოტოსფერო. მათ შორის არსებული მუქი შუალედები კი უფრო ცივი, დაღმავალი გაზების ნაკადებია.

მზის ატმოსფეროში გრანულების მოძრაობის შედეგად წარმოიქმნება ტალღები, რომლებიც ძალზე ჰგავს დედამიწის ატმოსფეროში რეაქტიული თვითმფრინავის ფრენის დროს წარმოქმნილ ტალღებს. ეს ტალღები ვრცელდება მაღლა — მზის ატმოსფეროში და ინთქმება, მათი ენერგია კი სითბოში გადადის, რომელიც უფრო გაიშვიათებულ, მზის ყველაზე გარე ფენის — კორონის შემადგენელ ნაწილაკებს უზარმაზარ სიჩქარეებს ანიჭებს. ასეთი სიჩქარეების მახასიათებლად იყენებენ კინეტიკური ტემპერატურის ცნებას. ეს ტემპერატურა განისაზღვრება მხოლოდ ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარით და არა მისი გამოსხივების უნარიანობით. კინეტიკური ტემპერატურა კორონაში მილიონ გრადუსს აღწევს.

ქრომოსფერო და კორონა შეიძლება დავინახოთ მზის სრული დაბნელების დროს, რაც ძალიან იშვიათად ხდება. როცა მთვარე მთლიანად ფარავს თვალისმომჭრელად ელვარე ფოტოსფეროს, მისი დისკოს ირგვლივ, რომელიც შავი გვეჩვენება, მოულოდნელად გვირგვინის ფორმის მოვერცხლისფრო მარგალიტის ელფერის ნათება ჩნდება, რომელსაც ხშირად გრძელი სხივები აქვს. ესაა სწორედ მზის კორონა — ძალზე გაიშვიათებული გაზოვანი გარსი. იგი მზის ირგვლივ მზის რამდენიმე რადიუსის ტოლ მანძილზეა გაჭიმული. დროთა განმავლობაში კორო-

ნის ფორმა ძალზე იცვლება. დაბნელების დროს მთვარის შავ დისკოს გარს აკრავს მბრწყინავი, თხელი, ვარდისფერი არშია. სწორედ ესაა მზის ქრომოსფერო, 10-15 ათასი კმ სისქის გავარვარებული გაზების ფენა.

ქრომოსფერო ფოტოსფეროზე გაცილებით გამჭვირვალეა. მას ხაზოვანი სპექტრი აქვს, რომელსაც წყალბადის, ჰელიუმის, კალციუმისა და სხვა ელემენტების გავარვარებული ორთქლი გამოასხივებს. ამიტომ ქრომოსფეროს შეიძლება დავაკვირდეთ, თუკი საგანგებო ხელსაწყოების დახმარებით ამ ელემენტების მიერ გამოსხივებულ სხივებს გამოვყოფთ. ფერად სურათზე მზე იონიზებული კალციუმის სხივებშია გადაღებული. იგი გვიჩვენებს, როგორია მზის ქრომოსფერო.

ფოტოსფეროში ბევრი ნეიტრალური ატომია. ქრომოსფეროში წყალბადისა და ჰელიუმის ატომები მაღალი ტემპერატურის შედეგად იონიზებულ მდგომარეობაში გადადიან. ეს ნიშნავს, რომ ისინი თავის ელექტრონებს კარგავენ და ელექტრულად იმუხტებიან, მათი ელექტრონები კი თავისუფალი ნაწილაკების მსგავსად იწყებენ მოძრაობას. უფრო მაღლა, კორონაში, სადაც ტემპერატურა გაცილებით მაღალია, ნივთიერების იონიზაცია იმდენად ძლიერია, რომ ყველა მსუბუქი ქიმიური ელემენტი მთლიანად კარგავს თავის ელექტრონებს, მძიმე ელემენტებს კი ათზე მეტი ელექტრონი სწყდება. ეს იმიტომ ხდება, რომ მილიონი გრადუსი ტემპერატურის დროს ცალკეული ნაწილაკები ისე სწრაფად მოძრაობენ და ისეთი ძალით ეხეთქებიან ერთმანეთს, რომ, ასე ვთქვათ, „ნაცარტუტად იქცევიან“. ამრიგად, მზის ატმოსფერო, ისევე როგორც მისი წიაღი, პლაზმისაგან შედგება.

კორონაში პლაზმა ძალზე გაიშვიათებულია. მისი ყოველი კუბური სანტიმეტრი არა უმეტეს 100 მლნ „შემოძარცულ“ ატომსა და მათგან მოწყვეტილ თავისუფალ ელექტრონს შეიცავს. ეს 100 მლრდ-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ჰაერში მოლეკულების რაოდენობა. მზის მრავალი რადიუსის სიგრძეზე გადაშლილი მთელი კორონა რომ დედამიწის ჰაერის სიმკვრივემდე შევკუმშოთ, მივიღებთ უმნიშვნელო, მზის გარემომცველ რამდენიმე სანტიმეტრის სისქის ფენას.

ასეთი ძლიერი გაიშვიათების შედეგად კორონა ხილული სინათლისათვის კიდევ უფრო გამჭვირვალეა, ვიდრე ქრომოსფერო. ამავე მიზეზით მის მიერ გამოსხივებული სინათლის რაოდენობაც უმნიშვნელოა: კორონის სიკაშკაშე მილიონჯერ ნაკლებია ფოტოსფეროს სიკაშკაშეზე. სწორედ ამიტომ, ჩვეულებრივ, დღისით იგი შეუმჩნეველია ცის ნათელ ფონზე და მხოლოდ მზის სრული დაბნელების დროს ჩანს. ამრიგად, თუმცა მზის ატმოსფეროს ყველაზე გარე ფენების ტემპერატურა მილიონ გრადუსს აღწევს, მათი გამოსხივება მზის გამოსხივების საერთო ენერგიის უმნიშვნელო ნაწილს შეადგენს. თითქმის მთელ ამ ენერგიას ფოტოსფერო გამოასხივებს, რომელსაც დაახლოებით 6000° ტემპერატურა აქვს. ამიტომ ასეთ ტემპერატურას მიაწერენ მთლიანად მზეს. კორონაში დადგენილი მილიონი გრადუსი ტემპერატურის მნიშვნელობა მხოლოდ იმაზე მიუთითებს, რომ მისი ნაწილაკები უზარმაზარი სიჩქარით მოძრაობენ, და წამში ასობით და ათასობით კილომეტრს გადიან.

თუკი მზის კორონა ასე ცოტას გამოასხივებს, როგორღა გაიგეს, რომ მისი ტემპერატურა ასეთი დიდია? მზე სხვა სხივებთან ერთად შედარებით ბევრ რადიოტალღას გამოასხივებს, ყოველ შემთხვევაში, გაცილებით მეტს, ვიდრე 6000°-მდე გამთბარი სხეული უნდა იძლეოდეს. მზის კორონა ძლიერად შთანთქავს რადიოტალღებს. ამიტომ ჩვენამდე მოღწეული მზის რადიოგამოსხივება ძირითადად ფოტოსფეროში კი არა, კორონაში წარმოიშვება. ამ რადიოგამოსხივების სიმძლავრის საგანგებო რადიოტელესკოპებით გაზომვის შედეგად დაადგინეს კორონის ტემპერატურა.

მზის აქტივობა

დროდადრო მზის ატმოსფეროში წარმოიშვება ე. წ. აქტიური არეები, რომელთა რაოდენობა რეგულარულად მეორდება საშუალოდ ყოველი 11 წლის შემდეგ.

აქტიური არეების ყველაზე უფრო არსებითი გამოვლინებაა ფოტოსფეროში შემჩნეული მზის ლაქები. ისინი პატარა შავი წერტილების (ფორების) სახით წარმოიშვებიან და რამდენიმე დღეში დიდ მუქ წარმონაქმნებად იქცევიან. ჩვეულებრივ, ლაქა გარემოსილია შედარებით მკრთალი ნახევარჩრდილით, რომელიც რადიალურად წაგრძელებული ძარღვებისაგან შედგება. იგი მზის ზედაპირზე ამოჭრილ ვეებერთელა ნახვრეტს მოგვაგონებს, რო-

შელშიც თავისუფლად ჩაეტეოდა დედამიწის სიდიდის „ბურთი“. თუ მზეს ყოველდღიურად დავაკვირდებით, შევამჩნევთ ლაქების გადანაცვლებას, რაც მზის ბრუნვაზე მიუთითებს. დაახლოებით 27 დღის შემდეგ ესა თუ ის ლაქა კვლავ გაივლის მზის ცენტრალურ მერიდიანზე. საინტერესოა, რომ მზის სხვადასხვა განედზე მისი ბრუნვის სიჩქარე სხვადასხვაა: ეკვატორის სიახლოვეს ბრუნვის სიჩქარე მეტია, პოლუსებთან კი — ნაკლები.

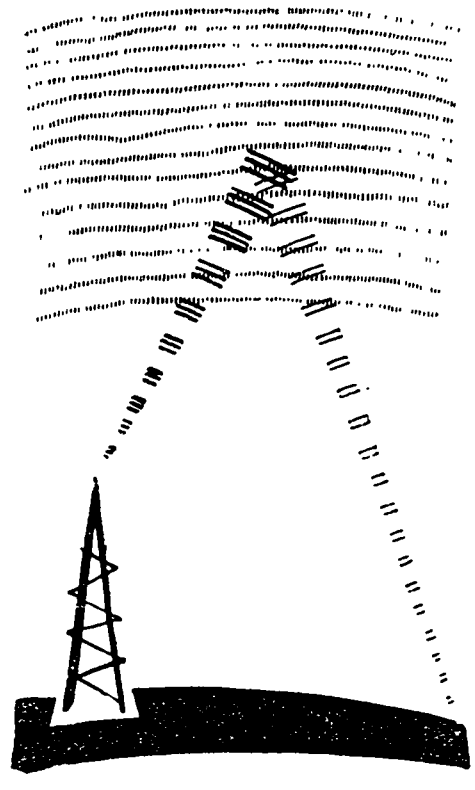
ლაქების წარმოქმნამდე რამდენიმე ხნით ადრე ფოტოსფეროს მომცრო ნაწილზე წარმოიშვება კაშკაშა არე. ფორმით იგი გვაგონებს გადღაბნილ გუბურას, რომელსაც უთვალავი ძარღვი და ნათელი წერტილი აქვს. ამ კაშკაშა არეებს ჩირაღდნები ეწოდება. ისინი რამდენიმე ასეული გრადუსით უფრო ცხელია, ვიდრე ფოტოსფერო. ჩირაღდნებს ზემოთ ატმოსფეროც უფრო ცხელი და რამდენადმე მკვრივია. ჩირაღდნები ყოველთვის ლაქებს ერტყმის გარს.

ჩირაღდნის გაფართოებასთან ერთად აქტიურ არეში თანდათან ძლიერდება მაგნიტური ველი, განსაკუთრებით იმ მცირე ნაწილში, სადაც შემდგომში შეიძლება ლაქა წარმოიშვას. ლაქებში ძალზე ძლიერი მაგნიტური ველია, რომელსაც იონიზებული გაზის ყოველგვარი მოძრაობისა და დინების შეჩერების უნარი აქვს. ამიტომ ლაქის არეში ფოტოსფეროს ქვეშ კონვექტული მოძრაობა ჩერდება, რის გამო წყდება ენერგიის დამატებითი გადატანა უფრო ღრმა ფენებიდან გარეთ და ლაქის ტემპერატურაც 1000°-ით ნაკლებია გარემომცველ ფოტოსფეროსთან შედარებით, რომლის ფონზეც იგი მუქი გვეჩვენება. ჩირაღდნის წარმოქმნა მაგნიტური ველით აიხსნება. როცა მაგნიტური ველი ჯერ კიდევ სუსტია და არ ძალუძს კონვექციის შეჩერება, მუხრუჭდება მხოლოდ ზემოთ ამავალი გაზის ნაკადების უწესრიგო მოძრაობა კონვექტულ ზონაში. ამიტომ ცხელ გაზებს ჩირაღდანში უფრო ეადვილება სიღრმიდან ზემოთ ამოსვლა და ის უფრო კაშკაშა გვეჩვენება მის გარემომცველ ფოტოსფეროსთან შედარებით.

ქრომოსფეროში და კორონაში აქტიური არეების ზემოთ ბევრი საინტერესო მოვლენა შეინიშნება. მაგალითად, ქრომოსფერული ანთებები და პროტუბერანცები.

ანთება ერთ-ერთი ყველაზე სწრაფი პროცესია მზეზე. ჩვეულებრივ, ანთება იწყება აქტიური არის რომელიმე წერტილის სიკაშკაშის სწრაფი ზრდით. ადგილი ჰქონია ისეთ ძლიერ ანთებებსაც, რომლებიც თავისი სიკაშკაშით დამაბრმავებელ ფოტოსფეროს აღემატებოდა. ანთების შემდეგ რამდენიმე ათეულ წუთს ნათება თანდათან ნელდება და უბრუნდება პირვანდელ მდგომარეობას. ანთებები წარმოიშვება მაგნიტური ველების განსაკუთრებული ცვალებადობის შედეგად, რომელიც ქრომოსფეროს ნივთიერებას კუმშავს. ხდება რაღაც აფეთქების მსგავსი, რომლის შედეგადაც წარმოიშვება დამუხტული ნაწილაკებისა და კოსმოსური სხივების სწრაფი ნაკადი. ეს ნაკადი კორონაში გავლისას თან იტაცებს პლაზმის ნაწილაკებს, რომლებიც ირხევიან და რადიოტალღებს გამოსცემენ.

ანთებით მოცული პატარა არე (სულ რაღაც რამდენიმე ასი ათასი კვადრატული კილომეტრი) მძლავრად გამოასხივებს. იგი შედგება რენტგენის, ულტრაიისფერი და ხილული სხივებისაგან, აგრეთვე რადიოტალღების, სწრაფმოძრავი ნაწილაკებისა (კორპუსკულებისა) და კოსმოსური სხივებისაგან. ამ გამოსხივების ყველა სახეობა დიდ ზემოქმედებას ახდენს დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე მოვლენებზე.



იონოსფეროს ფენები აირეკლავენ მოკლე რადიოტალღებს და ნაწილობრივ შთანთქავენ მათ.

დედამიწას, უწინარეს ყოვლისა, იონოსფეროს — ატმოსფეროს ზედა იონიზებულ ფენებს — ყველაზე ადრე ულტრაიისფერი და რენტგენის სხივები აღწევენ. დედამიწის იონოსფეროს მდგომარეობაზეა დამოკიდებული რადიოტალღების გავრცელება და რადიოგადაცემათა სმენადობა. მზის, ულტრაიისფერი და რენტგენის სხივების ზემოქმედებით იონოსფეროს იონიზაცია იზრდება, რის შედეგადაც მის დაბალ ფენებში იწყება მოკლე რადიოტალღების ძლიერი შთანთქმა. ამის გამო მოკლე ტალღებზე რადიოგადაცემები იკარგება. ერთდროულად იონოსფეროს უჩნდება გრძელი ტალღების უკეთ არეკლვის უნარი. ამიტომ მზეზე ანთების მომენტში შეინიშნება გრძელ ტალღაზე მომუშავე შორეული რადიოსადგურის სმენადობის უეცარი გაძლიერება.

ნაწილაკთა (კორპუსკულების) ნაკადი მზეზე მომხდარი ანთების მომენტიდან დაახლოებით დღეღამის შემდეგ აღწევს დედამიწას. მზის კორონაში „გაძვრომისას“ კორპუსკულური ნაკადი კორონის ნივთიერებას გრძელ, მისი სტრუქტურისათვის დამახასიათებელ სხივებად წელავს.

დედამიწის ახლოს კორპუსკულების ნაკადი ხვდება დედამიწის მაგნიტურ ველს, რომელიც დამუხტულ ნაწილაკებს არ ატარებს. მაგრამ ძნელად თუ შეაჩერებთ სინათლის სიჩქარესთან შედარებით სულ მხოლოდ რამდენიმე ასეულჯერ ნაკლები სიჩქარით მოძრავ ნაწილაკებს. ისინი არღვევენ ზღუდეს და თითქოს ზნექენ დედამიწის სფეროს გარემომცველ მაგნიტურ ძალხაზებს. ამის შედეგად დედამიწაზე წარმოიქმნება ე. წ. მაგნიტური ქარიშხალი, რაც მაგნიტური ველის სწრაფ და უწესრიგო ცვალებადობაში გამოიხატება. მაგნიტური ქარიშხლის დროს კომპასის ისარი უწესრიგოდ ირხევა და ამ ხელსაწყოს გამოყენება შეუძლებელი ხდება.

დედამიწასთან მიახლოებისას მზის ნაწილაკების ნაკადი დედამიწის გარემომცველ ე. წ. რადიაციული სარტყელების წარმომქმნელ, მეტად სწრაფ, დამუხტულ ნაწილაკთა ფენებში იჭრება, სარტყელებს რომ გაივლის, ზოგიერთი ნაწილაკი უფრო ღრმად იჭრება ატმოსფეროს ზედა ფენებში და იწვევს ჰაერის ძალზე ლამაზ ნათებას, რომელიც უმეტესად დედამიწის პოლარულ განედებზე შეინიშნება. სხვადასხვა ფერად მოლივლივე ამ ნათებას, რომელიც ხან სხივებს ემსგავსება და ხან ფერადფერად ფარდებად ჰკიდია, პოლარული ნათება ეწოდება. ამრიგად, მზეზე მომხდარ ანთებას მნიშვნელოვანი შედეგები მოსდევს და მჭიდროდაა დაკავშირებული დედამიწაზე მიმდინარე სხვადასხვა მოვლენებთან.

ფერად ნახატზე (248 — 249 გვ.) სქემატურადაა ნაჩვენები დედამიწაზე მზის იმ მოვლენების ზემოქმედება, რომლებიც ანთებას ახლავს.

კორონაში, აქტიური არეს ზემოთ, ზოგჯერ ნივთიერება მკვეთრად აკაშკაშდება და ნაკადებად მიემართება ქრომოსფეროსკენ. გავარვარებული გაზების ქრომოსფეროდან ზევით ამოტყორცნილ ამ ღრუბლებს, რომლებიც რამდენიმე ათეულჯერ აღემატება დედამიწის სფეროს, პროტუბერანცები ეწოდება. პროტუბერანცები გვაოცებენ თავიანთი ფორმების მრავალფეროვნებით, მდიდარი სტრუქტურით, ცალკეული კვანძების რთული მოძრაობებით და უეცარი ცვალებადობით, რომლებიც ენაცვლება სიმშვიდის გრძელ პერიოდებს.

პროტუბერანცები მათ გარემომცველ კორონაზე უფრო ცივი და მკვრივია. მათ დაახლოებით იგივე ტემპერატურა აქვთ, რაც ქრომოსფეროს.

პროტუბერანცების მოძრაობასა და წარმოშობაზე, როგორც მზის ატმოსფეროს დანარჩენ აქტიურ წარმონაქმნებზე, დიდ ზეგავლენას ახდენს მაგნიტური ველები. როგორც ჩანს, ეს ველებია მზის ატმოსფეროში მიმდინარე ყველა აქტიური მოვლენის ძირითადი მიზეზი.

მაგნიტურ ველებთანაა დაკავშირებული მზის აქტივობის პერიოდულობა. ეს არის ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო მოვლენა მზის თავისებურებებს შორის. ეს პერიოდულობა შეინიშნება ყველა მოვლენაში, მაგრამ განსაკუთრებით კარგად ვლინდება, თუ ყოველდღიურად დავითვლით მზეზე ლაქების რაოდენობას. პერიოდს, როცა სულ არ შეინიშნება ლაქები, მინიმუმი ეწოდება. მალე მინიმუმის შემდეგ მზის ეკვატორიდან დიდ მანძილზე ჩნდება ლაქები. მათი რიცხვი თანდათან იზრდება და ისინი ეკვატორთან სულ უფრო და უფრო ახლოსაც ჩნდებიან. სამი-ოთხი წლის შემდეგ დგება მზის ლაქების მაქსიმუმი, რომელიც მზეზე აქტიური წარმონაქმნების დიდი რაოდენობით ხასიათდება. მერე მზის აქტივობა თანდათან ეცემა და დაახლოებით თერთმეტი წლის შემდეგ კვლავ მინიმუმი დგება.

მზის აქტივობის პერიოდულობა ჯერჯერობით ამ მნათობის საინტერესო, საიდუმლოებით მოცულ მოვლენას წარმოადგენს. მხოლოდ უკანასკნელ წლებში გახდა შესაძლებელი ამ სფეროში ზოგი საკითხის გარკვევა. ალბათ მზის აქტივობის მიზეზი დაკავშირებულია მზის იონიზებული ნივთიერებისა და მისი საერთო მაგნიტური ველის რთულ ურთიერთმოქმედებასთან. ამ ურთიერთმოქმედების შედეგია მაგნიტური ველების პერიოდული გაძლიერება.

მზისა და მთვარის დაბნელებები

მზის დაბნელება ბუნების საინტერესო მოვლენაა და მას წინასწარ განსაზღვრავენ მეცნიერები. ასტრონომები გულდასმით ემზადებიან დაბნელებებზე დაკვირვებისათვის, ხოლო იმ ადგილებში, საიდანაც დაბნელებები ჩანს, საგანგებო ექსპედიციები იგზავნება.

დგება დაბნელების დღეც.

ბუნება თავისი ჩვეულებრივი ცხოვრებით ცხოვრობს. ლურჯ ცაზე კაშკაშა მზე ანათებს, არ იგრძნობა მოსალოდნელი დაბნელება. მაგრამ აი, მზის მარჯვენა კიდე თანდათან იბინდება და მზის დისკო ამოზნექილი მხრით მარცხნივ მიქცეული ნამგლის სახეს იღებს. მზის სინათლე თანდათან სუსტდება. იგრძნობა სიგრილე. ნამგალი კიდევ უფრო წვრილდება და უცებ ეს ვიწრო რკალიც ქრება — მას შავი დისკო ფარავს. ირგვლივ ბინდდება, ცა ღამისეულ სახეს იღებს და ზედ კაშკაშა ვარსკვლავები ინთება. ჰორიზონტის გასწვრივ ნარინჯისფერი რგოლი ჩნდება.

ეს მზის სრული დაბნელებაა. ჩამქრალი მნათობის ადგილას მოვერცხლისფრო ნათელით გარემოცული შავი დისკო მოჩანს.

მოულოდნელად ჩამოწოლილი სიბნელით შეშინებული მხეცები და ფრინველები ჩუმდებიან და თავშესაფარს ეძებენ, ბევრი მცენარე ფოთლებს კეცავს. უჩვეულო სიბნელე 2, 3, ზოგჯერ 5 წუთს გრძელდება, რის შემდეგ კვლავ ინთება მზის კაშკაშა სხივები. იმავე წუთს ქრება მოვერცხლისფრო ნათება, ქრება ვარსკვლავებიც. თითქოს განთიადიაო, ყივიან მამლები და დღის დადგომას იუწყებიან. კვლავ იღვიძებს მთელი ბუნება.

მზე ისევ ნამგლის ფორმას იღებს, მაგრამ ახლა იგი უკვე მეორე მხარესაა მიქცეული ამოზნექილობით, როგორც „ახალგაზრდა“ მთვარე. ნამგალი იზრდება და ერთი საათის შემდეგ ცაზე ყველაფერი ჩვეულებრივადაა.

მზის დაბნელება ბუნების დიდებული და ლამაზი მოვლენაა, რომელსაც არავითარი ზიანი არ მოაქვს მცენარეების, ცხოველებისა და ადამიანებისათვის.

მაგრამ ასე როდი ფიქრობდნენ წინათ.

მზის დაბნელება ადამიანისათვის უხსოვარი დროიდანაა ცნობილი, მაგრამ ხალხმა არ იცოდა, რა იყო ამის მიზეზი. ადამიანებში პანიკურ შიშს იწვევდა სხივკაშკაშა მნათობის მოულოდნელი, იდუმალი გაქრობა. შუადღისას მზის დაბნელებაში ისინი უცნობი, ზებუნებრივი ძალების გამოვლინებას ხედავდნენ.

აღმოსავლეთის ხალხში არსებობდა რწმენა, რომ დაბნელების დროს მზეს ნთქავდა რომელიღაც ბოროტი ურჩხული — გველეშაპი.

არცთუ ისე დიდი ხნის წინათ, 1877 წლის დაბნელებისას, თურქეთში შეშინებული მცხოვრებლები მზეს თოფს ესროდნენ, რათა განედევნათ შაითანი (ბოროტი სული), რომელიც, მათი აზრით, მზეს ნთქავდა.

რუსულ მატიანეებში მრავალგზის იხსენიება დაბნელებები. იპატიევის მატიანეში „იგორის ლაშქრობაში“ მოხსენიებული დაბნელების შესახებაა ნათქვამი. მატიანეში აღწერილია 1185 წლის დაბნელება, რომელიც სრული იყო ნოვგოროდსა და იაროსლავლში. თავადი იგორი თავისი ლაშქრით ამ დროს მდ. დონეცზე იმყოფებოდა, სადაც დაბნელება სრული არ იყო (მზის დისკოს მხოლოდ ნაწილი იყო დაფარული). მემატიანე ირწმუნება, რომ იგორის დამარცხების მიზეზი ყივჩაყებთან ბრძოლაში, ეს დაბნელება იყო.

და მაშინაც კი, როცა მეცნიერებისათვის უკვე ცნობილი გახდა მზის დაბნელების მიზეზები, მოსახლეობაში იგი მაინც შიშს იწვევდა. ადამიანებს ეგონათ, რომ დაბნელება ღმერთის მიერ იყო მოვლენილი და სამყაროს დასასრულს, შიმშილობას, რაიმე უბედურებას მოასწავებდა. ამ ცრურწმენას ადამიანთა შორის რელიგიური კულტის მსა-

ხურნი ავრცელებდნენ, რათა ხალხი მორჩილებაში ჰყოლოდათ.

სხვადასხვა დროის მოწინავე ადამიანები ცდილობდნენ, გაეფანტათ ხალხისათვის დაბნელებებით გამოწვეული შიში. პეტრე პირველი თხოვნით მიმართავდა მეცნიერებსა და თანამდებობის პირთ, მართებულად აეხსნათ ხალხისათვის 1706 წლის 1 მაისს მოსალოდნელი დაბნელების მიზეზები. ცნობილია მისი წერილი ადმირალ გოლოვინისადმი, რომელშიც სწერდა: „ბატონო ადმირალო, მომავალი თვის პირველ დღეს იქნება მზის დიდი დაბნელება. ეს ამბავი გააგებინე ჩვენს ხალხს, რომ როცა დაბნელება დაიწყება, სასწაულად არ მიიღონ. რადგან თუ ამის შესახებ ხალხს წინასწარ ეცოდინება, ეს უკვე სასწაული აღარ იქნება“.

ჩვენს ქვეყანაში ბუნების მოვლენის სწორმა მეცნიერულმა ახსნამ ყველაზე შორეულ კუთხეებს მიაღწია. ახლა ჩვენში იშვიათად ნახავთ ისეთ ადამიანს, რომელშიც მზისა და მთვარის დაბნელება შიშს იწვევდეს.

რა არის მზის დაბნელება?

ხშირად შეგვინიშნავს, რომ ნათელ მზიან დღეს ქარით ატაცებული ღრუბლის ჩრდილი მიწაზე გარბის და იმ ადგილს აღწევს, სადაც ჩვენ ვდგავართ. ღრუბელი მზეს მალავს. ამ დროს კი ჩრდილის გარე მდებარე ადგილები ძველებურადაა მზით განათებული.

მზის დაბნელების დროს მზესა და ჩვენს შორის მთვარე ექცევა და ფარავს მას.

უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ ის პირობები, რომლის დროსაც შეიძლება მოხდეს მზის დაბნელება.

ჩვენი პლანეტა დედამიწა დღე-ღამის განმავლობაში თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნვასთან ერთად მზის ირგვლივაც მოძრაობს და ერთი წლის მანძილზე სრულ ბრუნს აკეთებს. დედამიწას ჰყავს თანამგზავრი — მთვარე. იგი დედამიწის ირგვლივ მოძრაობს და სრულ ბრუნს 29,5 დღე-ღამეს ანდომებს.

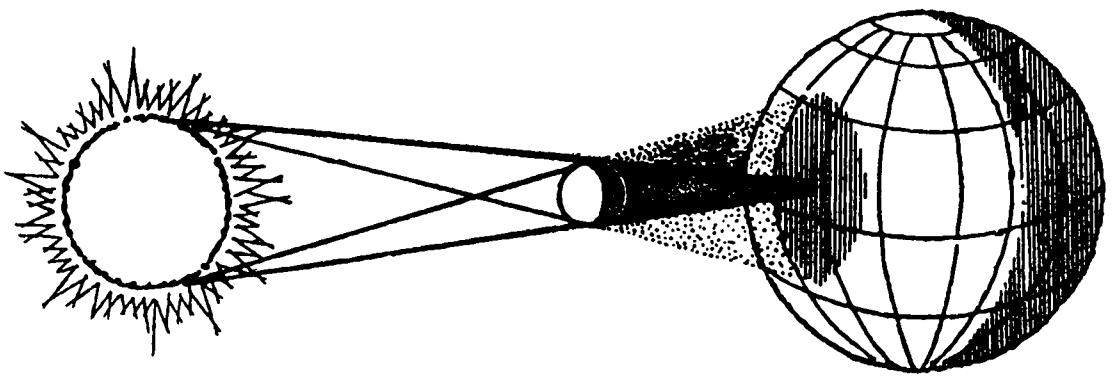
ამ სამი ციური სხეულის ურთიერთმდებარეობა ყოველთვის იცვლება. მთვარე დედამიწის ირგვლივ მოძრაობისას დროის გარკვეულ პერიოდში დედამიწასა და მზეს შორის ექცევა. მაგრამ მთვარე მუქი, გაუმჭვირვალი მყარი სფეროა. დედამიწასა და მზეს შორის მოქცეული მთვარე ეფარება მზეს. ამ დროს დედამიწისკენ მოქცეული მთვარის მხარე მუქია, მზე მას არ ანათებს. მაშასადამე, მზის დაბნელება შეიძლება მოხდეს მხოლოდ ახალმთვარეობისას. სრულმთვარეობისას მთვარე დედამიწას მზის საწინააღმდეგო მხრიდან უვლის და შეიძლება დედამიწის სფეროს ჩრდილში მოექცეს. მაშინ ჩვენ მთვარის დაბნელების მოწმენი ვხდებით.

დედამიწიდან მზემდე საშუალო მანძილი 149,5 მლნ კმ შეადგენს, დედამიწიდან მთვარემდე — 384 000 კმ.

რაც უფრო ახლოა საგანი, მით უფრო დიდი გვეჩვენება იგი. მთვარე მზესთან შედარებით თითქმის 400-ჯერ უფრო ახლოა, ამავე დროს მისი დიამეტრიც თითქმის 400-ჯერ ნაკლებია მზის დიამეტრზე. ამიტომ მთვარისა და მზის ხილული ზომა თითქმის ტოლია. ამრიგად, მთვარეს შეუძლია ჩვენგან მზე დაფაროს.

მაგრამ მზისა და მთვარის დაშორება დედამიწიდან ყოველთვის მუდმივი არ არის, იგი ოდნავ იცვლება. ეს იმიტომ ხდება, რომ დედამიწის გზა მზის ირგვლივ და მთვარის გზა დედამიწის ირგვლივ წრე კი არა, ელიფსია. ამ სხეულთა შორის მანძილის ცვალებადობასთან ერთად მათი ხილული ზომებიც იცვლება. თუკი მზის დაბნელების მომენტში მთვარე უახლოეს მანძილზე იქნება დედამიწიდან, მისი დისკო მზის დისკოზე რამდენადმე დიდი გამოჩნდება, მთვარე მთლიანად დაფარავს მზეს და დაბნელებაც სრული იქნება. მაგრამ თუკი დაბნელების დროს მთვარე უშორეს მანძილზეა დედამიწიდან, მას რამდენადმე ნაკლები ხილული ზომა ექნება და ვერც მზეს დაფარავს მთლიანად. დაუფარავი დარჩება მზის ნათელი არშია, რომელიც დაბნელების დროს მთვარის შავი დისკოს ირგვლივ ელვარე წვრილი ბეჭდის მსგავსად გამოჩნდება. ასეთ დაბნელებას რგოლისებურს უწოდებენ.

მზის დაბნელება თითქოს ყოველთვიურად, ყოველ ახალმთვარეობისას უნდა ხდებოდეს, მაგრამ ეს ასე არ არის. დედამიწა და მთვარე ერთ სიბრტყეზე რომ მოძრაობდნენ, მაშინ ყოველ ახალმთვარეობისას მთვარე ზუსტად იმ სწორ ხაზზე აღმოჩნდებოდა, რომელიც დედამიწასა და მზეს აერთებს, და მოხდებოდა დაბნელება. სინამდვილეში კი დედამიწა მზის გარშემო ერთ სიბრტყეზე მოძრაობს, მთვარე დედამიწის ირგვლივ კი — მეორეზე. ეს სიბრტყეები ერთმანეთს არ ემთხვევა.



მზის, დედამიწისა და მთვარის ურთიერთ განლაგება მზის დაბნელებისას. მთვარე მოქცეულია მზესა და დედამიწას შორის. იმ ადგილას, სადაც მთვარის ჩრდილი ეცემა დედამიწას, მთვარე ეფარება მზეს.

ამიტომ ხშირად ასალმთვარეობისას მთვარე ან მზის ზემოთ გაივლის, ან ქვემოთ.

ცაზე მთვარის ხილული გზა არ ემთხვევა იმ გზას, რომელზეც მზე მოძრაობს. ეს გზები ერთმანეთს ორ მოპირდაპირე წერტილში კვეთს, რომელთაც მთვარის ორბიტის კვანძები ეწოდება. ამ წერტილების მახლობლად მზისა და მთვარის გზები ერთმანეთს უახლოვდება. ახალმთვარეობისას მხოლოდ იმ შემთხვევაში ხდება დაბნელება, როცა იგი კვანძის სიახლოვესაა.

დაბნელება სრული ან რგოლისებური იქნება, თუ ახალმთვარეობისას მზე და მთვარე თითქმის კვანძში მოექცევიან. თუ ახალმთვარეობის მომენტში მზე რამდენადმე დაშორდება კვანძს, მთვარისა და მზის დისკოების ცენტრები ერთმანეთს არ დაემთხვევა და მთვარე მხოლოდ ნაწილობრივ დაფარავს მზეს. ასეთ დაბნელებას ნაწილობრივი ეწოდება.

მთვარე ვარსკვლავთა შორის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ მოძრაობს. ამიტომ მთვარე მზის დაფარვას იწყებს მისი დასავლეთი, ე. ი. მარჯვენა მხრიდან. დაფარვის სიდიდეს ასტრონომები დაბნელების ფაზას უწოდებენ.

ყოველწლიურად ხდება მზის არანაკლები ორი დაბნელება. ასე იყო 1952 წ. 25 თებერვალს მზის სრული დაბნელება (შეინიშნებოდა აფრიკაში, ირანში, სსრკ-ში) და 20 აგვისტოს რგოლისებური დაბნელება (შეინიშნებოდა სამხრეთ ამერიკაში). 1935 წ. კი მზის ხუთი დაბნელება იყო. ეს დაბნელებათა ყველაზე დიდი რაოდენობაა, რაც კი ერთ წელიწადში შეიძლება მოხდეს.

ძნელი წარმოსადგენია, რომ მზის დაბნელება ასე ხშირად ხდება. ყოველ ჩვენგანს ხომ ძალზე იშვიათად უხდება დაბნელებების ნახვა. მაგრამ ეს იმით აიხსნება, რომ მზის დაბნელებისას მთვარის ჩრდილი მთელ დედამიწას არ ეცემა. დაცემულ ჩრდილს თითქმის მრგვალი ლაქის ფორმა აქვს, რომლის განივკვეთის მაქსიმუმი 270 კილომეტრამდეა. ეს ლაქა დედამიწის ზედაპირის მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილს ფარავს და მოცემულ მომენტშიც დედამიწის მხოლოდ ამ ნაწილში შეინიშნება მზის სრული დაბნელება.

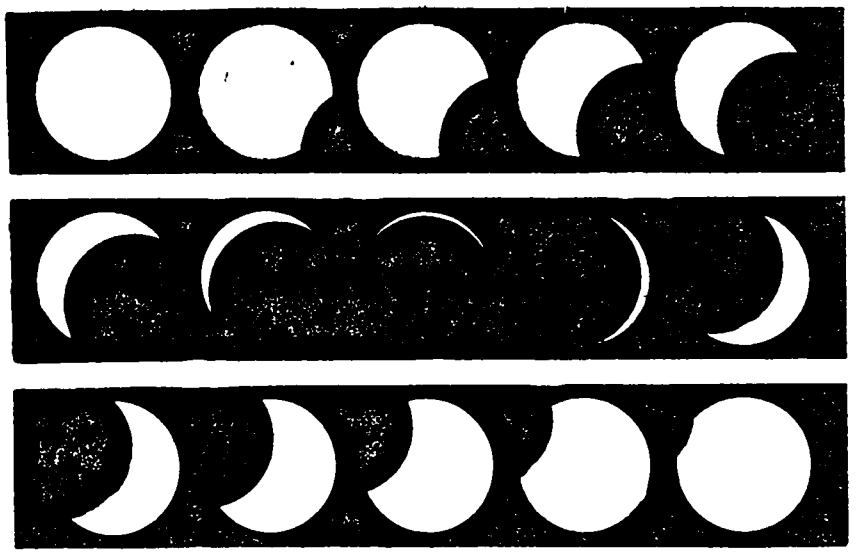
მთვარე თავის ორბიტაზე დაახლოებით 1 კმ/წმ სიჩქარით მოძრაობს, ე. ი. თოფის ტყვიაზე სწრაფად. მაშასადამე, მისი ჩრდილიც დიდი სიჩქარით მოძრაობს დედამიწის ზედაპირზე და არ შეუძლია დიდი ხნით დაფაროს დედამიწის სფეროს ერთი რომელიმე ადგილი. ამიტომ მზის სრული დაბნელება არასოდეს გრძელდება 8 წუთზე მეტ ხანს.

ჩვენს საუკუნეში ყველაზე ხანგრძლივი დაბნელება იყო 1955 წ. და იქნება 1973 წ. (არა უმეტეს 7 წუთისა).

ამრიგად, მთვარის ჩრდილი დედამიწაზე მოძრაობისას მოხაზავს ვიწრო, მაგრამ გრძელ ზოლს, რომელზეც თანმიმდევრულად შეინიშნება მზის სრული დაბნელება. მზის სრული დაბნელების ზოლის სიგრძე რამდენიმე ათას კილომეტრს აღწევს, და მაინც ჩრდილით დაფარული ფართობი დედამიწის მთელ ზედაპირთან შედარებით უმნიშვნელოა. გარდა ამისა, სრული დაბნელების ზოლში ხშირად ექცევა ოკეანეები, უდაბნოები და დედამიწის ნაკლებად დასახლებული რაიონები.

მთვარის ჩრდილის ირგვლივ იქმნება ნახევარჩრდილის არე. აქ დაბნელება ნაწილობრივია. ნახევარჩრდილის განივკვეთი 6 — 7 ათას კმ შეადგენს და მის კიდესთან მდგომი დამკვირვებლისათვის მზის დისკოს მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილი იფარება მთვარით. ასეთმა დაბნელებამ შეიძლება სრულიად შეუმჩნეველად ჩაიაროს.

შეიძლება თუ არა ვიწინასწარმეტყველოთ დაბნელება?



მზის ნაწილობრივი დაბნელების ფაზები.

მეცნიერებმა ჯერ კიდევ შორეულ წარსულში დაადგინეს, რომ დაბნელებები მეორდება 6585 დღისა და 8 საათის შემდეგ, რაც 18 წელს, 11 დღეს და 8 საათს შეადგენს. ეს იმიტომ ხდება, რომ სწორედ ამ ხნის შემდეგ მეორდება სივრცეში მთვარის, დედამიწისა და მზის გარკვეული მდებარეობა. ამ შუალედს **საროსი** ეწოდება, რაც განმეორებას ნიშნავს.

ერთი საროსის მანძილზე საშუალოდ მზის 43 დაბნელება ხდება, მათ შორის 15 ნაწილობრივი, 15 რგოლისებური და 13 სრული. თუ ერთი საროსის მანძილზე შენიშნული დაბნელებების თარიღებს მივუმატებთ 18 წელს, 11 დღესა და 8 საათს, შეგვიძლია მომავალი დაბნელების დრო ვიწინასწარმეტყველოთ. მაგალითად, თუ მზის დაბნელება მოხდა 1952 წლის 25 თებერვალს, ჩვენ ადვილად გამოვითვლით, რომ იგი განმეორდება 1970 წ. 7 მარტს, შემდეგ 1988 წ. 18 მარტსა და ა. შ.

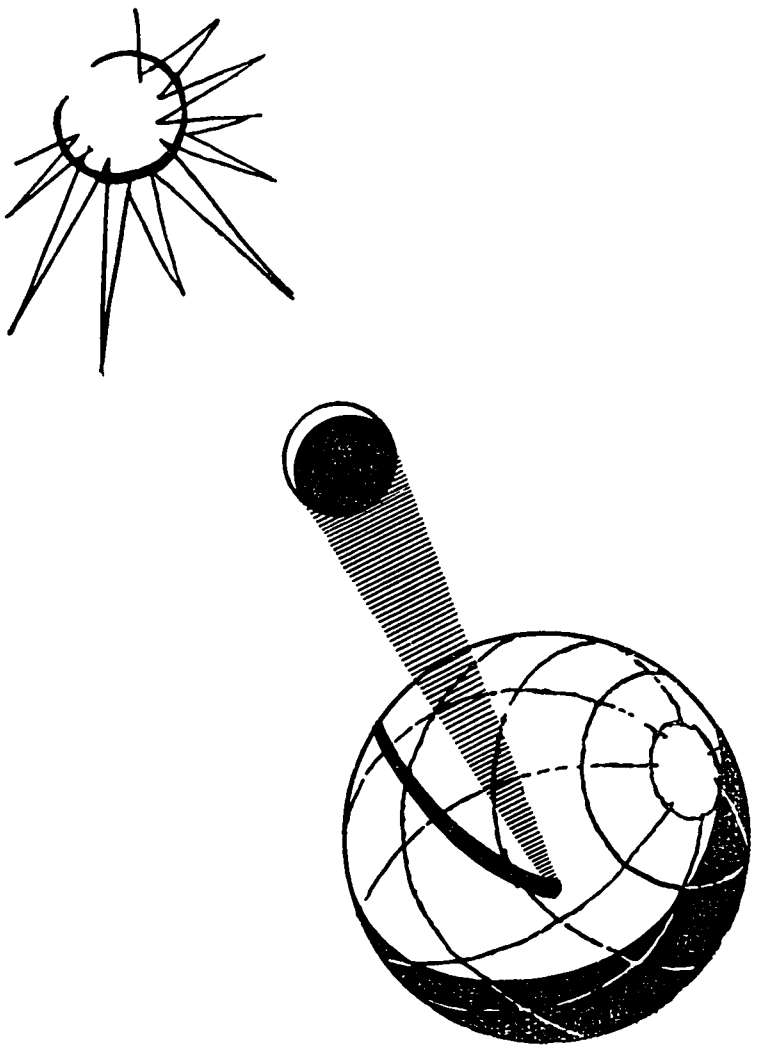
მაგრამ საროსი დღეების მთელ რიცხვს კი არ შეიცავს, არამედ 6585 დღესა და რვა საათს. ამ რვა საათის განმავლობაში დედამიწა ბრუნის მესამედს გააკეთებს და მზისკენ თავისი ზედაპირის სხვა მხარით იქნება მიქცეული. ამიტომ მომდევნო დაბნელება დედამიწის სხვა რაიონში შეინიშნება. მაგალითად, 1952 წ. დაბნელების ზოლმა ცენტრალურ აფრიკაზე, არაბეთზე, ირანსა და სსრკ-ზე გაიარა. ხოლო 1970 წ. სრული დაბნელების მოწმენი მხოლოდ მექსიკისა და ფლორიდის მცხოვრებნი იქნებიან.

დედამიწის ერთსა და იმავე ადგილას მზის სრული დაბნელება 250—300 წელში ერთხელ შეინიშნება.

როგორც ხედავთ, დაბნელების დღის წინასწარმეტყველება ძალზე ადვილია. მისი დაწყების ზუსტი დროისა და ხილვადობის პირობების წინასწარ თქმა კი ძნელი ამოცანაა; ამის გადასაწყვეტად ასტრონომები რამდენიმე ასეული წლის მანძილზე სწავლობდნენ დედამიწისა და მთვარის მოძრაობას. ჩვენს დროში დაბნელებას ძალიან ზუსტად წინასწარმეტყველებენ. შეცდომა 2—4 წამს არ აღემატება.

მსოფლიოში უდიდესი სპეციალისტი დაბნელებების თეორიაში არის პულკოვოს ობსერვატორიის ყოფილი დირექტორი აკად. ა. მიხაილოვი.

ზუსტი გამოთვლით შეიძლება აგრეთვე იმ დაბნელების დრო და ხილვადობის პირობები აღვადგინოთ, რომლებიც უძველეს ხანაში ამა თუ იმ ადგილას შეინიშნებოდა. თუკი მატიანეში ეს დაბნელება შეპირისპირებულია რომელიმე ისტორიულ



მთვარის ჩრდილის მოძრაობა დედამიწაზე მზის დაბნელებისას.

მოვლენასთან, ჩვენ შეგვიძლია ზუსტად დავადგინოთ ამ მოვლენის თარიღი. ძველი ბერძენი ისტორიკოსი ჰეროდოტე აღნიშნავდა, რომ ლიდიელებსა და მიდიელებს შორის ბრძოლის დროს მოხდა მზის (არასრული) დაბნელება. მან ისე დააბნია მეომარი მხარეები, რომ ომი შეწყდა. ისტორიკოსები ამ მოვლენის ზუსტი თარიღის დადგენისას მერყეობდნენ, ისინი მას ძვ. წ. 626 და 583 წწ. შორის ვარაუდობდნენ. ასტრონომიული გამოთვლა ზუსტად მიგვითითებს, რომ დაბნელება, და, მაშასადამე, ბრძოლაც ძვ. წ. 585 წ. 28 მაისს მომხდარა. ამ ბრძოლის ზუსტი თარიღის დადგენამ სხვა ისტორიული მოვლენების ქრონოლოგიაშიც შეიტანა სინათლე. ასე გაუწიეს ასტრონომებმა დიდი დახმარება ისტორიკოსებს.

ასტრონომები მრავალი წლით ადრე ითვლიან მზის დაბნელებების ხილვადობის პირობებს.

უკანასკნელი დაბნელება, რომელიც საბჭოთა კავშირის ევროპულ ნაწილში შეინიშნებოდა, მოხდა 1961 წ. 15 თებერვალს. შემდეგი დაბნელება ამ ადგილებში გამოჩნდება 2126 წ. მანამდე, მართალია, მზის 4 სრული დაბნელება იქნება, მაგრამ მათი ხილული ზოლი ჩვენს ქვეყანაში მხოლოდ ციმბირისა და არქტიკის ძნელად მისადგომ ადგილებში გაივლის.

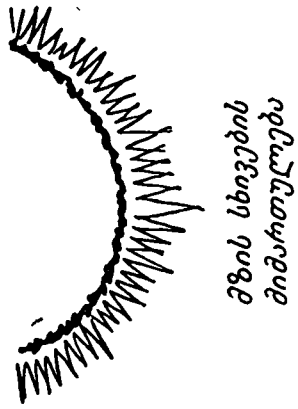
მზის გარეშე ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლე შეუძლებელია, ამიტომ მისი აგებულების დეტალური შესწავლა მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს. მზის სრული დაბნელების დროს წარმოებს დაკვირვება მზის ატმოსფეროს გარე ფენებზე — ქრომოსფეროსა და კორონაზე. მზის კორონა შესანიშნავი ვერცხლისფერი ნათებაა, რომელიც მაშინ ჩანს, როცა მთვარის შავი დისკო მზის თვალისმომჭრელად კაშკაშა ზედაპირს ფარავს. ჩვეულებრივ დროს მზის ელვარე სინათლე ხელს გვიშლის დავაკვირდეთ კორონის სუსტ ნათებას. კორონის შიდა ნაწილი უფრო კაშკაშაა, გარე ნაწილი — ნაკლებად კაშკაშა. მისი ცალკეული სხივები მზისგან 3 მლნ კმ და მეტ მანძილზე შეინიშნება.

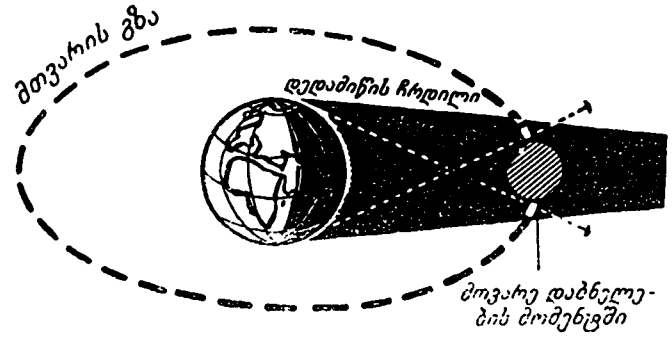
დაბნელება საუკეთესო მომენტია კორონაში მიმდინარე ატომური პროცესებისა და კორონის ნივთიერების სიმკვრივის შესასწავლად. რამდენადაც კორონის ნივთიერებას, როგორც ეს საბჭოთა ასტრონომებმა დაადგინეს 1947 წლის დაბნელებაზე დაკვირვებისას, შეუძლია დეციმეტრული და მეტრული დიაპაზონის რადიოტალღები გამოასხივოს, სრული დაბნელების ზოლში სხვა ხელსაწყოთა შორის რადიოტელესკოპებსაც დგამენ და მათი მეშვეობით მზის „რადიოხმას“ უსმენენ. დაბნელების დროს თვალყურს ადევნებენ მზის რადიოგამოსხივებაში მომხდარ ცვლილებებსაც. რადიოტელესკოპები ძალზე მგრძნობიარე ხელსაწყოებია და სწორედ მათი საშუალებით დაადგინეს დაბნელების სრული ფაზის დროს, რომ მზის კორონა მილიონ კილომეტრებზეა გაშლილი. კორონის ზუსტი საზღვრების დადგენის ამოცანა ალბათ მზის მომდევნო დაბნელებებზე დაკვირვებისას გადაიჭრება.

მზის კორონა გამოასხივებს აგრეთვე ელექტრულად დამუხტულ ნაწილაკებს. ჩვენს ატმოსფეროში შემოჭრისას ისინი მის ფიზიკურ მდგომარეობას ცვლიან და რადიოკავშირს დაბრკოლებებს უქმნიან. ამიტომ დაბნელების დროს ჩვენი ატმოსფეროს ზედა ფენებს—იონოსფეროს აკვირდებიან. სრული და ნაწილობრივი დაბნელების დროს ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს მისი დასაწყისისა და დამთავრების მომენტების ზუსტ აღნიშვნას. ეს მონაცემები საშუალებას მოგვცემს შევადაროთ ისინი დაბნელების წინასწარ გამოთვლილ დასაწყისსა და დასასრულს, რაც დაგვეხმარება მთვარის მოძრაობის თეორიის დაზუსტებაში. ჩრდილისა და ნახევარჩრდილის საზღვართან ახლო მდებარე ადგილებში დაბნელების დასაწყისისა და დამთავრების აღნიშვნა დაგვეხმარება აგრეთვე დაბნელების წინასწარ გამოთვლის თეორიის შემოწმებასა და დაზუსტებაში.

მზის დაბნელებებზე დაკვირვების ჩასატარებლად ასტრონომებს ზოგჯერ შორეულ ექსპედიციაში უხდებათ წასვლა. 1947 წ. საბჭოთა ასტრონომებისა და ფიზიკოსების ექსპედიცია დაბნელებაზე დასაკვირვებლად ბრაზილიაში გაემგზავრა. ხოლო 1962 წ. 31 ივლისის რგოლისებურ დაბნელებაზე დასაკვირვებლად ჩვენი ასტრონომები აფრიკის ჯუნგლებში შორეული მალის რესპუბლიკაში იკვლევდნენ გზას ყველგანმავლებით.

დაბნელებები სულ რამდენიმე წუთს გრძელდება. ეს დრო რომ უკეთ გამოიყენონ, ასტრონომები მიმართავენ ფოტოგრაფიას. 1936 წ. დაბნელებისას გამოიყენეს დაბნელების სრული ფაზის დროის „გაგრძელების“ საშუალება. ამ დაბნელებას 28 ექსპედიცია აკვირდებოდა. დაბნელების სრული ფაზის ზოლი შავი ზღვის ნაპირები-





მზის, დედამიწისა და მთვარის ურთიერთგანლაგება მთვარის დაბნელებისას. დედამიწა მოქცეულია მზესა და მთვარეს შორის, მთვარეს ფარავს დედამიწის ჩრდილი.

დან შორეულ აღმოსავლეთამდე გავრცელდა. მთვარის ჩრდილმა ეს მანძილი ორ საათში გაიარა. ექსპედიციები დაბნელების ზოლის გასწვრივ განლაგდნენ. ამან მათ საშუალება მისცა, გადაეღოთ ყველა ცვლილება, რაც კი ამ დროს მზის კორონაში მოხდა. სხვადასხვა დროს მიღებულ ფოტოსურათთა შედარება რომ უფრო მოსახერხებელი ყოფილიყო, გამოიყენეს სავსებით ერთი ტიპის ხელსაწყოები, სტანდარტული კორონოგრაფები — ფოტოკამერები, რომელთა მეშვეობითაც მზისა და კორონის დიდი მასშტაბის სურათები მიიღება.

სრული ფაზის დროის „გაგრძელების“ ამ საშუალებამ გაამართლა და შემდგომში მას იყენებდნენ ყველა დაბნელების დროს, რომელთა ხილული ზოლიც საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე გადიოდა.

ახლა სრული ფაზის დროის გადიდების სხვა საშუალებაც არსებობს: იყენებენ რეაქტიულ ავიაციას. თვითმფრინავ ტუ-104-ზე მოაწყვეს მფრინავი ობსერვატორია. დაბნელების დღეს, 1961 წ. 15 თებერვალს, თვითმფრინავი ღრუბლებს ზემოთ აფრინდა და მთვარის ჩრდილს გამოუდგა. ასე გააგრძელეს სრულ ფაზაზე დაკვირვების დრო 75 წამით.

მზის დაბნელების დროს ირგვლივ ძალიან ლამაზი სანახაობა იშლება. იგი წარუშლელ შთაბეჭდილებას ტოვებს. დაბნელებას თან ახლავს ბევრი ძალზე საინტერესო მოვლენა გარემომცველ ბუნებაში. მაგალითად, რაც უფრო პატარავდება მოკაშკაშე ნამგალი, მით უფრო მკვეთრი ხდება სხვადასხვა საგნების ჩრდილი. როცა მზე ვიწრო ნამგლის ფორმას იღებს, მის პარალელურად მდებარე საგნებს ძალზე მკვეთრი ჩრდილი აქვს, ნახევარჩრდილები კი თითქმის მთლიანად ქრება. მზის ნამგლის მიმართ საგნების სხვა მდებარეობის დროს ჩრდილები არასიმეტრიული ხდება (ეს ადვილად შეინიშნება გაშლილი ხელის თითების ჩრდილის მიხედვით).

სრული დაბნელების მომენტამდე რამდენიმე ათეული წამით ადრე, აგრეთვე მისი დამთავრების შემდეგაც დედამიწის ზედაპირზე ტალღისებური, ე. წ. „მორბენალი“ ჩრდილები გადაივლიან. ისინი წყლის ლივლივს გვაგონებენ. ესაა მზის სხივების ვიწრო, მაგრამ კაშკაშა კონით განათებული ჰაერის ნაკადები.

დაბნელების მომენტში ირგვლივ ჰორიზონტზე შეინიშნება მოწითალო-ნარინჯისფერი ნათება — განთიადის რგოლი.

მზის დაბნელებაზე დაკვირვებას შეუძლია მდიდარი მასალა მისცეს ნორჩ ბუნებისმოყვარულებს. მოსწავლეთათვის სულ არ იქნება ძნელი იმ ატმოსფერულ მოვლენებზე დაკვირვება, რომლებიც დაბნელებებს ახლავს თან. კერძოდ, შეიძლება დააკვირდნენ ჰაერის ტემპერატურის, ტენიანობის, ატმოსფერული წნევის, ღრუბელთა ფერისა და სხვ. ცვალებადობას. ფოტომოყვარულებს შეუძლიათ გადაიღონ ნაწილობრივი ფაზების, სრული ფაზებისა და გარემომცველი ლანდშაფტის სურათები. შესაძლებელ დაკვირვებათა პროგრამას შეგიძლიათ გაეცნოთ საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოების ასტრონომიული კალენდრის „მუდმივ ნაწილში“ (ფიზმატგიზი, 1962).

თუ როდისმე შესაძლებლობა მოგეცემათ დააკვირდეთ მზის სრულ დაბნელებას, ხელიდან ნუ გაუშვებთ მას. მხოლოდ გახსოვდეთ: მზეს ნაწილობრივი ფაზის დროს უბრალო თვალით ან დურბინდით არ შეხედოთ — მხედველობას გაიფუჭებთ. უნდა გახედოთ გაჭვარტლულ მინაში ან შუქზე გამქღავნებულ ფოტოფირში. მზის კორონას ყოველგვარი მინის გარეშე შეგიძლიათ გახედოთ, მაგრამ დურბინდში იგი უკეთ ჩანს.

„უჩვეულო“ ციური მოვლენაა მთვარის დაბნელებაც. ეს ასე ხდება: მთვარის სავსე ნათელი წრე მარცხენა კიდეზე გამუქებას იწყებს. მთვარის დისკოზე ჩნდება მრგვალი მურა ჩრდილი, იგი სულ უფრო და უფრო ფართოვდება და დაახლოებით ერთი საათის შემდეგ მთელ მთვარეს ფარავს. მთვარე მკრთალდება და მურა-წითელი ფერისა ხდება.

მთვარის დაბნელებები, როგორც უკვე ვთქვით, იმიტომ ხდება, რომ სრულმთვარეობისას მთვარესა და მზეს შორის დედამიწა ექცევა, რომელიც მზის სხივებს ეფარება და ისინი მთვარეზე ვეღარ ეცემა.

დედამიწის დიამეტრი 4-ჯერ მეტია მთვარის დიამეტრზე, ხოლო დედამიწის ჩრდილი მთვარის მანძილზე $2^1/_2$-ჯერ აღემატება მთვარის სიდიდეს. ამიტომ მთვარე შეიძლება მთლიანად ჩაიძიროს დედამიწის ჩრდილში. მთვარის დაბნელება ბევრად დიდხანს გრძელდება, ვიდრე მზის დაბნელება — იგი შეიძლება 1 საათსა და 40 წუთს გაგრძელდეს.

იმ მიზეზით, რა მიზეზითაც ყოველ ახალმთვარეობისას არ ხდება მზის დაბნელება, არც მთვარის დაბნელება ხდება ყოველ სრულმთვარეობისას. წელიწადში მთვარის დაბნელება შეიძლება 3-ჯერ მოხდეს, მაგრამ არის ისეთი წლებიც, როცა მთვარის დაბნელება სულ არ ხდება; ასეთი იყო, მაგალითად, 1951 წელი.

მთვარის დაბნელებები იმავე შუალედებში ხდება, როგორც მზის დაბნელებები. ამ შუალედის მანძილზე, 18 წელს, 11 დღესა და 8 საათში (საროსი), ხდება მთვარის 28 დაბნელება, მათ შორის 15 ნაწილობრივი და 13 სრული. როგორც ვხედავთ, საროსში მთვარის დაბნელებათა რიცხვი ბევრად ნაკლებია მზის დაბნელებათა რიცხვზე და მაინც მთვარის დაბნელებას უფრო ხშირად შეგვიძლია დავაკვირდეთ, ვიდრე მზისას. ეს იმით აიხსნება, რომ დედამიწის ჩრდილში ჩაძირვისას მთვარე არ ჩანს დედამიწის მზით გაუნათებელ მთელ ნახევარზე. მაშასადამე, მთვარის ყოველი დაბნელება გაცილებით მეტ ტერიტორიაზე შეიძლება დავინახოთ, ვიდრე მზის რომელიმე დაბნელება. დაბნელებული მთვარე მთლიანად არ იკარგება, როგორც მზე მზის დაბნელების დროს, არამედ სუსტად ხილული ხდება. ეს იმიტომ, რომ მზის სხივების ნაწილი გააღწევს ხოლმე დედამიწის ატმოსფეროს, ტყდება მასში, შედის დედამიწის ჩრდილში და მთვარეს ეცემა. რადგან ჰაერი უმთავრესად წითელ სხივებს ატარებს, დაბნელების დროს მთვარე მოწითალო-სპილენძისფერ ან მურა ელფერს იღებს.

წარსულში მთვარის დაბნელებებიც იწვევდა შიშს და მათ ავისმომასწავებლად თვლიდნენ.

როგორც მზის, ისე მთვარის დაბნელებები არავითარ ზებუნებრივ მოვლენას არ წარმოადგენს: მეცნიერებამ დიდი ხანია უკვე ახსნა მათი ნამდვილი მიზეზი.

მზის სისტემის პლანეტები

ზორეული „დედამიწები“

ადამიანები უძველესი დროიდან იცნობდნენ ცის მნათობებს, რომელთაც პლანეტები, ანუ ცთომილები უწოდეს. გარეგნულად ისინი ვარსკვლავებს ჰგვანან, იმ განსხვავებით, რომ პლანეტები განუწყვეტლივ „დაეხეტებიან“ ცაზე და ერთი თანავარსკვლავედიდან მეორეში გადაადგილდებიან. ამ პლანეტების გზა მეტად რთულია. ვარსკვლავიერ რუკაზე რომელიმე პლანეტის გზა რომ გამოვსახოთ, მივიღებთ ხაზს არაწესიერი მარყუჟებითა და ხვეულებით. პლანეტა მოძრაობს ჯერ მარჯვნიდან მარცხნივ, სულ წინ და წინ, შემდეგ ჩერდება და ნელა ბრუნდება უკან, გაივლის მცირე მანძილს უკუმიმართულებით, კვლავ გაემართება წინ და თანდათან უმატებს სიჩქარეს, ვიდრე კვლავ გაჩერდებოდეს. ძველი დროის მეცნიერები გულმოდგინედ ცდილობდნენ ამოეცნოთ პლანეტების ეს უცნაური მოძრაობა, მაგრამ ვერ შეძლეს, რადგან ეგონათ, პლანეტები დედამიწის ირგვლივ გარემოიქცევიან. პლანეტების მოძრაობა ცაზე უცნაურად იმიტომ გვეჩვენება, რომ როცა მათ ვუყურებთ, ამავე დროს ჩვენც ვმოძრაობთ დედამიწასთან ერთად.

მზე პლანეტებთან და მათ თანამგზავრებთან ერთად შეადგენს მზის, ანუ პლანეტების სისტემას. ყოველი პლანეტის გზა დაახლოებით წრეხაზია, რომელზეც ეს პლანეტა მოძრაობს მზის გარ-

შემო. თვითეულ პლანეტას აქვს თავისი გზა, ანუ, როგორც ასტრონომები ამბობენ, თავისი ორბიტა.

რაც უფრო ახლოსაა პლანეტა მზესთან, მით უფრო მცირეა მისი ორბიტა, მით უფრო მოკლეა გზა, რომლის გარბენაც მას უხდება. გარდა ამისა, მზესთან ახლოს მყოფი პლანეტა უფრო სწრაფად მოძრაობს, ვიდრე მზიდან დაშორებული; ამიტომაც მზის ირგვლივ პლანეტის გარემოქცევის დრო მით უფრო მოკლეა, რაც უფრო ახლოსაა იგი მზესთან.

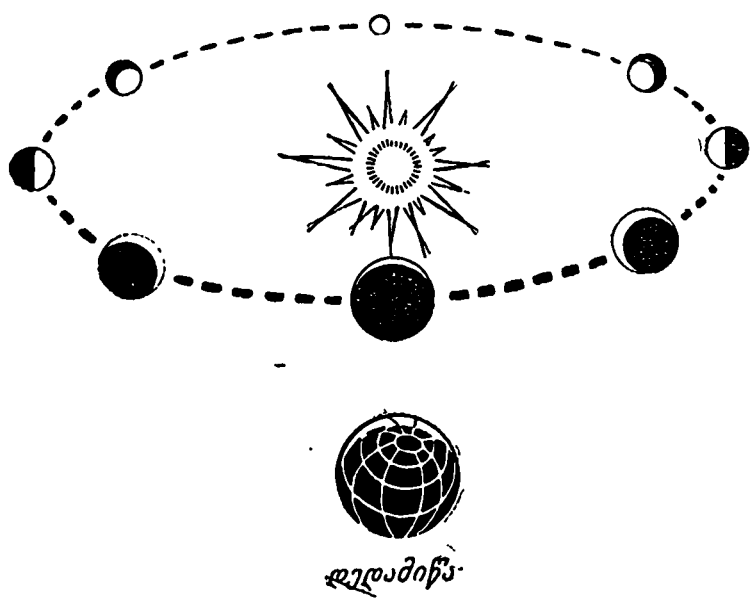
ადამიანებმა დიდი ხანია, რაც პლანეტები შენიშნეს და მათ სახელებიც შეარქვეს. ეს სახელები პლანეტებს დღემდე შემორჩათ. ხალხს არ ესმოდა პლანეტების მოძრაობის ნამდვილი მიზეზები და მათი მოძრაობა იმ ღმერთების სურვილად და ჭირვეულობად მიაჩნდა, რომელთაც თვითონ სცემდა თაყვანს. ამიტომ ადამიანებმა პლანეტებს უწოდეს ღმერთებისა და ქალღმერთების სახელები. ასე მოხვდნენ თანამედროვე ასტრონომიული სამეცნიერო წიგნების ფურცლებზე ძველ რომაელთა ღმერთების ისეთი სახელები, როგორიცაა მერკური — ვაჭრობის ღმერთი, ვენერა — სილამაზის ქალღმერთი, მარსი — ომის ღმერთი და სხვ.

მერკური — სიცხისა და სიცივის სამეფო

პლანეტების შესწავლა ჩვენ მზესთან ყველაზე ახლოს მყოფი პლანეტით დავიწყოთ. მას მერკურის უწოდებენ. თავის მოკლე ორბიტას მერკური დედამიწის 88 დღე-ღამეში შემოირბენს. ე. ი. იქაური წელიწადი ჩვენებურ სამ თვეზე უფრო მოკლეა.

მერკური კაშკაშა მნათობია, მაგრამ მისი დანახვა ცაზე არც ისე ადვილია. რადგან იგი მზესთან ახლოს იმყოფება, ჩვენ მას ყოველთვის მზის დისკოს მახლობლად ვხედავთ. იგი მზეს სცილდება ხან მარცხნივ (აღმოსავლეთისაკენ), ხან მარჯვნივ (დასავლეთისაკენ) სულ მცირე მანძილით, რომელიც 28°-ს არ აღემატება. ამიტომ მერკურის დანახვა წლის მხოლოდ იმ დღეებში შეიძლება, როცა იგი უდიდესი მანძილით სცილდება მზეს.

დავუშვათ, მერკური მზისგან მარცხნივ გადაიწია. მზე და ყველა სხვა მნათობი თავიანთი დღე-ღამური მოძრაობისას ცაზე მარცხნიდან მარჯვნივ მიცურავს, ამიტომ ჯერ მზე ჩადის, ხოლო საათზე ცოტა მეტი ხნის შემდეგ — მერკურიც. აი, სწორედ ამ ერთი საათის განმავლობაში, ე. ი. მზის ჩასვენებასა და მერკურის ჩასვლას შორის უნდა



მერკურის ფაზები.

ვეძებოთ ეს პლანეტა დასავლეთის ჰორიზონტის მახლობლად. ცუდია, რომ ამ დროს ცა დასავლეთით ნათელია—მასზე დაისია. ამიტომ საბჭოთა კავშირის ჩრდილოეთში, მაგალითად ლენინგრადში, სადაც დაისი ორ საათს გრძელდება, მერკურის მოძებნა იშვიათად ხერხდება. სულ სხვაა სამხრეთში: იქ ბინდი ხანმოკლეა, დაისი ჩქარა ქრება და უკვე შებინდებულ ცაზე უფრო კარგად ხერხდება მერკურის მონახვა.

მერკურის რომ ტელესკოპით დავაკვირდეთ, იგი პატარა მთვარის სახით წარმოგვიდგება, რომელსაც ვიწრო ნამგლის ან არასრული წრის მოხაზულობა აქვს. მერკური ბნელი სფეროა, ის საკუთარ სინათლეს არ იძლევა და ცაზე მზის არეკლილი სხივებით ბრწყინავს. მერკურის იმ ნახევარზე, რომელიც მზისკენაა მიმართული, დღეა, ხოლო მეორეზე — ღამე. ჩვენ ვხედავთ პლანეტის მხოლოდ განათებულ ნაწილს. მერკურის დიამეტრი 2,5-ჯერ ნაკლებია დედამიწის დიამეტრზე და 1,5-ჯერ მეტია მთვარის დიამეტრზე.

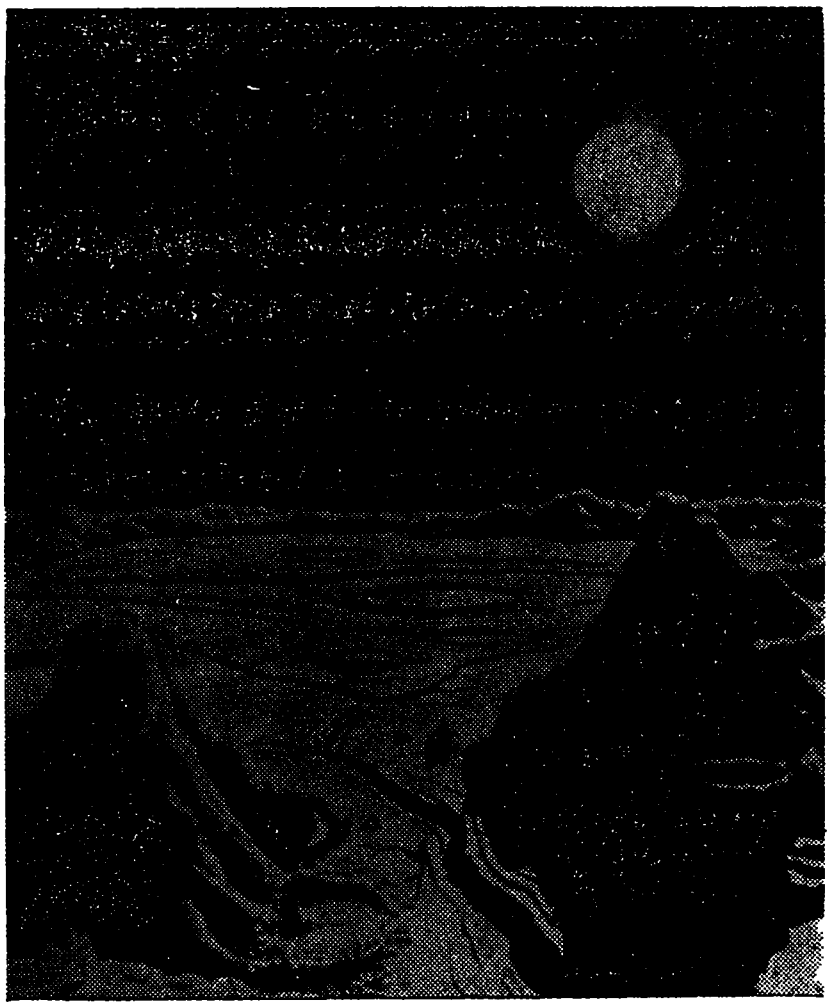
ძლიერ ტელესკოპში მერკურიზე შეიმჩნევა ბნელი ლაქები, რომლებიც დაახლოებით ისეთივეა, როგორიც მთვარის „ზღვები“ შეუიარაღე-

ბელი თვალით. ამ ლაქებზე დაკვირვებისას მეცნიერებმა ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურება დაადგინეს. მზის ირგვლივ მოძრაობასთან ერთად მერკური თავისი ღერძის ირგვლივ ისე ბრუნავს, რომ მზისკენ ყოველთვის მისი ერთი და იგივე ნახევარია მიქცეული. ეს იმას ნიშნავს, რომ მერკურის ერთ მხარეზე ყოველთვის დღეა. ხოლო მეორეზე — ღამე.

სინათლის სიკაშკაშის გაზომვის შედეგად გამოირკვა, რომ მერკური დაფარულია რომელიღაც ჭვიანი, ოღროჩოღრო, მოყავისფრო ქანებით.

მერკური გაცილებით უფრო ახლოსაა მზესთან, ვიდრე დედამიწა. ამიტომ მზე მას ჩვენთან შედარებით 7-ჯერ უფრო მეტად ანათებს და ათბობს.

გაზომვა გვიჩვენებს, რომ დღის ნაწილზე იქ ტემპერატურა 400°-მდე ადის ნულს ზემოთ. სამაგიეროდ ღამის მხარეზე ყოველთვის ძლიერი ყინვა უნდა იყოს, რომელიც ალბათ 200°-მდე და 250°-მდეც კი დადის ნულს ქვემოთ.



მერკურის სავარაუდო ზედაპირი.

ასეთ პლანეტაზე არ შეიძლება იყოს არც ოკეანე, არც ატმოსფერო და არც ორგანული სიცოცხლე. მერკური უდაბნოების სამეფოა.

ვენერა — „მწუხრის ვარსკვლავი“

მზიდან დაშორების მიხედვით ვენერა რიგით მეორე პლანეტაა. მერკურისგან განსხვავებით, მისი მოძებნა ცაზე ძალიან ადვილია. ყოველ ჩვენგანს შეუმჩნევია ზოგჯერ საღამოს, ჯერ კიდევ სრულიად ნათელ ცაზე, როგორ ინთება „მწუხრის ვარსკვლავი“. დაისის გაქრობასთან ერთად ვენერა სულ უფრო და უფრო კაშკაშა ხდება, ხოლო როცა სრულიად დაბნელდება და სხვა ვარსკვლავები აკიაფდება, იგი მკვეთრად გამოირჩევა მათ შორის. მაგრამ ვენერა დიდხანს არ ანათებს. ერთი-ორი საათის შემდეგ ის უჩინარდება. შუაღამისას ვენერა არასოდეს არ ჩნდება, სამაგიეროდ მისი დანახვა შეიძლება დილდილობით, განთიადის წინ, „ცისკრის ვარსკვლავის“ სახით. მაშინაც კი, როცა გათენდება და ყველა დანარჩენი ვარსკვლავი ქრება, ვენერა აისის ნათელ ფონზე ისევ ანათებს.

ადამიანები უხსოვარი დროიდან იცნობდნენ ვენერას. მასთან ბევრი ლეგენდა და ცრურწმენა იყო დაკავშირებული. ძველად ფიქრობდნენ, რომ ვენერა ორი სხვადასხვა მნათობია: ერთი მწუხრისას ჩნდება, მეორე — ცისკრისას. შემდეგ მიხვდნენ, რომ ეს ერთი და იგივე მნათობი, ცის მშვენება, „მწუხრისა და ცისკრის ვარსკვლავი“ — ვენერაა. „მწუხრის ვარსკვლავისათვის“ არა ერთხელ შეუსხამთ ხოტბა პოეტებსა და კომპოზიტორებს. იგი აღწერეს დიდმა მწერლებმა და თავიანთ ტილოებზე გადაიტანეს სახელოვანმა მხატვრებმა.

სიკაშკაშის სიძლიერის მიხედვით ვენერა ცის მესამე მნათობია, თუ მზეს ჩავთვლით პირველად, ხოლო მთვარეს — მეორედ. ამის გამო, მისი დანახვა ცაზე თეთრი წერტილის სახით დღისითაც შეიძლება ხოლმე.

ვენერას ორბიტა მდებარეობს დედამიწის ორბიტის შიგნით. იგი გარს უვლის მზეს 225 დღის, ანუ 7,5 დედამიწის თვის განმავლობაში. მერკურის მსგავსად, ვენერას შეუძლია დაშორდეს მზეს მხოლოდ განსაზღვრული მანძილით, რაც 50°-ს არ აღემატება. ამიტომ იგი ჩადის მზის ჩასვლის შემ-

დეგ არა უგვიანეს 3 — 4 საათისა და ამოდის არა უადრეს 3 — 4 საათისა მზის ამოსვლამდე.

ყველაზე სუსტ ტელესკოპშიც კი ჩანს, რომ ვენერა წერტილი კი არა, სფეროა, რომლის ერთი მხარე მზითაა განათებული, ხოლო მეორე — წყვდიადითაა მოცული. თუ ვენერას ყოველდღიურად დავაკვირდებით, შევნიშნავთ, რომ მთვარისა და მერკურის მსგავსად, ისიც ფაზების მთელ ცვლას გადის.

ვენერას ფაზების დანახვა ხანდახან ჩვეულებრივი სავლე ბინოკლითაც შეიძლება. არიან ისეთი მახვილი მხედველობის ადამიანები, რომლებიც ვენერას ვიწრო ნამგალს შეუიარაღებელი თვალითაც ხედავენ. იგი მთვარის შემდეგ დედამიწასთან ყველაზე უფრო ახლოს მყოფი ციური სხეულია. ზოგჯერ ვენერა 40 მილიონ კმ-ზე უახლოვდება დედამიწას, თუმცა მის ზედაპირზე დაკვირვება მაინც ვერ ხერხდება.

ძლიერ ტელესკოპში ვენერა ძალიან დიდი გვეჩვენება, გაცილებით უფრო დიდი, ვიდრე მთვარე ჩანს შეუიარაღებელი თვალით. თითქოს მასზე ყველაფერი უნდა შეგვემჩნია — მთები, ველები, ზღვები, მდინარეები, მაგრამ ყოველგვარი დაკვირვება ვენერაზე უშედეგოა. ამ პლანეტის ხილული ზედაპირი მუდამ თეთრი და ერთგვაროვანია. მასზე არაფერი ჩანს, გარდა გაურკვეველი, ბუნდოვანი ლაქებისა. რა არის ამის მიზეზი?

ვენერა უფრო ახლოსაა მზესთან, ვიდრე დედამიწა, ამიტომ ზოგჯერ იგი დედამიწასა და მზეს შორის გადის და მაშინ მზის თვალისმომჭრელი დისკოს ფონზე შავი წერტილის სახით ჩანს. ეს მოვლენა ძალიან იშვიათად ხდება. უკანასკნელად ვენერამ მზესა და დედამიწას შორის 1882 წელს გაიარა, ხოლო შემდგომში ეს 2004 წელს მოხდება.

მზის წინ ვენერას გავლას 1761 წელს ბევრ სხვა მეცნიერთა შორის მ. ლომონოსოვიც აკვირდებოდა. იგი ყურადღებით ადევნებდა თვალს ტელესკოპში მზის ზედაპირის ცეცხლოვან ფონზე ვენერას ბნელი წრის გამოჩენას და უცებ შენიშნა ახალი, მანამდე ყველასათვის უცნობი მოვლენა. როდესაც ვენერა თავისი განივკვეთის ნახევარზე უფრო მეტით შევიდა მზის დისკოზე, მისი სფეროს დანარჩენი ნაწილის ირგვლივ, რომელიც ჯერ კიდევ ცის ბნელ ფონზე იმყოფებოდა, უეცრად გამოჩნდა ბეწვისებრ წვრილი ცეცხლოვანი რკალი. იგივე რკალი ჩანდა მაშინაც, როდესაც ვენერა სცილდებოდა მზის დისკოს. ლომონოსოვმა დაასკვნა, რომ ამის მიზეზია ატმოსფერო — გაზის ფენა, რომელიც გარს არტყია ვენერას. ამ გაზში მზის სხივები გადატყდება, გარს უვლის პლანეტის გაუმჭვირვალე სფეროს და დამკვირვებლისათვის ცეცხლოვანი რკალის სახით მოჩანს. თავისი დაკვირვებების შეჯამებისას ლომონოსოვი წერდა: „პლანეტა ვენერა გარშემორტყმულია მნიშვნელოვანი ჰაერ-ატმოსფეროთი...“

ეს იყო დიდი მეცნიერული აღმოჩენა. კოპერნიკმა დაასაბუთა, რომ პლანეტები ისევე მოძრაობენ, როგორც დედამიწა. გალილეიმ ტელესკოპში პირველი დაკვირვებებით დაადგინა, რომ პლანეტები ბნელი, ცივი სფეროებია, სადაც დღეები ღამეებს ცვლიან. ლომონოსოვმა დაამტკიცა, რომ პლანეტებზე, ისევე როგორც დედამიწაზე, შეიძლება არსებობდეს ჰაერის ოკეანე — ატმოსფერო.

ვენერას ჰაერის ოკეანე ბევრად განსხვავდება ჩვენი დედამიწის ატმოსფეროსაგან. იქ, ყოველ შემთხვევაში, მის ზედა ფენებში, თითქმის არ არის ისეთი მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილები, როგორიცაა, ჟანგბადი და წყლის ორთქლი, მაგრამ სამაგიეროდ ბევრია ნახშიროჟანგი. როცა ჰაერში ღრუბლების მთლიანი გაუმჭვირვალე საფარი დაცურავს, ჩვენთან მოღრუბლული დღეებია, მაგრამ არის ნათელი დღეებიც, როცა გამჭვირვალე ჰაერში დღისით მზე ანათებს, ხოლო ღამით ათასობით ვარსკვლავი მოჩანს. ვენერაზე კი ყოველთვის მოღრუბლულია. მისი ატმოსფერო ყოველთვის ღრუბლების თეთრი საფარველითაა შებურული და ჩვენც სწორედ ამ საფარველს ვხედავთ, როდესაც ვენერას ტელესკოპით ვუყურებთ. პლანეტის ზედაპირი მიუწვდომელია დაკვირვებისათვის, ის იმალება მკვრივი ღრუბლოვანი ატმოსფეროს იქით. ღრუბლის საფარველი საშუალებას არ გვაძლევს ვენერას ზედაპირზე რაიმე დეტალები შევამჩნიოთ და მათი გადაადგილების სიჩქარის მიხედვით დავადგინოთ ამ პლანეტის ბრუნვის ხანგრძლიობა თავისი ღერძის გარშემო.

მაგრამ ეს მაშინ ხდება, როცა ვენერას ოპტიკურად — თვალით ან ფოტოგრაფიის დახმარებით ვაკვირდებით. ამჟამად მეცნიერებს ხელთა აქვთ ციურ მნათობთა შესწავლის ახალი რადიოასტრონომიული მეთოდი.

თურმე ვენერა თვითონ გამოსცემს რადიოტალღებს, რომლებსაც თანამედროვე დიდი რადიოტელესკოპებით შეისწავლიან. თუ ეს ტალღები ჩვენთან ვენერას მყარი ზედაპირიდან მოდის, ეს იმას ნიშნავს, რომ პლანეტის ზედაპირი ძალიან ცხელია, რომ მისი ტემპერატურა სულ მუდამ — დღისითაც და ღამითაც +300°-ს აღწევს. თუ ასეა, მაშინ ღრუბლების ფენის ქვეშ მოქცეულ მთელ ვენერაზე ისეთივე ცხელი უდაბნოა, როგორც მერკურის მზისკენ მიქცეულ მხარეზე. მაგრამ შეიძლება სხვანაირადაც იყოს. შეიძლება რადიოტალღები ვენერას ატმოსფეროს ზედა ფენებში ჩნდება და მაშინ ამ ტალღების მიხედვით პლანეტის ზედაპირის ტემპერატურაზე მსჯელობა შეუძლებელია.

არსებობს კიდევ ერთი ხერხი რადიოს გამოყენებისა მნათობთა შესწავლის საქმეში. ეს არის რადიოლოკაცია.

რადიოლოკაციის დახმარებით ვენერაზე დაკვირვება 1961 წ. გაზაფხულზე ჩაატარა საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიამ. გამოირკვა, რომ ჩვენგან ღრუბლებით დაფარული ვენერას ზედაპირი ზოგან ძლიერად არეკლავს რადიოსხივებს და ზოგან სუსტად. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ამ პლანეტის ზედაპირი ყველგან ერთგვაროვანი არ არის. მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ვენერას ბრუნვის ხანგრძლიობა თავისი ღერძის გარშემო შეადგენს არა ნაკლებ 200 დღე-ღამეს.

რადიოტალღების მეშვეობით პლანეტების გამოკვლევა ჯერ ახალი საქმეა. უდავოა, რომ დროთა განმავლობაში ეს მეთოდი საშუალებას მოგვცემს შევისწავლოთ ჩვენგან ღრუბლის მთლიანი ფენით დაფარული ვენერას სამყარო. ჯერჯერობით კი ჩვენ არ ვიცით, როგორი ფიზიკური პირობებია ვენერაზე და შესაძლებელია თუ არა ამ პლანეტაზე სიცოცხლის არსებობა.

დედამიწა

ვენერას შემდეგ მზიდან დაშორების მიხედვით მოდის დედამიწა. ჩვენ ამ პლანეტაზე ვცხოვრობთ და მისი შესწავლისათვის არ გვჭირდება ტელესკოპები. ამიტომ დედამიწის ბუნებას შეისწავლიან და აღწერენ არა ასტრონომები, არამედ გეოგრაფები. მიუხედავად ამისა, დედამიწა ციური მნათობია. როგორი იქნება იგი სხვა ციურ სხეულებზე მყოფი დამკვირვებლისათვის?

დედამიწას რომ მთვარიდან შევხედოთ, იგი დიდ დისკოდ მოგვეჩვენება, რომლის განივკვეთი თითქმის ოთხჯერ უფრო მეტი იქნება, ვიდრე დედამიწიდან ხილული მთვარის დისკო. დედამიწის ნამდვილი, ანუ ხაზოვანი დიამეტრი თითქმის ოთხჯერ მეტია მთვარის განივკვეთზე.

მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის დედამიწა გადის ფაზების ისეთსავე ცვლას, როგორსაც მთვარე — დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის. სხვანაირად არც შეიძლება იყოს, რადგანაც დედამიწის სფეროს ღამის მხარე ბნელია, დღისა კი — ნათელი. დროის მიხედვით „დედამიწის ფაზები“ ზუსტად საწინააღმდეგოა მთვარის ფაზებისა. როდესაც ჩვენ ვტკბებით სავსე მთვარით, მთვარისაკენ მიქცეულია დედამიწის ბნელი ნახევარი, ე. ი. დგება „ახალდედამიწობის“ მომენტი. როცა ჩვენთან ახალმთვარეობაა, მთვარეზე დგება „სავსედედამიწობა“ და დედამიწა მთვარიდან ჩანს, როგორც მთლიანად განათებული დისკო. როცა ჩვენ მზით განათებული მთვარის ნაწილს ვიწრო ნამგლის სახით ვხედავთ, მაშინ მთვარის დისკოს დანარჩენი ნაწილიც სუსტად ანათებს. ამ სინათლეს ფერფლისებრს უწოდებენ. სავსე დედამიწის სინათლე მთვარეზე დაახლოებით ასჯერ უფრო ძლიერია, ვიდრე მთვარის სინათლე ჩვენთან. ეს რომ ასეა, ამაში დავრწმუნდებით, თუ გავზომავთ მთვარეზე ფერფლისებრი სინათლის სიკაშკაშეს, რომელიც სწორედ მთვარის დისკოს ბნელ მხარეზე მიიღება, როცა მას დედამიწა ანათებს.

დედამიწისეული განათების ასეთ ძალას ორი მიზეზი განაპირობებს: ჯერ ერთი, დედამიწა უფრო დიდია, მისი დისკოს ფართობი 14-ჯერ აღემატება მთვარისას. მეორეც, დედამიწა უკეთესად აირეკლავს მზის სხივებს, რადგანაც უფრო ნათელი შეფერილობა აქვს. ეს, თავის მხრივ, იმიტომ ხდება, რომ მთვარეზე არავითარი ატმოსფერო არ არის, დედამიწაზე კი ჰაერიც არის და თეთრი ღრუბლებიც.

მთვარიდან რომ დედამიწას შევხედოთ, იგი სრულებით არ იქნება იმ გლობუსების მსგავსი, რომელთაც ჩვენ შევეჩვიეთ სკოლაში. ნაცვლად მატერიკების და ოკეანეების მოხაზულობისა, რომელნიც ასე ნაირფრადაა შეფერადებული გლო-

ბუსებზე, შევამჩნევთ, რომ დედამიწის დისკოს ნახევარზე მეტი უჭირავს რაღაც თეთრ, ძლიერ თავისებურ და ცვალებად ლაქებს. ეს ლაქები სხვა არაფერია, თუ არა ღრუბლები, რომელნიც ფარავენ მათ ქვეშ განლაგებულ ადგილებს. ღრუბლების შუალედებში შეიძლება დავინახოთ ოკეანეების ნაპირების მოხაზულობა, უდაბნოების, ტყეებისა და, განსაკუთრებით, თოვლის კონტურები, მაგრამ ყველაფერი ეს ნათლად არ გამოჩნდება ჰაერის ცისფერი ნისლის გამო. ეს ნისლი კარგადაა ცნობილი ყველასათვის, ვინც მაღლობიდან დამტკბარა შორეთის ცქერით, ვისაც დიდ სიმაღლეებზე უფრენია; ეს ჰაერღრუბლოვანი სამოსი არის იმის მიზეზი, რომ დედამიწა სივრცეში არეკლავს მასზე დაცემული მზის სხივების 40—50%, მაშინ, როდესაც მთვარე 7%-ზე უფრო ნაკლებს არეკლავს.

მთვარეზე ჯერ არავინ ყოფილა და არც დედამიწა დაუნახავს ვინმეს იქიდან. ამიტომ დედამიწის ხედს მთვარიდან მეცნიერები სხვადასხვა, არაპირდაპირი გზით მიღებული მონაცემებით საზღვრავენ. წარმოიდგინეთ, ეს მონაცემები ძალზე ზუსტი გამოდგა. პირველმა კოსმონავტმა იური გაგარინმა ისტორიაში პირველი კოსმოსური ფრენის დროს დედამიწა სწორედ ისეთი დაინახა, როგორსაც მეცნიერები ვარაუდობდნენ. ხოლო მეორე კოსმონავტმა გერმან ტიტოვმა თავისი კოსმოსური მოგზაურობიდან შესანიშნავი ფერადი ფოტოები ჩამოიტანა. ამ სურათებიდან კარგად ჩანს, თუ როგორ გამოიყურება ჩვენი პლანეტა კოსმოსური სივრციდან.

დედამიწას ვენერადან ან მარსიდან რომ შევხედოთ, ის ოდნავ მოცისფრო, ძალიან კაშკაშა ვარსკვლავად მოგვეჩვენება. მის მახლობლად შეუიარაღებელი თვალით შეიძლება მთვარის დანახვაც (მკრთალი ვარსკვლავის სახით).

მარსი — „წითელი ვარსკვლავი“

მარსი დედამიწის უახლოესი მეზობელია მზის საწინააღმდეგო მხარეზე. იგი გამოირჩევა თავისი წითელი ფერით, რომელიც ცეცხლს მოგვაგონებს. ალბათ ამ ფერისათვის უწოდეს ძველმა რომაელებმა ამ პლანეტას ომის ღმერთის — მარსის სახელი.

მარსი მზიდან 227,7 მლნ კმ-თაა დაშორებული. მთელ თავის გზას მზის ირგვლივ მარსი გადის 687 დღეში, ანუ 1 წელიწადსა და 10,5 თვეში. რამდენადაც მარსი და დედამიწა ერთი და იმავე მიმართულებით მოძრაობენ, დედამიწა ყოველი 2 წლისა და 50 დღის შემდეგ წინ უსწრებს მარსს. ამ დროს მარსი და დედამიწა მზის ერთ მხარეზე, დაახლოებით ერთ სწორ ხაზზე მდებარეობენ. მარსის ასეთ მდებარეობას დედამიწის მიმართ ასტრონომები პირისპირდგომას უწოდებენ.

პლანეტები მზის ირგვლივ მოძრაობენ არა წრეხაზებზე, არამედ ელიფსებზე. ამიტომ მარსისა და დედამიწის გზებს შორის მანძილი ყველგან ერთნაირი არ არის. თუ პირისპირდგომა ხდება იქ, სადაც ეს გზები ყველაზე უფრო ახლოსაა ერთმანეთთან, მაშინ დედამიწიდან მარსამდე მანძილი მხოლოდ 55 მლნ კილომეტრს უდრის. ამას დიდი პირისპირდგომა ეწოდება; იგი მეორდება ყოველი 15 — 17 წლის შემდეგ. პირისპირდგომის დროს მარსი ცაზე მთელი ღამის განმავლობაში ციალებს ცეცხლოვანი ფერის ძალიან კაშკაშა ვარსკვლავის სახით. ამ დროს ყველაზე მოხერხებულია მასზე დაკვირვება.

დედამიწიდან დაშორების მიხედვით მარსს მესამე ადგილი უჭირავს მთვარისა და ვენერას შემდეგ.

როცა მარსი დედამიწასთან შედარებით ახლოს არის, მისი დათვალიერება კარგად შეიძლება ტელესკოპით. მართალია, მარსის დიამეტრი არ არის დიდი, თითქმის ორჯერ უფრო მცირეა დედამიწის დიამეტრზე, მაგრამ ტელესკოპში იგი საკმაოდ დიდი დისკოს სახით მოჩანს. მარსის ზედაპირის დიდი ნაწილი დაფარულია ყვითელი ან მოწითალო ფერის ლაქებით. ასეთ ლაქებს მარსზე მატერიკებს უწოდებენ. მატერიკების ფონზე ადვილად შეიმჩნევა რაღაც ბნელი ლაქებისაგან შედგენილი მოხატულობა. ამ ლაქებს ოდესღაც ზღვებს უწოდებდნენ. შემდგომ გამოირკვა, რომ ეს ლაქები სრულებითაც არაა ზღვები: მათში არ არის წყალი, მაგრამ სახელწოდებანი „ზღვები“ და „უბეები“ მარსის რუკებზე ძველებურად დარჩა, ოღონდ ისინი ახლა ისევე პირობითად ესმით, როგორც მთვარის „ზღვები“.

მარსს რომ მთელი ღამის განმავლობაში ვადევნოთ თვალი, დავინახავთ, როგორ ჩნდება ერთ მხა-

რეზე კიდის იქიდან „ზღვების“ ბნელი ლაქები და როგორ იმალება ისინი მეორე მხარეზე დისკოს კიდის იქით. ეს ნიშნავს, რომ მარსი ისევე ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო, როგორც დედამიწა. მაშასადამე, იქაც, ისევე როგორც ჩვენთან, დღე და ღამე ერთმანეთს ცვლის. მარსზე დღე-ღამის ხანგრძლიობაც კი თითქმის ისეთივეა, როგორიც დედამიწაზე — 24 საათი და 37 წუთი.

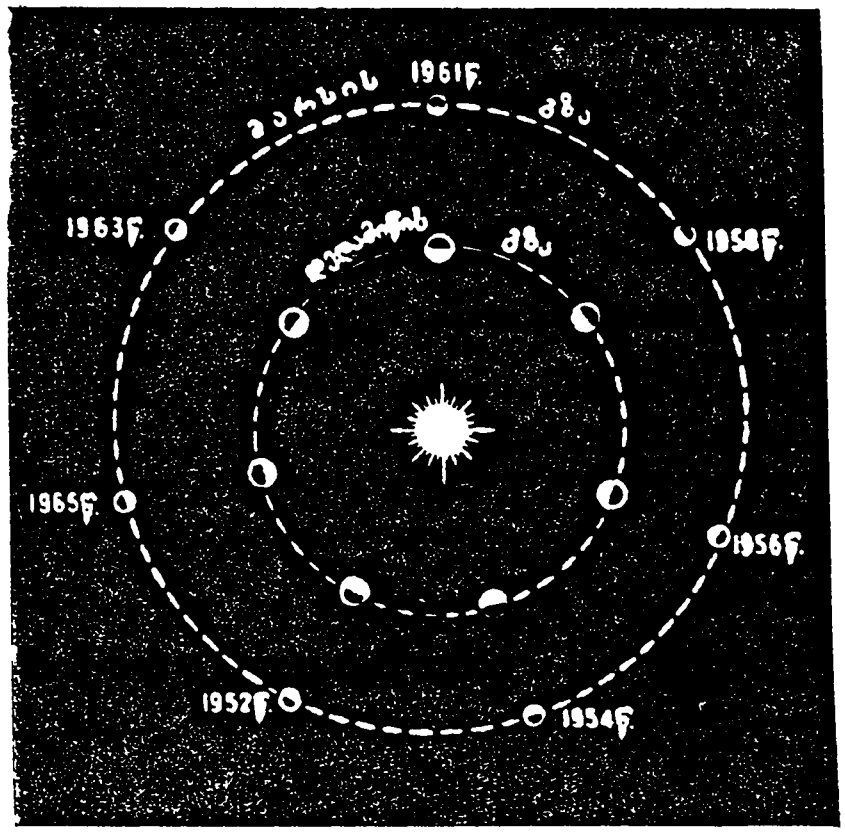
მარსის ღერძის დახრა ისეთივეა, როგორიც დედამიწისა. დედამიწის ღერძის დახრა განაპირობებს წლის დროთა ცვლას. მაშასადამე, მარსზეც არის ხოლმე გაზაფხული, ზაფხული, შემოდგომა და ზამთარი. შეგვიძლია თუ არა, დავინახოთ მარსზე ისეთი რამ, რაც დაამტკიცებდა სითბოსა და სიცივის ამ ცვლას?

დიახ, შეგვიძლია.

მარსზე დედამიწის მსგავსად ორი პოლუსია: ჩრდილოეთი და სამხრეთი. როდესაც ერთ პოლუსზე ზაფხულია, მეორეზე — ზამთარია. თუ მცირე ტელესკოპშიც კი მარსის იმ პოლუსს შევხედავთ, რომელზედაც ზამთარია, დავინახავთ, რომ მთელი მიდამო რაღაც თეთრი საფარველითაა დაფარული.

მაგრამ აი, დგება გაზაფხული და თეთრი საფარველი ჩვენს თვალწინ იწყებს დაშლას, თითქოს დნება. მისი ნაპირები სწრაფად მიიწევს პოლუსისაკენ და ათავისუფლებს ქვეშ დამალულ ბნელ ზედაპირს. თეთრი საფარველის დაშლა მთელ ზაფხულს გრძელდება და შემოდგომისათვის იგი სულ ცოტაღა რჩება პოლუსთან. შემოდგომიდან თეთრი საფარველი ისევ იზრდება და ფარავს ირგვლივ მდებარე ადგილებს.

რა არის ეს ღია ფერის ნივთიერება, რომელიც შემოდგომის სიცივეებთან ერთად ჩნდება და გაზაფხულის სითბოში ქრება? ადვილი შესაძლებელია, თოვლი იყოს! თოვლის თეთრი საფარველი დედამიწაზეც ხომ ყოველ შემოდგომაზე სულ უფრო ეკვატორისაკენ მიიწევს, გაზაფხულზე კი დნება და პატარავდება. მართალია, მარსზე უფრო ცივა, ვიდრე ჩვენთან. მარსი მზიდან უფრო შორსაა, რის გამოც მზის სხივები მას 2,5-ჯერ უფრო სუსტად ანათებს და ათბობს, ვიდრე დედამიწას. ამიტომ ეკვატორზეც კი, მარსის ყველაზე ცხელ ზონაში, შუადღისას ნიადაგი მხოლოდ 10 — 20°-მდე თბება, ღამღამობით კი იქ ყოველთვის ძლიერი ყინვებია.



სხვადასხვა პირისპირდგომისას დედამიწისა და მარსის მდებარეობის სქემა.

ზამთარში მარსზე ტემპერატურა 60 — 70°-მდე ჩამოდის ნულს ქვემოთ. მაგრამ იქ, სადაც მზე ზაფხულში სულ არ ჩადის და უწყვეტი ზაფხულის დღეა გამეფებული, დიდხანს არის ხოლმე სითბო, ტემპერატურა 0-დან პლუს 10°-მდე მერყეობს.

თუკი მარსზე მართლაც ჩნდება და ქრება თოვლი, ეს იმას ნიშნავს, რომ მარსზე წყალიც არის და ატმოსფეროც. ატმოსფეროში წყლის ორთქლი სხვადასხვა მიმართულებით გადაადგილდება და თოვლისა და ჭირხლის სახით ილექება. მაგრამ მარსზე წყალი უეჭველად ძალიან მცირე რაოდენობითაა, დაახლოებით იმდენი, რამდენიც ლადოგის ტბაშია. მარსის ატმოსფეროც სრულიად არ ჰგავს ჩვენს ატმოსფეროს. მისი ზედაპირის ყოველ უბანზე ჰაერი ბევრად უფრო მცირეა, ვიდრე დედამიწაზე. ამიტომ ჰაერი იქ ძალიან გაიშვიათებულია, დაახლოებით ისეთია, როგორიც ჩვენს ატმოსფეროში, დედამიწის ზედაპირიდან დიდ სიმაღლეებზე.

ამას გარდა, მიუხედავად საგულდაგულო ძიებისა, მარსის ატმოსფეროში არ აღმოჩნდა ცოტად თუ ბევრად მაინც მნიშვნელოვანი რაოდენობის ჟანგბადი და წყლის ორთქლი. დადგენილია, რომ ეს გაზები კიდევაც რომ არსებობდეს იქ, მა-

თი რაოდენობა ათასჯერ ნაკლები მაინც იქნება, ვიდრე დედამიწის ატმოსფეროში. ამიტომაც ბევრი მეცნიერი ფიქრობს, რომ პოლარული ქუდი თოვლი კი არა, ნისლისა და ღრუბლის საფარია, რომელიც ცივი ზამთრის პერიოდში მარსის პოლარულ ნაწილებს ფარავს.

სამაგიეროდ, მარსის ატმოსფეროში აღმოჩენილია ნახშიროჟანგა გაზი. როგორც ჩანს, მარსის ატმოსფერო ძირითადად ნახშიროჟანგა გაზისა და აზოტის ნარევისაგან შედგება.

დედამიწაზე თითქმის ყველგანაა სიცოცხლე. მას შემდეგ, რაც კოპერნიკმა დაამტკიცა, რომ პლანეტები შორეული „დედამიწებია“, მეცნიერებს ყოველთვის აღელვებდათ კითხვა, არის თუ არა იქ სიცოცხლე? ბუნების კანონები ხომ ყველგან ერთი და იგივეა. რადგან დედამიწაზე გაჩნდნენ ცოცხალი არსებანი, სხვა პლანეტებზეც ხომ შეიძლებოდა გაჩენილიყვნენ ისინი, თუკი იქ ამისათვის ხელშემწყობი პირობები იქნებოდა.

ეს პირობები კი შემდეგია: ჟანგბადის შემცველი ატმოსფერო, წყალი და შესაფერისი ტემპერატურა, ე. ი. არც ძალიან სიცხე და არც ძალიან სიცივე.

მთვარეზე სიცოცხლე არ შეიძლება იყოს იმიტომ, რომ იქ არ არის არც ჰაერი და არც წყალი. ამავე მიზეზით არ შეიძლება სიცოცხლე მერკურიზეც. ვენერას ბუნების შესახებ კი ჯერჯერობით ძალიან ცოტა რამ ვიცით.

სულ სხვაა მარსი. ჩვენ ვხედავთ, რა ხდება მარსზე და ვიცით, რომ იქ არის წყალიც, ჰაერიც და დროდადრო საკმაოდ თბილა კიდეც. მართალია, ვერც ადამიანები, ვერც ჩვენი ცხოველები ვერ შეძლებდნენ მარსზე ცხოვრებას, მათ სული შეეხუთებოდათ ჟანგბადსმოკლებულ, გაიშვიათებულ ატმოსფეროში. ძნელად თუ იხარებდა იქ ჩვენი დედამიწის მცენარეულობაც, მაგრამ ეს სრულებითაც არ ნიშნავს იმას, რომ მარსზე შეუძლებელია სიცოცხლის არსებობა. ცოცხალი არსებანი ხომ ყოველთვის ეგუებიან გარემო პირობებს. დედამიწაზე ისინი შეგუებულნი არიან მკვრივ, თბილ და ნესტიან ატმოსფეროს. მარსზე შესაძლებელია არსებობენ მცენარეთა რაღაც თავისებური სახეები, რომელნიც კარგად არიან შეგუებული გაიშვიათებულ, ცივ და მშრალ ატმოსფეროს.

ყველა ეს მოსაზრება, რასაკვირველია, სწორია, მაგრამ, შეიძლება თუ არა მათი დადასტურება პრაქტიკულად, მარსზე დაკვირვებებით?

მარსის იმ ბნელი სივრცეების სახე და ფერი, რომელთაც ოდესღაც შეცდომით „ზღვები“ უწოდეს, მნიშვნელოვნად იცვლებიან წლის დროთა მიხედვით. გაზაფხულზე ისინი მუქი ყავისფერი ან ნაცრისფრებია, შემოდგომაზე კი ისევ ღია ფერისანი არიან. მრავალი მეცნიერი ფიქრობს, რომ ამ ცვლილებას იწვევს მარსზე ზოგი ისეთი მცენარის, მაგალითად, ხავსებისა და ლიქენების გაჩრობა და გაჩენა, რომლებსაც შეუძლიათ გაუძლონ მარსის მკაცრი ჰავის თავისებურებებს.

სულ ესაა? — იკითხავს იმედგაცრუებული მკითხველი. ბალახი, ხავსი, ლიქენები და სხვა არაფერი? ჩვენ კი გვსმენია მარსზე არხების, ქალაქებისა და გონიერ ბინადართა არსებობის შესახებ. ესენი სადღაა?

დიახ, მარსზე მართლაც ჩანს რაღაც ვიწრო, გრძელი, ძალიან სწორი ზოლები. ამიტომ წინათ, როცა არც მარსის ჰავა იყო ცნობილი და არც მისი ატმოსფეროს შემადგენლობა, ზოგიერთი მეცნიერი ვარაუდობდა, რომ ეს გრანდიოზული სარწყავი არხების მსგავსი ხელოვნური ნაგებობანია, რომლებიც მარსის გონიერი მცხოვრებლების მიერ იყო აგებული. ფიქრობდნენ აგრეთვე, რომ ეს იყო ჩვენთვის უხილავი, ვიწრო არხების გაყოლებაზე ჩარიგებული მცენარეები.

მაგრამ ამჟამად მეცნიერების აზრით, მარსზე არავითარი გონიერი არსებები არ არიან, არხები კი, თუ ისინი მართლაც არსებობენ, სრულიადაც არ წარმოადგენენ ხელოვნურ ნაგებობებს.

არსებობს აზრი, რომ მარსზე საერთოდ არაა არავითარი არხები, არის მხოლოდ ბნელი ლაქების ჯაჭვები. ეს ლაქები დაკვირვებისას ერთმანეთს ერწყმის და ახდენს სწორხაზოვანი არხების შთაბეჭდილებას. ჯერჯერობით მარსის ბუნება და საკითხი მარსზე სიცოცხლის არსებობის შესაძლებლობის შესახებ არასაკმარისადაა შესწავლილი.

დედამიწას ჰყავს თანამგზავრი მთვარე, მერკურისა და ვენერას თანამგზავრები არა ჰყავთ. სამაგიეროდ მარსს ჰყავს ორი „მთვარე“ — ორი ნამცეცა თანამგზავრი. მათ უწოდეს ფობოსი და დეიმოსი, რაც ქართულად „შიშსა“ და „საშინელებას“ ნიშნავს. ერთი მათგანის განივკვეთი 16 კმ-ია, მეორისა — 8 კმ. ფობოსიდან მარსამდე მანძილი სულ

9500 კმ-ს შეადგენს, ხოლო დეიმოსიდან — 23500 კმ-ს. მარსის ირგვლივ ფობოსის გარემოქცევის დრო 7 საათსა და 39 წუთს უდრის. ეს თანამგზავრი, ყველა დანარჩენი მნათობისაგან განსხვავებით, დასავლეთიდან ამოდის და ცის თაღზე, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების მსგავსად, აღმოსავლეთისაკენ მოძრაობს. ეს იმით აიხსნება, რომ იგი მარსის ირგვლივ უფრო სწრაფად გარემოიქცევა, ვიდრე თვით მარსი ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. დეიმოსი მარსის ირგვლივ შემოვლას 16 საათს ანდომებს. რამდენიმე წლის წინ გამოითქვა აზრი, რომ მარსის თანამგზავრები ხელოვნური ციური სხეულებია, რომლებიც ასობით ათასეული წლების წინაა გაშვებული, მაშინ, როცა მარსის ბუნება სულ სხვანაირი იყო და ზედ გონებრივად განვითარებული არსებები ცხოვრობდნენ. მეცნიერები ამ ვარაუდს არ დაეთანხმნენ, რადგან დამამტკიცებელი საბუთები არ გააჩნიათ.

იუპიტერი — პლანეტა-გიგანტი

იუპიტერი ყველაზე დიდი პლანეტაა მზის სისტემის პლანეტებს შორის. იგი მზიდან 777,6 მლნ კმ-ის მანძილზე იმყოფება—ხუთჯერ უფრო შორს, ვიდრე დედამიწა, და თავის გზას მზის ირგვლივ თითქმის დედამიწის 12 წელიწადში გადის.

იუპიტერის დიამეტრი თერთმეტჯერ უფრო დიდია დედამიწის დიამეტრზე, ხოლო მოცულობის მიხედვით იუპიტერისაგან შეიძლებოდა 1312 დედამიწისნაირი სფერო გაკეთებულიყო. ასეთი უზარმაზარი ზომის მიუხედავად, იუპიტერი მასის მიხედვით მხოლოდ 317-ჯერ უფრო დიდია დედამიწაზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ იუპიტერი სრულიად სხვაგვარი ნივთიერებისაგან შედგება, ვიდრე დედამიწა. ჩვენი დედამიწის სფერო აგებულია მძიმე ქვისებრი ქანებისაგან, ხოლო მის ცენტრში ზოგიერთი მეცნიერი კიდევ უფრო მძიმე, ლითონებისაგან შედგენილ ბირთვს ვარაუდობს. იუპიტერს სხვაგვარი აგებულება აქვს: საშუალოდ მისი ნივთიერება წყალზე ცოტათი მძიმეა.

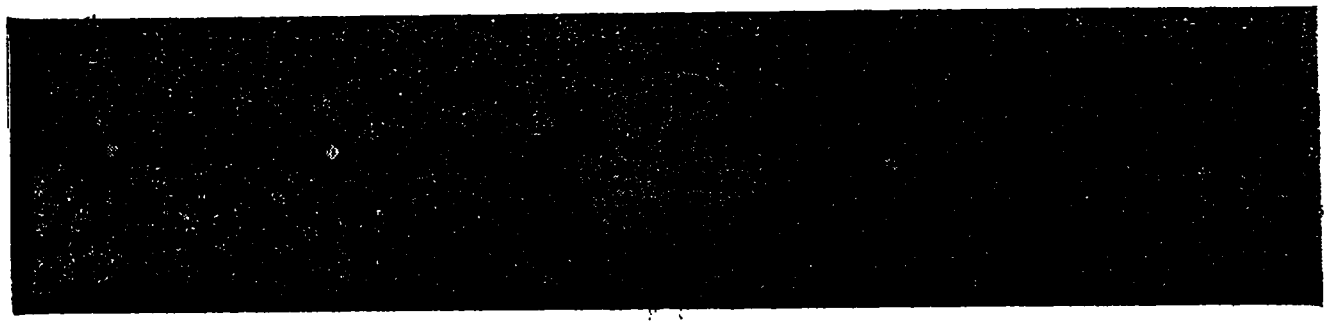
იმ თვეებში, როცა იუპიტერი მოჩანს, მისი პოვნა ცაზე ადვილია, რადგან ვენერას გარდა, ყველა დანარჩენ ვარსკვლავზე და პლანეტაზე მეტად კაშკაშებს. ბრწყინვალების მიხედვით იუპიტერს მზის, მთვარისა და ვენერას შემდეგ ცაზე მეოთხე ადგილი უჭირავს. მხოლოდ მარსს შეუძლია მოგვცეს ასეთივე ძლიერი სინათლე და ისიც მხოლოდ იმ ოშვიათ დღეებში, როცა დედამიწასთან მაქსიმალურადაა მოახლოებული.

იუპიტერს რომ პატარა სამზერი მილით შევხედოთ, შესანიშნავ სურათს დავინახავთ: პლანეტის კაშკაშა სფეროს მახლობლად ჩანს ოთხი ვარსკვლავი, ეს იუპიტერის ყველაზე დიდი თანამგზავრებია. ისინი ყოველდღე სხვადასხვანაირად არიან განლაგებული: ორი მარჯვნივ, ორი მარცხნივ; ხან სამი ერთ მხარეზე, ერთი მეორე მხარეზე; ხან ოთხივე ძეწკვივითაა გამწკრივებული იუპიტერის ერთ მხარეზე. ზოგჯერ ისეც ხდება, რომ რომელიმე ამ თანამგზავრთაგანი იუპიტერის სფეროს ამოეფარება ან პლანეტას წინ მოექცევა და ჭრება მის ფონზე, ან კიდევ მოხვდება იუპიტერის ჩრდილში და მაშინ იუპიტერის ამ თანამგზავრის დაბნელება ხდება. ყველა ამ შემთხვევაში თანამგზავრი უხილავია.

იუპიტერის ეს ოთხივე თანამგზავრი ძალიან დიდია, მათი დიამეტრები 3000-დან 5070 კმ-მდეა, ორი მათგანი ზომით მერკურიზე დიდია, მაგრამ მასით უფრო პატარა. მათ გარდა იუპიტერს ჰყავს კიდევ რვა პატარა თანამგზავრი, რომელთა დანახვა მხოლოდ ძლიერი ტელესკოპებით შეიძლება. ამგვარად, იუპიტერს სულ 12 თანამგზავრი ჰყავს და მთელი ეს დიდი ოჯახი მოძრაობს იუპიტერის კვალდაკვალ მზის ირგვლივ.

მაგრამ, რას წარმოადგენს თვით იუპიტერი? ტელესკოპით რომ დავათვალიეროთ, მაშინვე თვალში მოგვხვდება მისი არაწრიული ფორმა. სხვა ციური სხეულები — მერკური, ვენერა, დედამიწა, მთვარე პოლუსებთან ოდნავ შებრტყელებულია, იუპიტერი კი გაცილებით მეტად.

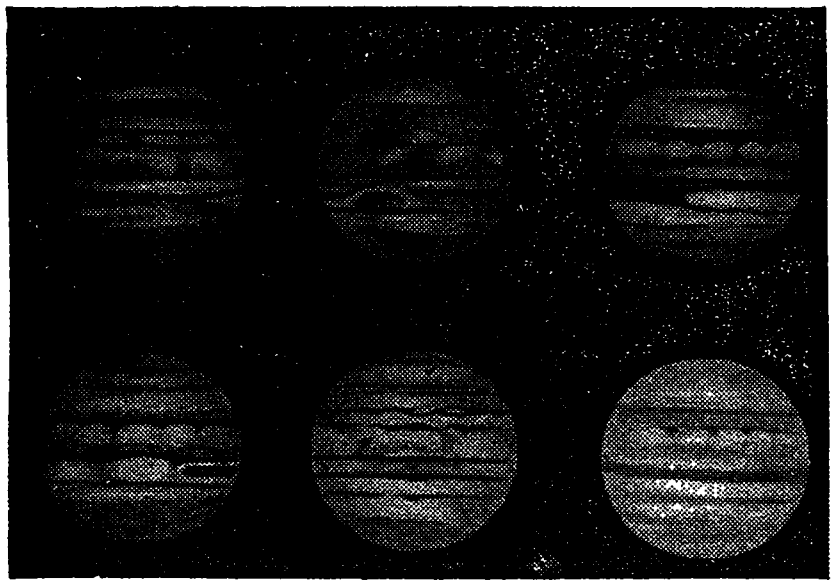
ადვილი შესამჩნევია, რომ იუპიტერი სულ მთლად ზოლებითაა დაფარული; მის მომრგვალო, მაგრამ შესამჩნევად გაჭიმულ დისკოზე ნათელი და ბნელი ზოლები მონაცვლეობენ. ეს ზოლები ყოველ წელიწადს სხვადასხვანაირადაა განლაგებული. მაშასადამე, ეს არც მთებია, არც ოკეანეები და არც ხმელეთი, არამედ მხოლოდ და მხოლოდ სხვადასხვაგვარი შეფერილობის ღრუბლების გრძელი წყება.. ამ მხრივ იუპიტერი ვენერას წააგავს. რასაც ჩვენ მასზე ვხედავთ, ერთიანი ჰაეროვან-ღრუბლოვანი საფარველია, რომელიც ფარავს ყვე-



იუპიტერი თავისი უდიდესი თანამგზავრებით.

ლაფერს, რაც მის ქვეშაა მოქცეული. განსხვავება ისაა, რომ ვენერაზე ეს საფარველი გლუვი, სწორი და ერთგვაროვანია, ხოლო იუპიტერზე — ლაქებიანი და ჭრელი.

ღრუბლების მოძრაობა საშუალებას გვაძლევს ადვილად დავადგინოთ, როგორ და რა სიჩქარით ბრუნავს იუპიტერი საკუთარი ღერძის ირგვლივ. თითოეული ლაქა, თითოეული ღრუბელი მის დისკოზე თანდათანობით გადაადგილდება ერთი კიდი-



ღრუბლების ცვლილება იუპიტერზე.

დან მეორისაკენ. ეს ნიშნავს, რომ იუპიტერი ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ და ამავე დროს ძალიან სწრაფადაც. დადგენილია, რომ დღე-ღამე მასზე მხოლოდ 9 საათსა და 50 წუთს გრძელდება. სწორედ ასეთი სწრაფი ბრუნვით აიხსნება იუპიტერის მნიშვნელოვანი შებრტყელება პოლუსებთან.

მეცნიერებს დიდი ხანია აინტერესებთ იუპიტერის ღრუბლოვანი მძლავრი ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა. აღმოჩნდა, რომ ამ ატმოსფეროში არ არის არც ჟანგბადი, არც წყლის ორთქლი, არც ნახშირორჟანგი — ერთი სიტყვით, არაფერი, რაც დედამიწის ატმოსფეროში შედის. სამაგიეროდ, იქ აღმოჩნდა დიდი რაოდენობით აირი — მეთანი. ეს ის აირია, რომელიც ლურჯი სინათლით იწვის ჩვენს აირქურებში. გარდა ამისა, იქ არის ამიაკი — აირი, რომელიც ბევრისათვის ცნობილია ნიშადურის სპირტის მსგავსი მკვეთრი სუნით. იუპიტერი ძალიან დიდი მანძილითაა დაშორებული მზიდან, ამიტომ მისი ატმოსფეროს ტემპერატურა დაახლოებით 140°-ია ნულს ქვემოთ.

იუპიტერი თავისი თვისებებით იმდენად განსხვავდება დედამიწისაგან, რომ ჩვენთვის ძნელია მისი თავისებური ბუნების გარკვევა. არის მოსაზრება, რომ იუპიტერის ბირთვი ძლიერ შეკუმშული აირებისაგან შედგება.

სატურნი — პლანეტა რგოლით

სატურნი თავისი რგოლით ყველაზე საოცარი პლანეტაა მზის სისტემაში. ფართო, ბრტყელი რგოლი გარს არტყია პლანეტის ეკვატორს. რგოლი დახრილია იმ წრის მიმართ, რომელზედაც სატურნი გარს უვლის მზეს დედამიწის 29,5 წლის განმავლობაში. ამიტომ თავის გზაზე სატურნის მდებარეობის მიხედვით, მისი რგოლი ჩვენსკენ ხან ერთი, ხან მეორე მხრითაა მოქცეული. ყოველ 15 წელიწადში რგოლი წიბოთი დგება ჩვენს მიმართ და მაშინ მისი დანახვა ყველაზე ძლიერი ტელესკოპითაც შეუძლებელია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ რგოლი ძალიან თხელია: მისი სისქე არ აღემატება 10 — 15 კმ-ს.

გამოჩენილმა ასტრონომმა გალილეიმ 1610 წ. აღმოაჩინა, რომ სატურნი რაღაცით იყო გარშემორტყმული. მაგრამ რადგან ძალიან სუსტი ტელესკოპი ჰქონდა, ვერ გაარკვია, სახელდობრ, რას

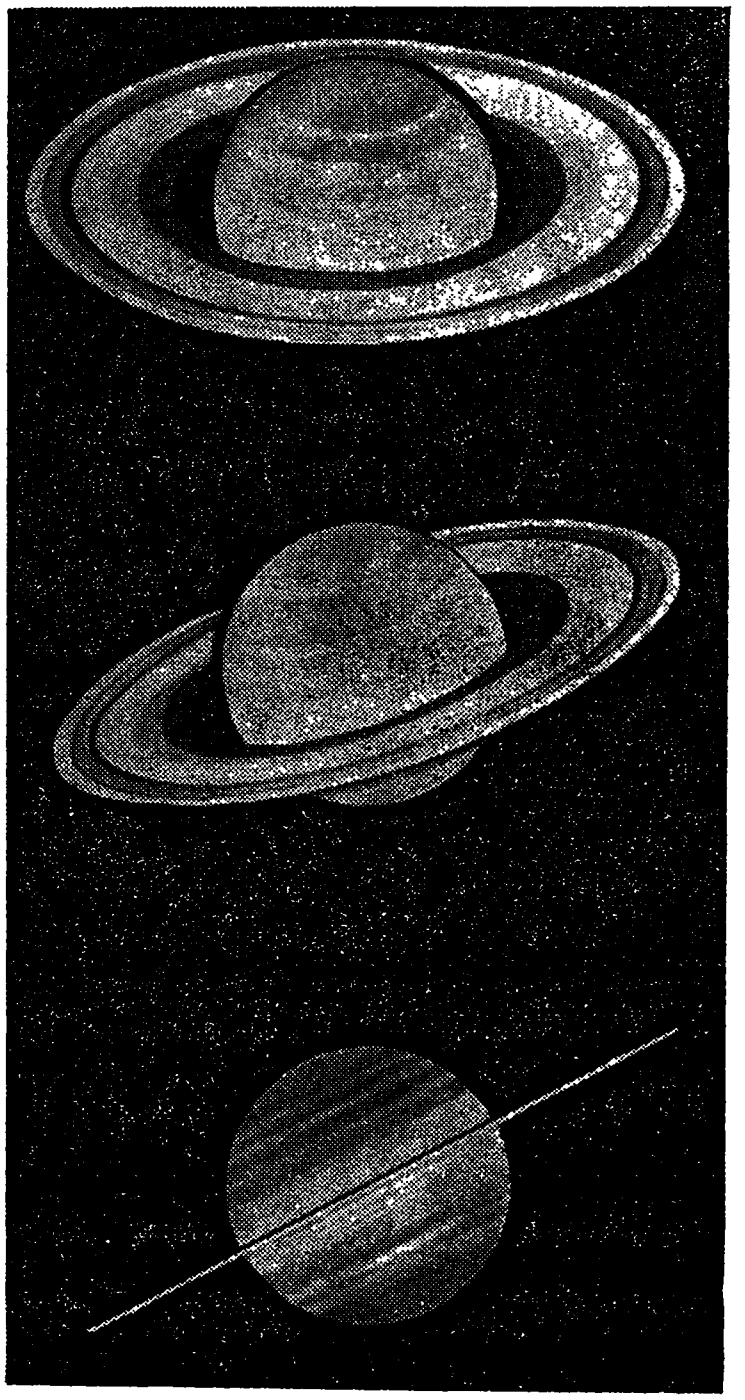
ხედავდა სატურნის მახლობლად. მხოლოდ ნახევარი საუკუნის შემდეგ ჰოლანდიელმა მეცნიერმა ჰიუგენსმა შენიშნა, რომ ეს იყო ბრტყელი რგოლი, რომელიც გარს ერტყა პლანეტას და არსად არ ეხებოდა მას.

უფრო სრულყოფილი ტელესკოპებით სატურნის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ რგოლი იყოფა სამ ნაწილად, თითქოს ერთიმეორეში ჩადგმულ სამ დამოუკიდებელ რგოლად. გარეთა რგოლი გამოყოფილია შუათანისაგან ბნელი შუალედით — ვიწრო შავი ღრიჭოთი. შუათანა რგოლი გარეთაზე უფრო კაშკაშაა. შიგნიდან მას ემიჯნება ნახევრად გამჭვირვალე, თითქოს ნისლოვანი მესამე რგოლი.

რას წარმოადგენს ეს საოცარი რგოლები? იქნებ ეს მართლაც მყარი, გლუვი სიბრტყეებია? არა. მეცნიერებმა დაამტკიცეს, რომ ასეთი ზომის მთლიანი და მყარი რგოლის არსებობა შეუძლებელია: იგი მყისვე დაიშლებოდა, რადგან სატურნი მის სხვადასხვა ნაწილებს სხვადასხვა ძალით მიიზიდავდა. გამოჩენილმა რუსმა ასტროფიზიკოსმა ა. ბელოპოლსკიმ სატურნზე ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგად დაადასტურა, რომ რგოლი მართლაც არაა ერთიანი. აღმოჩნდა, რომ რგოლის სხვადასხვა ნაწილში მოძრაობის სიჩქარე სხვადასხვაგვარია. ეს ნიშნავს, რომ რგოლები შედგება წვრილი ნატეხებისაგან, რომელთაგან თვითეული ისეთი სიჩქარით გარემოიქცევა სატურნის ირგვლივ, როგორიც ექნებოდა ამავე მანძილზე მყოფ პლანეტის თანამგზავრს. თითოეული ასეთი ნატეხი თითქოს დამოუკიდებელი თანამგზავრია, რომელიც თავისთავად გარემოიქცევა სატურნის ირგვლივ.

ეს ნატეხები რაღას წარმოადგენს? ეს ალბათ სხვადასხვა ზომის კენჭებია: რამდენიმე სანტიმეტრიდან ერთ მეტრამდე განივკვეთით, მაგრამ, შესაძლებელია, რგოლებში მტვერიც იყოს. გარდა რგოლებისა, სატურნის ირგვლივ მოძრაობს ცხრა თანამგზავრი, მათგან ერთ-ერთი — ტიტანი — ზომით დაახლოებით მერკურის ეტოლება, მასით კი ცოტათი ნაკლებია მასზე. სხვა თანამგზავრები სხვადასხვა ზომისაა, მაგრამ ტიტანზე მნიშვნელოვნად პატარებია.

სატურნი მოგვაგონებს თავის თანამოძმეს — იუპიტერს. იუპიტერის მრავალი, ჩვენის აზრით, უცნაური თავისებურება კიდევ უფრო მკვეთრად



სატურნის რგოლის ხედის ცვლილება.

აქვს გამოხატული სატურნს. მაგალითად, პოლუსებთან იგი უფრო მეტადაა შებრტყელებული და შედგება საშუალოდ წყალზე ნაკლებად მკვრივი ნივთიერებისაგან.

სატურნი, ისევე როგორც იუპიტერი, გარშემორტყმულია ღრუბლის მთლიანი საფარით, ოღონდ ეს ნისლიანი საბურველი სატურნზე ნაკლებ ჭრელია. სატურნზე თუმცა კი არის ზოლები და ლაქები, მაგრამ ისინი ისე მკვეთრად არ გამოირჩევა, როგორც იუპიტერის დისკოზე.

სატურნის ატმოსფეროს ისეთივე შედგენილობა აქვს, როგორიც იუპიტერისას. იგი შეიცავს მე-

თანს და ამიაკს. მანძილი მზიდან სატურნამდე 1425,6 მლნ კმ-ია, მზის სხივები იქ 90-ჯერ უფრო სუსტად ანათებს, ვიდრე დედამიწაზე და 3,5-ჯერ უფრო სუსტად, ვიდრე იუპიტერზე. მაშასადამე, იქ ყინვა ძალიან დიდია და თითქმის 150 გრადუსამდეა ნულს ქვემოთ. დღე-ღამე სატურნზე 10 საათსა და 14 წუთს გრძელდება.

პლანეტები: ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი

XVIII ს. პლანეტური სისტემა მხოლოდ სატურნამდე იყო ცნობილი. მაგრამ უკვე მაშინ ვარაუდობდნენ, რომ სატურნით არ ამოიწურება პლანეტების სია, რომ არსებობს კიდევ უფრო შორეული პლანეტები, რომელთა დანახვა შეუძლებელია შეუიარაღებელი თვალით.

ეს აზრი ბრწყინვალედ დადასტურდა, როცა 1781 წ. ინგლისელმა ასტრონომმა ჰერშელმა ტელესკოპით ვარსკვლავებზე დაკვირვების დროს შენიშნა ახალი მნათობი, რომელიც ვარსკვლავიერი რუკის მიხედვით იქ არ უნდა ყოფილიყო. ჰერშელი რამდენიმე დღეს აკვირდებოდა ამ მნათობს და დაინახა, რომ იგი ვარსკვლავებს შორის მოძრაობს და, მაშასადამე, პლანეტას წარმოადგენს.

აღმოჩნდა, რომ ეს პლანეტა გარემოიქცევა მზის ირგვლივ 2868 მლნ კმ მანძილზე და სრულ შემოვლას 84 წელს ანდომებს. ახალ პლანეტას ურანი ეწოდა. დროთა განმავლობაში აღმოაჩინეს მისი ხუთი თანამგზავრიც.

ურანზე დაკვირვებისას მეცნიერებმა მის მოძრაობაში ზოგიერთი არაწესიერებანი შენიშნეს, რაც შეიძლებოდა წარმოშობილიყო რომელიღაც უფრო მეტად დაშორებული პლანეტის არსებობით. ეს უცნობი პლანეტა თავისი მიზიდულობით ცოტათი გადააადგილებდა ურანს იმ გზიდან, რომელზეც მას უნდა ემოძრავა მზისა და უკვე ცნობილი სხვა პლანეტების მიზიდულობის ძალით.

იმ დროისათვის დიდ სრულყოფას მიაღწია ასტრონომიის დარგმა, რომელსაც ცის მექანიკა ეწოდება.

გამოთვლების მეთოდები, რომლებითაც სარგებლობენ მეცნიერები ცის მექანიკაში, საშუალებას იძლევა ზუსტად განისაზღვროს შეშფოთებანი, ე. ი. გადახრები რომელიმე პლანეტის მოძრაობაში მეზობელი პლანეტების მიზიდულობის გავლენით.

ჩვეულებრივად ცის მექანიკაში შეშფოთებანი გამოითვლება სხვა პლანეტების უკვე ცნობილი განლაგების მიხედვით. ურანის მოძრაობის შესწავლისას საჭირო იყო შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტა: ვიცოდით შეშფოთებები და უნდა მოგვეძებნა ამ შეშფოთებათა გამომწვევი უცნობი პლანეტის ადგილი. ეს ძნელი ამოცანა გადაწყვიტეს ფრანგმა ასტრონომმა ლევერიემ და ინგლისელმა მეცნიერმა ადამსმა 1845 — 1846 წწ. მათ არც კი შეუხედავთ ცისათვის, ისე გამოითვალეს და დაადგინეს ცაზე ის ადგილი, სადაც უცნობი პლანეტა უნდა ყოფილიყო, და მართლაც, როცა გერმანელმა ასტრონომმა გალემ 1846 წ. ამ ადგილისაკენ მიმართა ტელესკოპი, ახალი პლანეტა აღმოაჩინა. ასე აღმოაჩინეს მზის სისტემის მერვე პლანეტა — ნეპტუნი, თავისი ორი თანამგზავრით. ერთ-ერთი მათგანი — ტრიტონი — ზომითა და მასით ახლოს დგას იუპიტერის დიდ თანამგზავრებსა და სატურნის უდიდეს თანამგზავრ ტიტანთან.

ნეპტუნის აღმოჩენა მეცნიერების დიდი ზეიმი იყო: იგი ნათლად ადასტურებდა მოძრაობისა და მიზიდულობის იმ კანონების სისწორეს, რომლებიც დიდმა ნიუტონმა მოგვცა და რომლებზეც დაფუძნებულია ცის მექანიკაში წარმოებული ყველა გამოთვლა. დროთა განმავლობაში აღმოჩნდა, რომ ურანის მოძრაობაში ყველა უწესრიგობა ნეპტუნის მიზიდულობის გავლენის ბრალი არ იყო. წარმოიშვა აზრი, რომ მზის სისტემაში არსებობს ნეპტუნზე უფრო დაშორებული პლანეტა.

1930 წელს მოძებნეს კიდევ ერთი პლანეტა. ის მზიდან 40-ჯერ უფრო შორს არის, ვიდრე დედამიწა, და მზის ირგვლივ გარემოქცევას თითქმის 250 წელს ანდომებს. ეს მზის სისტემის მეცხრე პლანეტა — პლუტონია.

რას წარმოადგენენ მზიდან ესოდენ დაშორებული პლანეტები?

ურანი და ნეპტუნი ძალზე ჰგვანან ერთმანეთს, ორივე სატურნზე უფრო პატარა, მაგრამ დედამიწაზე გაცილებით დიდია, ორივე შესამჩნევადაა შებრტყელებული, თუმცა არც ისე ძლიერად, როგორც სატურნი. მათი ღრუბლოვანი ატმოსფეროები შეიცავს მეთანს. რაც შეეხება ამიაკს — იგი იქ არ შეიმჩნევა. ეს იმით აიხსნება, რომ იქ გამეფებულ სიცივეში (მინუს 200° და უფრო დაბალი) ამიაკს

მონაცემები პლანეტების ბუნების შესახებ

პლანეტა [1]	დიამეტრი: დედამიწის დიამეტრის ერთეულებში	დიამეტრი: კილომეტრებში	მოცულობა დედამიწის მოცულობის ერთეულებში	მასა დედამიწის მასის ერთეულებში	სიმკვრივე წყლის სიმკვრივესთან შეფარდებით	მზის განათება დედამიწასთან შედარებით	ატმოსფერო	თანამგზავრთა რიცხვი
მერკური	0,39	5000	0,06	0,04	3,8	7	არ არის	არა
ვენერა	0,97	12400	0,92	0,81	4,9	2	მთლიანად ღრუბლებშია	არა
დედამიწა	1,0	12742	1,00	1,00	5,5	1	ნახევრად ღრუბლებშია	1
მარსი	0,53	6770	0,15	0,11	4,0	1/2	გაიშვიათებულია, გამჭვირვალეა	2
იუპიტერი	11,0	139560	1312	316,9	1,3	1/27	მთლიანად ღრუბლებშია	12
სატურნი	9,0	115100	734	94,9	0,7	1/90	მთლიანად ღრუბლებშია	9
ურანი	4,0	51000	64	14,7	1,3	1/400	მთლიანად ღრუბლებშია	5
ნეპტუნი	3,9	50000	60	17,2	1,6	1/900	მთლიანად ღრუბლებშია	2
პლუტონი	?	?	?	0,8	?	1/1600	?	არა

[1] ხუთი პლანეტა: მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი ცნობილია უძველესი დროიდან. ურანი აღმოაჩინა უ. ჰერშელმა 1781 წელს, ნეპტუნი — 1846 წელს გალემ უ. ლევერიეს გამოთვლების საფუძველზე, პლუტონი—1930 წ. ამერიკის ლოუელის ობსერვატორიამ.

მონაცემები პლანეტების მოძრაობასა და გარემოქცევის შესახებ

პლანეტა	საშუალო მანძილი მზემდე: დედამიწიდან მზემდე მანძილის ერთეულებში	საშუალო მანძილი მზემდე: მილიონ კილომეტრებში	მზის გარშემო გარემოქცევის ხანგრძლივობა დედამიწის წლებსა და დღე-ღამეებში	ორბიტაზე მოძრაობის სიჩქარე (კილომეტრები წამებში)	ღერძის გარშემო ბრუნვის პერიოდი დედამიწის დღე-ღამეებსა და საათებში
მერკური	0,387	57,5	88 დღე-ღამე	47,8	88 დღე-ღამე
ვენერა	0,723	108,1	225 „	35,0	200 დღე-ღამეზე მეტი?
დედამიწა	1,0	149,5	1,0 წელი	29,8	1 დღე-ღამე
მარსი	1,52	227,7	1,9 წელი	24,1	24 ს. და 37 წუთ.
იუპიტერი	5,2	777,6	11,9 „	13,0	9 ს. და 50 წუთ.
სატურნი	9,5	1425,6	29,5 „	9,6	10 ს. და 14 წუთ.
ურანი	19,2	2868,1	84,0 „	6,8	10 ს. და 42 წუთ.
ნეპტუნი	30,0	4494,1	164,8 „	5,4	15 ს. და 48 წუთ.
პლუტონი	39,5	5905,0	247,7 „	4,7	6 დღე-ღამე და 9 ს.

აღარ შეუძლია გაზოვან მდგომარეობაში დარჩენა: ის იყინება და ილექება თეთრი თოვლისმაგვარი ნივთიერების სახით.

პლუტონი მკვეთრად განსხვავდება ოთხი გიგანტი პლანეტისაგან. იგი მათზე ბევრად პატარაა: მისი მასა დაახლოებით ისეთივეა, როგორიც დედამიწისა. პლუტონი ჩვენგან ისე შორსაა, რომ ყველაზე ძლიერი ტელესკოპითაც კი ვარსკვლავის ოდენად ჩანს და მისი ზედაპირის დანახვა ჯერჯერობით შეუძლებელია.

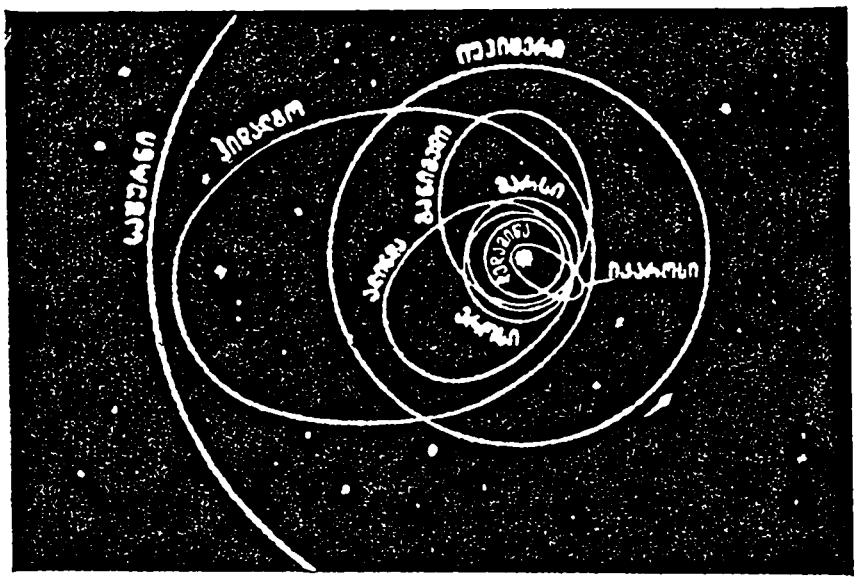
პლუტონის აღმოჩენა მთლიანად მაინც ვერ ხსნის ყველა გადახრას ურანისა და ნეპტუნის მოძრაობაში. არის საფუძველი ვიფიქროთ, რომ პლუტონის ორბიტის იქით, მზის ირგვლივ, კიდევ ბრუნავს პლანეტა, რომელსაც პლუტონზე დიდი მასა აქვს. თუმცა ეს პლანეტა ჯერჯერობით აღმოჩენილი არ არის, მაგრამ მაინც მას პირობითად ტრანსპლუტონი უწოდეს.

ნამცეცა პლანეტები

ჩვენ გიამბეთ მზის სისტემის პლანეტების შესახებ. ეს იყო 9 პლანეტა და 31 თანამგზავრი, მაგრამ ამით როდი ამოიწურება ყველაფერი. პლანეტების სისტემაში არის კიდევ უამრავი მცირე ზომის, მაგრამ დამოუკიდებელი სხეულები. მათ მცირე პლანეტებს (ცთომილებს), ანუ ა ს ტ ე რ ო ი დ ე ბ ს უწოდებენ.

1801 წლის 1 იანვარს იტალიელმა ასტრონომმა პიაცი ცაზე პატარა ვარსკვლავს მიაგნო, რომელიც, როგორც მან დაადგინა, ნელა მოძრაობდა ვარსკვლავებს შორის. ცხადია, რომ ეს იყო მანამდე უცნობი პლანეტა. როდესაც განსაზღვრეს მისი გზა, აღმოჩნდა, რომ იგი მოქცეული იყო მარსისა და იუპიტერის გზებს შორის, ე. ი. დიდი ხნის შესწავლილი და თითქოს კარგად ცნობილი მზის სისტემის ზონაში. ეს იყო საოცარი აღმოჩენა! საოცარი იყო ისიც, რომ ახალი პლანეტა, რომელსაც ცერერა უწოდეს, ძნელად შეიმჩნეოდა: ის ხომ იუპიტერზე უფრო ახლოს და მარსზე ცოტათი შორს მდებარეობდა და გამოდიოდა, რომ ეს იყო რაღაც პატარა ციური სხეული.

მეცნიერები კვლავ გააოცა 1802 წელს აღმოჩენილმა კიდევ ერთმა პლანეტამ — პალადამ, რომლის გზაც აგრეთვე იუპიტერისა და მარსის ორბიტებს შორის გადიოდა. 1804 წელს იქვე აღმოაჩინეს მესამე პლანეტა — იუნონა, ხოლო 1807 წელს მეოთხე — ვესტა. ამგვარად, გაირკვა, რომ მარსისა და იუპიტერის გზებს შორის მოძრაობს რამდენიმე პატარა ციური სხეული.



ზოგიერთი ასტეროიდის ორბიტები.

უფრო გვიან, დაწყებული XIX საუკუნის პირველი ნახევრის ბოლოდან, საგრძნობლად გახშირდა პლანეტების აღმოჩენა, განსაკუთრებით კი გახშირდა მას შემდეგ, რაც პლანეტების მოსაძებნად გამოიყენეს ფოტოგრაფია. ძალიან ბევრი პლანეტა აღმოაჩინეს XX ს. სიმეიზის ობსერვატორიის თანამშრომლებმა ყირიმში. აქ მომუშავე ასტრონომებმა ს. ბელიავსკიმ და გ. ნეუიმინმა აღმოაჩინეს ასამდე მცირე პლანეტა, რომელთა რიცხვი ამჟამად 1600-ზე მეტია.

ცოტა შრომა როდია საჭირო იმისათვის, რომ შევისწავლოთ ამდენი ციური სხეული. თითოეული პლანეტისათვის უნდა განისაზღვროს მოძრაობის გზა, მანძილი მზიდან და მზის ირგვლივ გარემოქცევის დრო. საჭიროა ყოველი წლისათვის გამოითვალოს მცირე პლანეტის მდებარეობა ცაზე, რომ ასტრონომებს შეეძლოთ მისი ხელახლა მონახვა და ფოტოგრაფირება. ამ მნიშვნელოვან საქმეს ემსახურება სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის თეორიული ასტრონომიის ინსტიტუტი ლენინგრადში. ძირითად სამუშაოს იქ რთული გამოთვლითი მანქანები ასრულებენ.

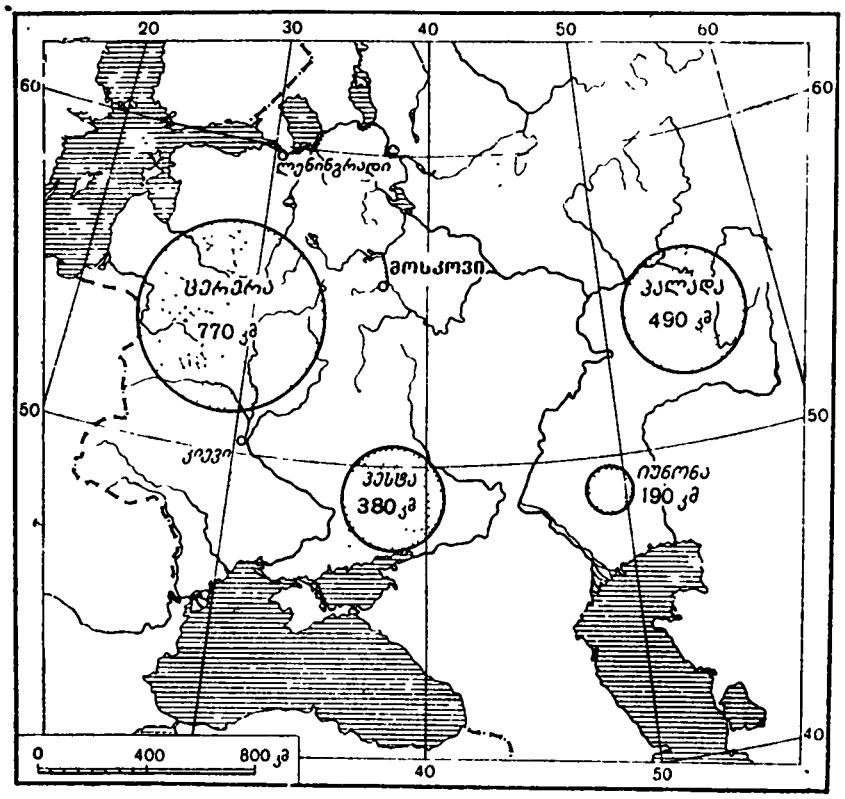
ყოველ მცირე პლანეტას, ანუ ასტეროიდს, რომლის ორბიტაც განსაზღვრულია, აქვს თავისი ნომერი და სახელწოდება. დასაწყისში, როცა ას-

ტეროიდები ჯერ კიდევ ცოტა რაოდენობით იყო ცნობილი, მათ, დიდი პლანეტების მსგავსად, ძველი რომაული ღმერთებისა და ქალღმერთების სახელებს უწოდებდნენ. შემდეგში ასეთი სახელები აღარ ეყოთ და ამჟამად ასტეროიდებს არქმევენ ქალების, ქალაქების, ქვეყნებისა და მეცნიერების სახელებს. ასე მაგალითად, პლანეტებს შორის არის ანა და ვერა, მოსკოვი და ყაზანი, სომხეთი და იტალია, კოპერნიკი და ნიუტონი, რუსთაველი და აბასთუმანი; არის პლანეტა, რომელსაც, ვ. ი. ლენინის პატივსაცემად, ვლადილენა ეწოდება.

ყველა მცირე პლანეტა ყოველთვის მარსსა და იუპიტერს შორის როდი მოძრაობს. ზოგი მათგანი კვეთს მარსის ორბიტას და მზესთან უფრო ახლოს მყოფი პლანეტების ორბიტებსაც კი. მცირე პლანეტა № 1566 — იკაროსი — ზოგჯერ მზესთან უფრო ახლოსაც კი მიდის, ვიდრე მერკური.

მცირე პლანეტებს შორის ყველაზე უფრო დიდის — ცერერას განივკვეთი 770 კმ-ს აღწევს, ხოლო ყველაზე უფრო პატარების — არაწესიერი ლოდების დიამეტრი — დაახლოებით 1 კმ-ს.

ჩვენი პლანეტური სისტემა ერთადერთი როდია. უსასრულო სამყაროში არსებობს ბევრი სხვა ვარსკვლავი, რომლებიც გარშემორტყმულია პლანეტებით. თანამედროვე ტელესკოპების დახმარებით ამ პლანეტების უშუალოდ დანახვა ჯერ კიდევ არ ხერხდება. მაგრამ შორს არაა ის დრო, როცა კაცობრიობა დაეუფლება დაკვირვების უფრო მძლავრ საშუალებებს და მისთვის ხილული გახდება ბევრი სხვა პლანეტური სამყარო.

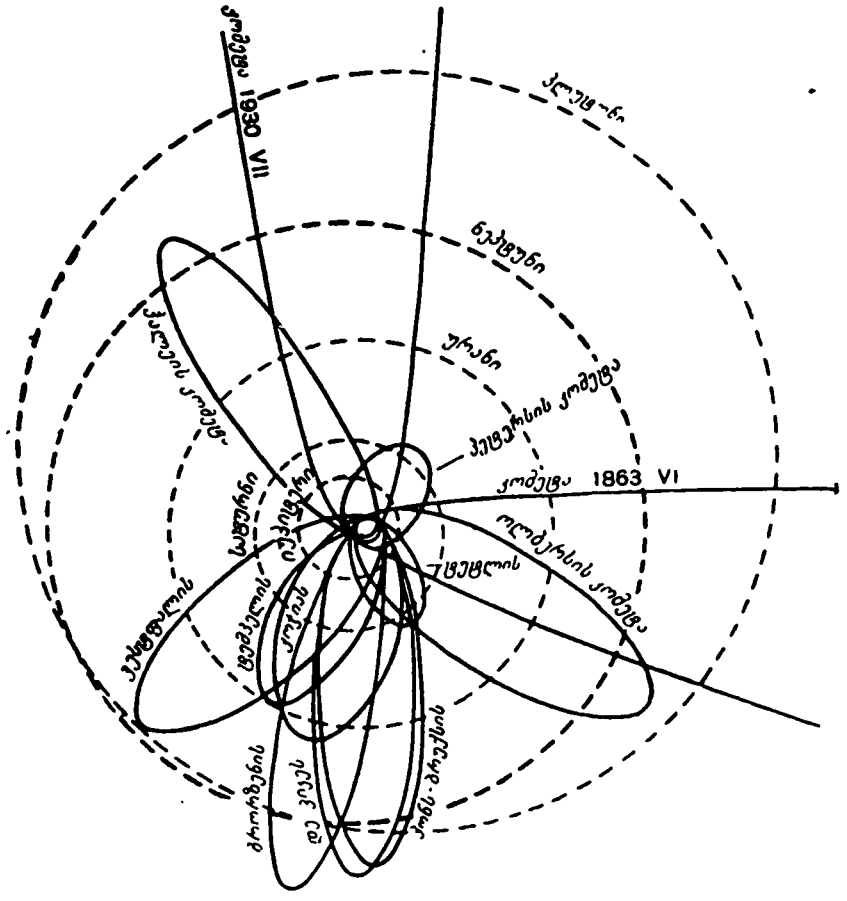


შედარებითი ზომები ყველაზე დიდი ასტეროიდებისა, თუ მათ სსრკ ტერიტორიაზე მოვათავსებთ.

კომეტები

კომეტები ულამაზესი ციური სხეულებია. ცაზე ელვარე კომეტის გამოჩენა ყველას ყურადღებას იქცევს. მომცრო ბირთვის გარემომცველი ნათელი ნისლოვანი გარსები, ზოგჯერ ცის ნახევარზე გაჭიმული გრძელი კუდი, ვარსკვლავთა შორის სწრაფი მოძრაობა — ყველაფერი ეს კომეტებს სხვა ციური მნათობებისაგან ანსხვავებს. კომეტების უჩვეულო იერი და ცაზე მათი მოულოდნელი გამოჩენა მრავალი საუკუნის მანძილზე ყოველგვარი ცრურწმენის წყარო იყო.

ასტრონომებს დღესაც არ შეუძლიათ იწინასწარმეტყველონ ცაზე კაშკაშა კომეტების გამოჩენა. ეს კომეტების მოძრაობისა და აგებულების თავისებურებით აიხსნება. კომეტების უდიდესი ნაწილი მზის ირგვლივ მოძრაობს ძალზე გაჭიმულ და დიდ გზებზე, რომლებიც რამდენიმე ასეულ და ათასეულჯერ აღემატება მზიდან ყველაზე მეტად დაშორებული პლანეტების ორბიტებს. ასეთ ორბიტაზე ერთი შემოვლა მრავალი ათასი და ზოგჯერ მილიონობით წელიც კი გრძელდება. კომეტები ცივი, არამნათი სხეულებია; ისინი ანათებენ და ხილული ხდებიან მხოლოდ მაშინ, როცა მზეს უახლოვდებიან. მზესთან ერთი მიახლოებიდან მეორემდე ათასობით წელი გადის. მაშასადამე, კომეტებს, რომლებიც ახლო ხანებში გამოჩნდებიან, ასტრონომები პირველად დაინახავენ — ადრე ისინი ისეთი დიდი ხნის წინათ გამოჩნდნენ, რომ უძველეს მატიანეებშიც კი შეუძლებელია მათ შესახებ რაიმე



ზოგიერთი პერიოდული კომეტის ორბიტები.

ცნობის პოვნა. ამიტომ არ არის გასაკვირი, რომ ასტრონომები ვერ იწინასწარმეტყველებენ მათ გამოჩენას.

გამონაკლისს წარმოადგენს შედარებით მცირერიცხოვანი მოკლეპერიოდიანი კომეტები, რომლებიც მზეს რამდენიმე წლის ან რამდენიმე ათეული წლის შემდეგ უბრუნდებიან. ასტრონომებმა უკვე აღმოაჩინეს ასამდე ასეთი კომეტა, ამათგან ორმოცდაათი კომეტის ორბიტა კარგადაა შესწავლილი და მათ გამოჩენასაც დიდი სიზუსტით წინასწარმეტყველებენ. სამწუხაროდ, ყველა ასეთი კომეტა მკრთალია და შეუიარაღებელი თვალით არა ჩანს.

მზესთან მიახლოებულ კომეტას, თუკი მას მზიდან შორ მანძილზე შევნიშნავთ, სუსტი ნისლოვანი მრგვალი ლაქის ფორმა აქვს. მისი შუაგული უფრო ნათელია, ვიდრე კიდეები. ხშირად კი იქ ვარსკვლავისმაგვარი ბირთვი მოჩანს. ბირთვი და მისი გარემომცველი გარსები კომეტის თავს შეადგენენ. კომეტის სიკაშკაშე თანდათან იზრდება და ბოლოს მას ნისლოვანი კუდი უჩნდება, რომელიც ყოველთვის მზის საწინააღმდეგო მხარესაა მიმართული. მზესთან მიახლოებისას იზრდება მისი კუდის სიგრძე და უფრო მეტად კაშკაშებს, ხოლო როცა კომეტა უახლოეს მდებარეობაშია მზესთან, მისი კუდი უდიდეს სიგრძეს აღწევს. მზიდან დაშორებასთან ერთად კუდი თანდათან მცირდება, კომეტა კვლავ სუსტ ნისლოვან ლაქად იქცევა და ბოლოს სულ შეუმჩნეველი ხდება.

კომეტის კუდი ყოველთვის ნაკლებ კაშკაშაა, ვიდრე თავი, და ამიტომ სუსტი კომეტების კუდი ზოგჯერ სულაც არ შეიმჩნევა.

მცირე სიკაშკაშისა და ნისლოვანი იერის გამო უკეთესია კომეტების ფოტოგადაღება, ვიდრე თუნდაც დიდი ტელესკოპით მათზე დაკვირვება. კომეტების უმრავლესობას ჩვენს დროში ფოტოსურათების მიხედვით პოულობენ. მაგრამ არის შემთხვევები, როცა ცაზე კომეტებს შეუიარაღებელი თვალითაც აღმოაჩენენ ხოლმე. 1939 წ. მორდვეთის ასსრ-ში ორმა ასტრონომიის მოყვარულმა — ახმაროვმა და იურლოვმა შეუიარაღებელი თვალით ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შეამჩნიეს ახალი კომეტა, რომელიც ახლა მათ სახელებს ატარებს. ჩვენს დროში კომეტათა ცნობილ აღმომჩენად ითვლება ჩეხი ასტრონომი და გეოფიზიკოსი ა. მრკოსი, რომელმაც 15 კომეტა აღმოაჩინა.

როგორც კი ახალ კომეტას აღმოაჩენენ, საერთაშორისო ასტრონომიული დეპეშების ბიუროს მეშვეობით მაშინვე ატყობინებენ მსოფლიოს ყველა ობსერვატორიას. ეს იმიტომ ხდება, რომ ცუდი ამინდის დადგომის შემთხვევაში არ დაეკარგოთ კომეტა და რაც შეიძლება მალე გაზომონ ვარსკვლავთა შორის მისი რამდენიმე მდებარეობა. ეს გაზომვები აუცილებელია კომეტის ორბიტის გამოთვლისათვის და ცაზე მისი შემდგომი მოძრაობის დასადგენად. ყველა ობსერვატორიას ატყობინებენ აგრეთვე უკვე ცნობილი პერიოდული კომეტის გამოჩენას, რომელიც თავის ორბიტაზე მორიგ შემოვლას ამთავრებს და მზეს უახლოვდება.

წარსულში, როცა ახალ კომეტებს მომცრო, დიდი მხედველობის ველის მქონე ტელესკოპებით, ეგრეთ წოდებული კომეტმაძიებლებით ეძებდნენ, ყოველწლიურად დაახლოებით 3 — 5 კომეტა შეინიშნებოდა. ამჟამად, ფოტოგრაფიის ფართოდ გამოყენების საფუძველზე, რაც სუსტ კომეტებზე დაკვირვების საშუალებასაც იძლევა, აღმოჩენილი კომეტების საშუალო რიცხვი წელიწადში დაახლოებით ათამდე გაიზარდა.

კომეტის აღმოჩენისას, პირველად მის მიახლო-

ებით ორბიტას გამოითვლიან. ვარსკვლავებს შორის კომეტის მდებარეობის შემდგომი განსაზღვრა ორბიტის დაზუსტების საშუალებას იძლევა. როდესაც კომეტა მზეს შორდება და უჩინარდება, რომელიმე ასტრონომი ყველა ობსერვატორიის დაკვირვებების მასალებს აგროვებს კომეტის მდებარეობის შესახებ და გამოითვლის „საბოლოო“, უფრო ზუსტ ორბიტას. მაგრამ, თუ კომეტას ხანმოკლე დროში აკვირდებოდნენ და ამ ხნის განმავლობაში მან თავისი გზის მხოლოდ პატარა მანძილი გაიარა, მაშინ ასეთი საბოლოო ორბიტაც კი შეიძლება საკმარისად ზუსტი არ აღმოჩნდეს. პერიოდული კომეტის ორბიტის არაზუსტი გამოთვლის შედეგად ხშირად ჭირს, ანდა სრულიად შეუძლებელია, მისი მონახვა შემდგომი გამოჩენისას.

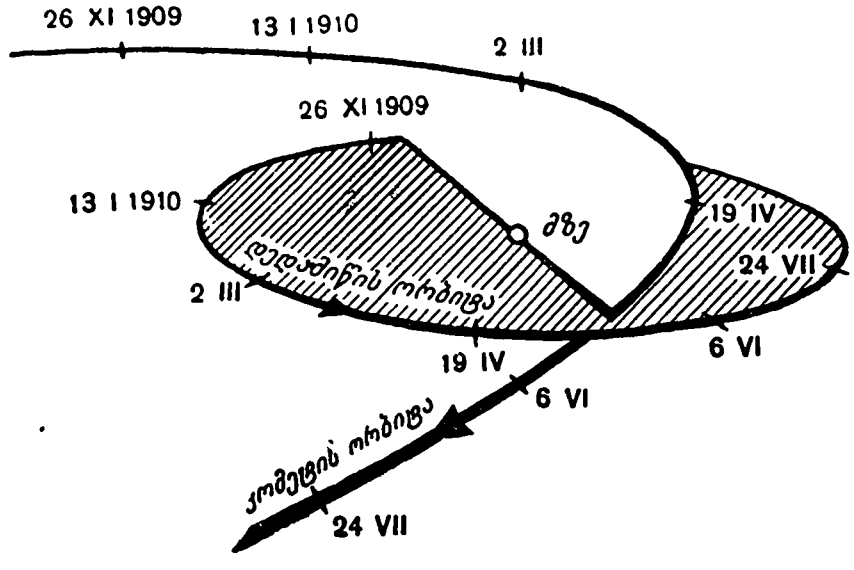
პერიოდული კომეტების მომავალი გამოჩენის წინასწარ გამოთვლისას ასტრონომები გულდასმით ითვალისწინებენ მათ მოძრაობაში გადახრებს, რომლებიც გამოწვეულია პლანეტების, პირველ რიგში, მასიური იუპიტერის მიზიდულობით.

კომეტას მისი აღმომჩენი ადამიანის გვარს არქმევენ, ან, იშვიათ შემთხვევაში, იმ ასტრონომის გვარს, რომელიც ხანგრძლივად შეისწავლიდა ამ კომეტას. გვხვდება ორმაგი და სამმაგი სახელწოდებაც. ეს ისეთი კომეტებია, რომლებიც თითქმის ერთდროულად აღმოაჩინა რამდენიმე დამკვირვებელმა, ანდა ზოგიერთი დაკარგული და კვლავ აღმოჩენილი პერიოდული კომეტაა. მაგალითად, 1957 წ. აღმოჩენილ ერთ-ერთ კომეტას სამი სახელი ჰქვია: ლატიშევ-ვილდ-ბერნჰემის კომეტა.

კომეტათა ორბიტების უახლესი ნაკრები კატალოგი, რომელშიც შესულია 1960 წ. ბიწურულამდე შემჩნეული ობიექტები, 566 სხვადასხვა კომეტის ორბიტას შეიცავს. ყველაზე მოკლე პერიოდი — 2,3 წელი — აქვს ვილსონ-ჰარინგტონის კომეტას. იგი შენიშნეს 1949 წ. მერე კი დაიკარგა. ენკე-ბაკლუნდის (სახელწოდება მიიღო ორი დიდი მეცნიერის გვარის მიხედვით, რომელნიც სწავლობდნენ ამ კომეტის რთულ მოძრაობას) 3,3 წლიანი პერიოდის კომეტას 1786 წლიდან დღემდე აკვირდებიან. ამ ხნის განმავლობაში იგი 55-ჯერ დაუბრუნდა მზეს. 76 წლის პერიოდის მქონე ჰალეის კომეტის ყველა გამოჩენა, თვით უხსოვარი წარსულიდან დაწყებული, უძველესი მატიანეების დახმარებითაა აღრიცხული.

კომეტათა ორბიტები, რომლებიც უზარმაზარ, ძალზე გაჭიმულ ელიფსებს წარმოადგენენ, სხვადასხვა კუთხითაა დახრილი ეკლიპტიკის[1] სიბრტყის მიმართ და საერთოდ სივრცეში სავსებით უწესრიგოდაა ორიენტირებული. ასეთი ორბიტების მქონე კომეტები პლანეტებს შორის სულ სხვადასხვა მიმართულებით მოძრაობენ. მცირე ზომის ორბიტის მქონე პერიოდულ კომეტებს უფრო მოწესრიგებული მოძრაობა აქვთ — ისინი უფრო იმ მიმართულებით მოძრაობენ, საითაც პლანეტები. განსაკუთრებით მოწესრიგებული მოძრაობა აქვთ მოკლეპერიოდიან კომეტებს, რომელთა პერიოდი 10 წელზე ნაკლებია. ისინი ქმნიან ე. წ. იუპიტერის კომეტურ ოჯახს. ყველა ამ კომეტას აქვს ზომიერად გაჭიმული, ეკლიპტიკის მიმართ ოდნავ დახრილი ორბიტა და თვითეული მათგანი, პლანეტების მსგავსად, მზის ირგვლივ პირდაპირი მიმართულებით მოძრაობს. მათი ორბიტების აფელიუმები (მზიდან ყველაზე უშორესი წერტილები) იუპიტერის ორბიტის სიახლოვეს მდებარეობს და ამიტომ მისი მიზიდულობა ძალზე დიდ გავლენას ახდენს მათ მოძრაობაზე.

დროდადრო ესა თუ ის კომეტა რომელიმე მასიურ პლანეტას უახლოვდება, რაც მკვეთრად ცვლის მის ორბიტას. თუკი ამ დროს პერიჰელიუ-



ჰალეის კომეტის ორბიტის მდებარეობა დედამიწის ორბიტის მიმართ (ნაჩვენებია კომეტისა და დედამიწის მდებარეობები თავიანთ ორბიტებზე 1909 — 1910 წწ.).

[1] ეკლიპტიკის სიბრტყე — დედამიწის ორბიტის სიბრტყე, რომლის ახლოსაც სხვა პლანეტების ორბიტებია განლაგებული.

მის მანძილი (მანძილი, როცა კომეტა უახლოეს მდებარეობაშია მზესთან) არსებითად გაიზარდა, შეიძლება კომეტა მიუწვდომელი გახდეს დაკვირვებისათვის. მეორე მხრივ, როგორც გამოთვლებმა გვიჩვენა, მრავალი პერიოდული კომეტა უწინ დიდი პერიჰელიუმის მქონე ორბიტაზე მოძრაობდა და მხოლოდ მას შემდეგ აღმოაჩინეს, რაც იუპიტერთან დაახლოებამ მზესთან უფრო ახლოს მდებარე ორბიტაზე გადაიყვანა.

კომეტის თავის განივკვეთი, ჩვეულებრივ, ათეულ და ასეულ ათას კილომეტრს შეადგენს, მაგრამ 1680 წ. კომეტისა და 1811 წ. პირველი კომეტის თავის განივკვეთი მილიონ კილომეტრსაც აღემატებოდა, ე. ი. თითქმის ისეთი განივკვეთი ჰქონდათ, როგორიც მზეს. კომეტის კუდის სიკაშკაშე თანდათან იკლებს და ამიტომ კუდის ხილული ნაწილის სიგრძე იმ ადგილამდე, სადაც იგი ცის ფონს ერწყმის, ბევრადაა დამოკიდებული ცის სიშავესა, გამოყენებულ ტელესკოპსა და სხვა მიზეზებზე. ჩვეულებრივ, კუდის სიგრძე მილიონ და ათეულ მილიონ კილომეტრს უდრის. მაგრამ 1680 წ. გიგანტურთავიანი კაშკაშა კომეტის კუდი 300 მილიონ კილომეტრზე იყო გადაჭიმული, ე. ი. ორჯერ აღემატებოდა დედამიწიდან მზემდე მანძილს.

კაშკაშა კომეტებზე დაკვირვებების შედეგად საკმაო ცნობები დაგროვდა მათი კუდების შესახებ. სწორედ ამ ცნობების საფუძველზე შეისწავლიან მათ ბუნებას. ჯერ კიდევ კეპლერმა სწორად განსაზღვრა, რომ მზიდან განზე გაშვერილი კომეტის კუდის წარმოშობა გაპირობებულია მზის უკუმგდები მოქმედებით იმ ნივთიერებაზე, რომლისგანაც ეს კუდი შედგება.

სხვადასხვა კომეტის კუდებზე დაკვირვებათა მონაცემების შესწავლისას თ. ბრედიხინმა გასული საუკუნის 70-იან წლებში მზის უკუმგდები ძალის სიდიდის მიხედვით, რომელიც კუდებზე მოქმედებს, კომეტები სამ ჯგუფად დაყო. ზოგიერთ კომეტას, მაგალითად, 1811, 1843, 1874 წწ. კაშკაშა კომეტებს ჰქონდათ მზისგან თითქმის სრულიად მოპირდაპირე მხარეს მიმართული სწორი კუდები (ისინი მხოლოდ ოდნავ იხრებოდნენ, კომეტათა მოძრაობის საწინააღმდეგოდ). ბრედიხინმა დაადგინა, რომ ნაწილაკებზე, რომლებიც ამ კუდებს ქმნიან და რომლებსაც მან I ტიპის კუდები უწოდა, მოქმედებს მზის უკუმგდები ძალა, რომელიც რამდენიმე ათეულჯერ აღემატება მიზიდულობის ძალას.

სხვა კომეტებს (მაგალითად, 1858 წ. დონატის კომეტას) ჰქონდა რქასავით მოხრილი, ფართო კუდები. ამ კუდებში, რომლებსაც II ტიპის კუდები ეწოდება, უკუმგდები ძალა დაახლოებით მიზიდულობის ძალას უდრის ან ერთი-ორჯერ მეტია მასზე.

ბოლოს, გვხვდება III ტიპის კუდები. ისინი, ჩვეულებრივ, მოკლეა და საგრძნობლადაა უკან გადახრილი კომეტისა და მზის შემაერთებელი სწორი ხაზიდან. ამ კუდების ნაწილაკებზე მხოლოდ მცირე უკუმგდები ძალა მოქმედებს — ძალზე უმნიშვნელოდან დაწყებული $^1/_4$ — $^1/_3$ მიზიდულობის ძალამდე.

კაშკაშა კომეტებში, რომლებიც ძირითადად თ. ბრედიხინმა გამოიკვლია, სხვადასხვა ტიპის კუდები თანაბარი სიხშირით გვხვდება. უფრო ხშირად, ბევრ მათგანს ერთდროულად რამდენიმე კუდი ჰქონდა. სუსტ კომეტებში, რომლებიც საბჭოთა ასტრონომმა ს. ორლოვმა (1880 — 1958) გამოიკვლია, ყველაზე ხშირად I ტიპის კუდები გვხვდება, II და III ტიპისა კი — ძალზე იშვიათად.

როგორც სპექტროსკოპულმა დაკვირვებებმა გვიჩვენა, კომეტის თავის გარსისა და კუდების ნათებას გაზობრივი მოლეკულები და მტვერი ქმნის. კომეტის თავი და კუდი სავსებით გამჭვირვალეა. როცა კომეტა დედამიწასა და რომელიმე ვარსკვლავს შორის ექცევა, ამ ვარსკვლავის შუქი ოდნავადაც არ იკლებს, ისე აღწევს ჩვენამდე. მაშასადამე, გაზები და მტვერი კომეტაში ძალზე გაიშვიათებულია. ამას კარგად ეთანხმება ის ფაქტიც, რომ კომეტათა მასები, მიუხედავად მათი უზარმაზარი სიდიდისა, რომელიც ბევრად აღემატება პლანეტების სიდიდეს, მილიარდებჯერ ნაკლებია პლანეტების მასებზე. მაშინაც კი, როცა კომეტა მეტისმეტად უახლოვდება დედამიწის ჯგუფის მომცრო პლანეტებს, არასოდეს შეუნიშნავთ პლანეტის მოძრაობაში თუნდაც მცირეოდენი ცვლილება კომეტების მიზიდულობის გავლენით.

ბევრი კომეტისათვის დამახასიათებელი ვარსკვლავის მსგავსი კაშკაშა ბირთვის სიდიდის გაზომვისას, გამოირკვა, რომ მისი განივკვეთი დედამიწასთან კომეტის მიახლოებისდა მიხედვით კლებულობს. მაშასადამე, ეს კომეტის ნამდვილი ბირთვი კი არაა, არამედ უბრალოდ გაზისა და

მტვრის უფრო კაშკაშა ცენტრალური გროვაა. მიუხედავად ამისა, ეჭვი არ არის, რომ კომეტის თავში უნდა იყოს რაღაც მყარი ნივთიერება — იმ გაზებისა და მტვრის წყარო, რომლებიც განსაზღვრავენ კომეტების გარეგნულ იერსა და ნათებას.

გასული საუკუნის 60-იან წლებში აღმოაჩინეს, რომ ზოგიერთი კომეტა და მეტეორული ნაწილაკების ნაკადი ერთი და იმავე გზით მოძრაობენ. ამის შემდეგ ასტრონომთა უმრავლესობა, იტალიელი ასტრონომის ჯიოვანი სკიაპარელის (1835 — 1910) იდეის მიხედვით თვლიდა, რომ კომეტის ბირთვს წარმოადგენს მეტეორული ნაწილაკების საკმაოდ მკვრივი გროვა, ხოლო ბირთვის დაშლას მოჰყვება მეტეორული ნაკადის შექმნა. მეტეორული ნაკადის კავშირი კომეტების დაშლასთან თვალსაჩინოდ დამტკიცდა უხვი მეტეორული წვიმებით, რომელთაც ადგილი ჰქონდა 1872 და 1885 წწ. იმ დღეებში, როცა დედამიწა კომეტა ბიელის ორბიტას კვეთდა. ამ შემთხვევამდე რამდენიმე ათეული წლით ადრე ბიელის კომეტა ასტრონომთა თვალწინ ორად გაიყო, შემდეგ კი საერთოდ გაქრა. 1950 წ. დაადგინეს, რომ კომეტათა ბირთვები ძირითადად შედარებით მომცრო ყინულოვანი სხეულებია, რომლებიც გაყინული გაზებისაგან შედგებიან. მათში არის ყოველგვარი ყინული — ჩვეულებრივი წყლის ყინულიც, ნახშირორჟანგის მშრალი ყინულიც, იმის მსგავსი, ნაყინის გამყიდველები რომ ხმარობენ, და მრავალი სხვ. კომეტათა ბირთვების განივკვეთები რამდენიმე ასეული მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე აღწევს და ამიტომ ბირთვები უხილავი რჩება.

სხეულები და ნაწილაკები, რომლებიც პლანეტების სისტემის შიდა რაიონში მზის ირგვლივ ბრუნავენ და განუწყვეტლივ ხურდებიან მისი სხივების ზეგავლენით, ქვისმაგვარი არააქროლადი ნივთიერებებისაგან შედგება. ასეთი სხეულების წარმომადგენლებია დედამიწაზე ვარდნილი მეტეორიტები. მაგრამ პლანეტების სისტემის გარეცივ რაიონებში, საიდანაც სწორედ კომეტები მოდიან, მომცრო სხეულებს ყინულოვანი შედგენილობა აქვთ.

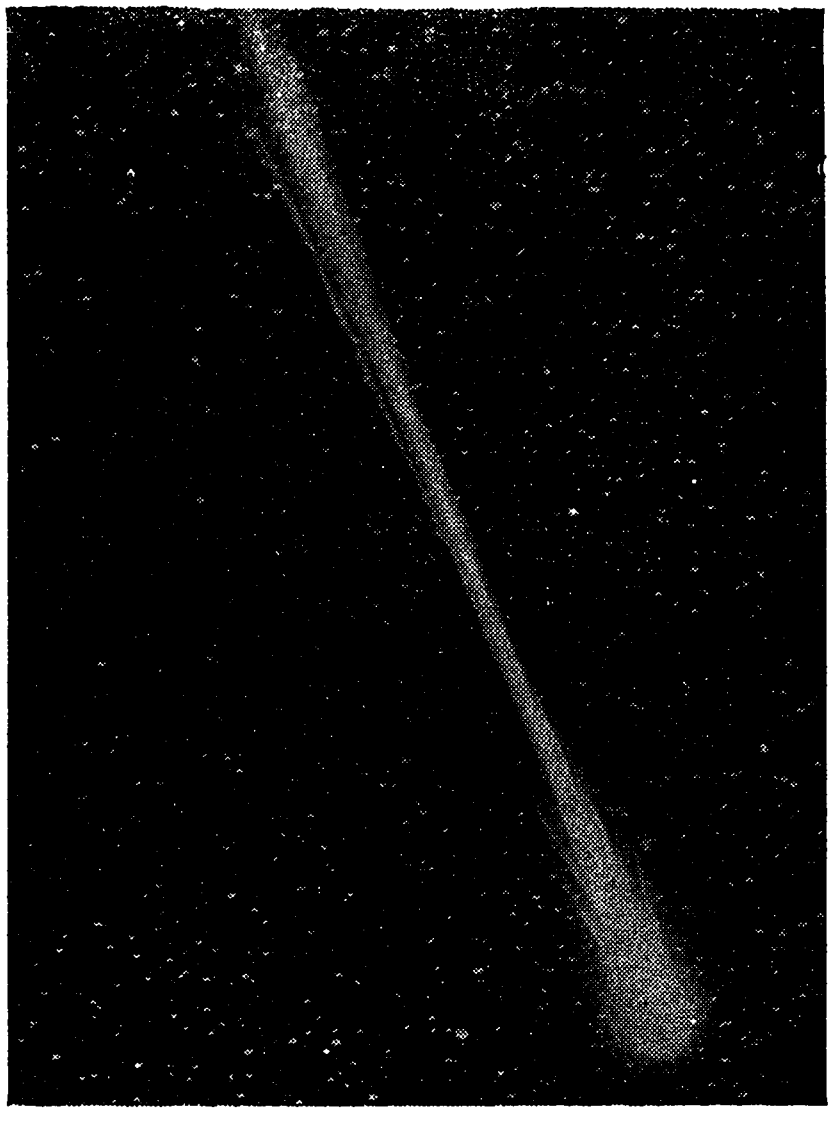
როდესაც კომეტის ყინულოვანი ბირთვი მზეს უახლოვდება და მისი სხივებით თბება, გაზები ორთქლდება და მყარი მდგომარეობიდან პირდაპირ გაზობრივში გადადის (ნაფტალინის აორთქლების მსგავსად). სანამ კომეტა შორსაა მზიდან, გაზები სუსტად ორთქლდება, ჩვენ მათ მხოლოდ ბირთვის ირგვლივ ვხედავთ, სადაც უფრო მეტი სიმკვრივეა. ე. ი. ჩვენ ვხედავთ მხოლოდ კომეტის თავს თავისი ნისლოვანი გარსებითურთ. ხოლო როცა კომეტა უფრო უახლოვდება მზეს და აორთქლება ძლიერდება, მაშინ მზის უკუმგდები ძალით დევნილი გაზების გაიშვიათებული ერთი ან რამდენიმე ნაკადი მოჩანს ხოლმე, ე. ი. კომეტის ერთი ან რამდენიმე კუდი.

გაყინული გაზების გარდა, კომეტის ბირთვში არის აგრეთვე არააქროლადი ქვისმაგვარი ნივთიერებები. მათგან წარმოიშვება მტვრის ნაწილაკები და უფრო დიდი ნაწილებიც, რომლებიც აორთქლებული გაზის ნაკადებით გატაცებულნი ბირთვს ტოვებენ. კომეტათა ბირთვები იმდენად პატარებია, რომ სიმძიმის ძალა მათ ზედაპირზე ათეულ ათასჯერ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწაზე. ამიტომ გაზების სუსტ ნაკადსაც კი შეუძლია აშალოს რამდენიმე მილიმეტრის ზომის მყარი ნაწილაკები და რამდენიმე სანტიმეტრის სიდიდის ფხვიერი ნაწილაკები. აშლილ ნაწილაკებს ბირთვის მიმართ ძალზე მცირე სიჩქარე აქვთ და ამიტომ ისინი ისეთ ორბიტებზე მოძრაობენ, რომლებიც ძალზე ახლოა თვით კომეტის ორბიტასთან. ზოგიერთი მათგანი უსწრებს კომეტას და სულ უფრო და უფრო წინ მიიწევს, ზოგი კი სულ უფრო ჩამორჩება. რამდენიმე ბრუნის შემდეგ იქმნება ნაწილაკთა ნაკადები, რომლებიც კომეტა-წარმომშობის მთელი ორბიტის გასწვრივ ნაწილდება. სწორედ ესაა კომეტური ბირთვის დაშლის შედეგად მეტეორული ნაკადის შექმნის პროცესი.

მაშინ, როდესაც წვრილი ნაწილაკები აიშლება, უფრო დიდები ბირთვის ზედაპირზე რჩება. ამ გზით პერიოდულ კომეტებს მზესთან რამდენჯერმე მიახლოების შემდეგ ზედაპირზე ექმნებათ ქერქი, რომელიც გახურებისგან იცავს შიდა ნაწილებს და ყინულების აორთქლებას აფერხებს. ასეთი დამცველი ქერქის გარეშე ენკეს კომეტა მზეს 50-ჯერ ვერ შემოუვლიდა, როცა იგი ყოველი მიახლოებისას 3-ჯერ ნაკლებ მანძილზე მიდის მასთან, ვიდრე დედამიწიდან მზემდეა. მიუხედავად ამისა, კომეტის ყოველ მიახლოებას მზესთან თან ახლავს გაზების აუნაზღაურებელი დანაკარგი. ამიტომ ასეთმა კომეტამ ადრე თუ გვიან უნდა ამოწუროს გაზების მარაგი და დაიშალოს. რაც უფრო მოკლეა კომეტის გარემოქცევის პერიოდი,

მით უფრო ხშირად უბრუნდება იგი მზეს და მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს მისი დაშლის პროცესი.

კომეტა რომ უბრალოდ ირეკლავდეს მზის სხივებს, მაშინ მზიდან მანძილის ცვალებადობისას მისი შეჯამებული სიკაშკაშე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად შეიცვლებოდა. სინამდვილეში ნათება კომეტის თავში არსებული გაზებით განისაზღვრება და მათ რაოდენობაზეა დამოკიდებული. თავის მხრივ გაზების რაოდენობა დამოკიდებულია ბირთვიდან მათი გამოყოფის სიჩქარეზე, ეს სიჩქარე კი — ბირთვის ტემპერატურაზე, რომელსაც მზიდან კომეტის მანძილი განსაზღვრავს. ამიტომ გამოდის, რომ კომეტის შეჯამებული სიკაშკაშე გაცილებით სწრაფად იზრდება მზესთან მიახლოებისას, ვიდრე მანძილების შებრუნებული კვადრატების კანონის მიხედვით. შეჯამებული სიკაშკაშე მზესთან 2-ჯერ მიახლოებისას 15-20-ჯერ იზრდება და, პირიქით, მანძილის ზრდასთან ერთად ასევე სწრაფად მცირდება.



იურლოვ-ახმაროვ-ჰასელის (1939) კომეტის ფოტოსურათი. კომეტას ჰქონდა I ტიპის ჭავლისებური კუდი.

კომეტებში გაზების ნათება მზის სინათლის ხელმეორე გამოსხივებაა. ამასთან ერთად, მეორედ გამოსხივდება მხოლოდ გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივები, რომლებიც მოცემულ მოლეკულას ახასიათებს.

როგორც სპექტრების გამოსხივება გვიჩვენებს, თითქმის ყოველი კომეტის თავის გამოსხივებას ნეიტრალური ორი ან სამატომიანი მოლეკულები იწვევს. მთავარ ნათებას C_2 მოლეკულები იძლევა. ამ მოლეკულების გამოსხივება სპექტრის ხილულ უბანში მდებარეობს, მათ შორის მწვანე უბანშიც, რომლის მიმართაც თვალი განსაკუთრებით მგრძნობიარეა.

კომეტების სპექტრების ფოტოგრაფიული მეთოდით შესწავლისას კომეტებში აღმოაჩინეს შხამიანი გაზის ციანის (CN) მრავალრიცხოვანი მოლეკულა. მათი გამოსხივება ხდება სპექტრის უხილავ ულტრაიისფერ ნაწილში. როცა შესაძლებელი გახდა ულტრაიისფერი სხივების ღრმად შესწავლა, აღმოაჩინეს OH (ჰიდროქსილის) და NH მოლეკულების გამოსხივება, ხოლო წითელი სხივებისადმი მგრძნობიარე ფოტოფირფიტების გამოყენების შემდეგ HN_2 მოლეკულების გამოსხივება. შეინიშნება აგრეთვე სამატომიანი ნახშირბადის (C_3) მოლეკულებისა და ნახშირწყალბადის (CH) მოლეკულების სუსტი გამოსხივება.

მზესთან მიახლოებულ კომეტათა თავებში ზემოთ ჩამოთვლილი 7 მოლეკულის გამოსხივების გარდა, ზოგიერთი ლითონის ატომის გამოსხივებაც ჩნდება. 0,7-0,8 ასტრონომიულ ერთეულზე უფრო ნაკლებ მანძილებზე თავის სპექტრში ჩნდება ნატრიუმის ყვითელი ხაზი. ხოლო იმ კომეტებში, რომლებიც მზეს 0,01 ასტრონომიულ ერთეულზე ნაკლები მანძილით უახლოვდებიან (მაგალითად, 1882 წ. მეორე კომეტა), შეინიშნება რკინის, ნიკელისა და, ალბათ, ქრომის ხაზები.

I ტიპის კუდები იონიზებული გაზებიდანაა შექმნილი. მათი მთავარი ნათება წარმოიშვება ნახშირჟანგისა (CO) და აზოტის (N_2) მოლეკულებისაგან, რომლებსაც მოწყვეტილი აქვთ თითო ელექტრონი. გარდა ამისა, შეინიშნება ნახშირორჟანგა გაზის (CO_2) და ნახშირწყალბადის (CH) იონიზებული მოლეკულების სუსტი გამოსხივება.

II ტიპის კუდები შედგება ისეთივე ნეიტრალური მოლეკულებისაგან, რომლებიც თავში შეინიშნება, III ტიპის კუდები კი — სხვადასხვა სიდიდის მტვრის ნაწილაკებისაგან. ზოგიერთი ასტრონომი არ ეთანხმება II ტიპის კუდების გაზობრივ ბუნებას და მიაჩნია, რომ ისინიც მტვრის ნაწილაკებისაგან შედგება, ოღონდ აქ ეს ნაწილაკები განსაკუთრებით მცირე ზომისაა.

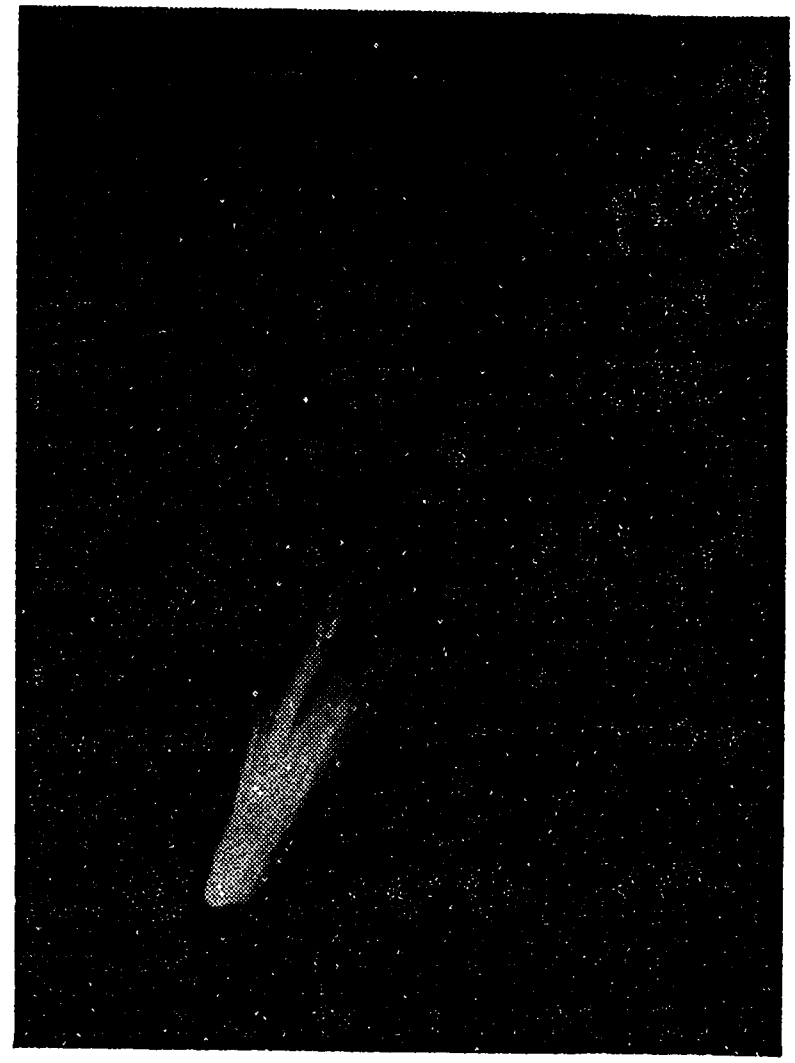
კომეტებში არსებული მოლეკულების სია აშკარად არასრულია. ჩვენთვის მხოლოდ ისინია ცნობილი, რომლებიც საკმაოდ ნათელ გამოსხივებას იძლევიან და თანაც სპექტრის იმ ნაწილში, რომელიც დაკვირვებისათვის მისაწვდომია. კომეტაში შენიშნული ყველა მოლეკულა ქიმიურად არამდგრად რადიკალს წარმოადგენს — მათ ახასიათებთ თავისუფალი, უჯერი ვალენტობა და ამიტომ უფრო რთულ მოლეკულებად შეერთებისაკენ მიისწრაფვიან. მაგრამ კომეტათა თავები და კუდები ისეა გაიშვიათებული, რომ მოლეკულათა დაჯახება (რომლის დროსაც შეიძლება შეერთება) ძალზე იშვიათად ხდება და ამის წყალობით ქიმიურად არამდგრადი რადიკალები საკმაოდ დიდხანს ძლებენ.

თ. ბრედიხინს სიკვდილამდე არ შეუცვლია თავისი შეხედულება, რომ მზის უკუმგდებ მოქმედებას, რომელიც კომეტათა კუდების წარმოშობის მიზეზია, ელექტრონული ბუნება აქვს. ეს აზრი პირველად ლომონოსოვმა გამოთქვა, როდესაც კომეტების შესახებ წერდა: „... სუსტი ნათებისა და კუდების მიზეზი ჯერ საკმაოდ კარგად არაა შესწავლილი, მე მას ეჭვს გარეშე ელექტრულ ძალას მივაწერ“.

გამოჩენილმა რუსმა ფიზიკოსმა პ. ლებედევმა (1866 — 1912) XIX და XX საუკუნეების მიჯნაზე დაამტკიცა, რომ მტვრის უმცირეს ნაწილაკებს სინათლე აწვება. ამავე დროს თეორიული მოსაზრებები მიუთითებდნენ, რომ სინათლე დაწოლას უნდა ახდენდეს გაზობრივ მოლეკულებზეც.

ჩვენს დროში უკვე ეჭვს არ იწვევს, რომ კომეტებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ელექტრული და სინათლის წნევის ძალები. ნეიტრალურ მოლეკულებსა და მტვრის ნაწილაკებზე მოქმედი უკუმგდები ძალები მთლიანად მზის სინათლის დაწოლით განისაზღვრება. კომეტის ბირთვიდან განუწყვეტლივ გამოიყოფა გაზები, სანამ იგი პლანეტების სისტემის შიდა რაიონებში მოძრაობს და საკმაოდ ხურდება მზით. როცა ნეიტრალური მოლეკულები ბევრია, ისინი მხოლოდ კომეტის თავის ფარგლებში როდი ჩანან. ჩანს აგრეთვე მოლეკულების ნაკადი, რომელიც სინათლის წნევით განიდევნება, ე. ი. II ტიპის კუდი. იმ მყარი ნაწილაკების რიცხვი, რომლებიც გაზებთან ერთად განუწყვეტლივ ტოვებენ ბირთვს, იმდენად მცირეა, რომ ვერ ქმნის შესამჩნევ მტვროვან კუდს. მაგრამ ზოგჯერ ბირთვიდან სხვადასხვა ზომის მტვრის ნაწილაკების მთელი ღრუბელი ამოიჭრება ხოლმე. დიდ ნაწილაკებზე მზის უკუმგდები ძალა სუსტად მოქმედებს და ისინიც ბირთვთან რჩებიან, ხოლო უფრო მცირეებზე ამ ძალის მოქმედება მეტია და მათ ბირთვს აშორებს. ამრიგად, მტვრის ნაწილაკთა ღრუბელი სიგრძეში იჭიმება და ქმნის III ტიპის კუდს. რამდენიმე დღის შემდეგ მტვრის ნაწილაკები იფანტება და III ტიპის კუდიც ქრება.

სხვაგვარი მდგომარეობაა I ტიპის კუდებში.



მრკოსის (1957) კომეტის ფოტოსურათი. ჩანს პირველი ტიპის ჰავლისებური და II ტიპის გათხაპნილი კუდები.

ამ კუდებში მოქმედი უკუგდების დიდი ძალა, მათი ჭავლისებური აგებულება და სხვა თავისებურებები სინათლის წნევით არ აიხსნება. ეს კუდები იონიზებული, ე. ი. ელექტრულად დამუხტული მოლეკულებისაგან შედგება. თანამედროვე შეხედულებებით, რომლებიც ჯერ ბოლომდე დამუშავებული არაა, I ტიპის კუდები წარმოიშვება იონიზებული კომეტური მოლეკულებისა და მზის მიერ გამოსხივებული დამუხტული კორპუსკულების ნაკადების ურთიერთმოქმედების შედეგად.

ყველაზე დიდი, ძალზე წაგრძელებული კომეტური ორბიტების გულდასმით შესწავლის შედეგად ჰოლანდიელმა ასტრონომმა ოორტმა 1950 წ. მიუთითა, რომ ახლა მზის სისტემა გარშემორტყმულია კომეტების უზარმაზარი ღრუბლით (უფრო სწორად, კომეტათა ბირთვებით). ეს ღრუბელი ვრცელდება მზიდან 100-200 ათასი ასტრონომიული ერთეულის მანძილამდე (15-30 ტრილიონი კმ) და შეიცავს დაახლოებით 10^{11} (ე. ი. დაახლოებით ას მილიარდ) კომეტას. თითქმის ყველა ისინი მოძრაობენ ისეთ ორბიტებზე, რომელთა პერიჰელიუმები დიდადაა დაშორებული პლანეტათა ორბიტების საზღვრებს. ისინი არ უახლოვდებიან მზეს და არ ხარჯავენ გაზების მარაგს. თავისი ორბიტების აფელიუმების რაიონში ამ კომეტურ ბირთვებს იზიდავენ მზესთან ახლო მდებარე ვარსკვლავები, რომლებიც მათ მოძრაობას და, მაშასადამე, მათ ორბიტებსაც ცვლიან. ხდება ხოლმე, რომ სხვა ვარსკვლავის მიზიდულობა კომეტას მზისგან მოწყვეტს, ამიტომ, ღრუბელში კომეტათა მარაგი თანდათან მცირდება. დროდადრო შეცვლილი ორბიტა ისეთ სახეს იღებს, რომ კომეტური ბირთვი მზის მიდამოებში მიჰყავს, ის იწყებს გაზების გამოყოფას და ჩვენ შეგვიძლია შევნიშნოთ კომეტა, რომელიც ძალზე წაგრძელებულ, თითქმის პარაბოლურ ორბიტაზე მოძრაობს.

პლანეტებს შორის ფრენისას კომეტებზე მოქმედებს ამ პლანეტების მიზიდულობის ძალა, რაც კვლავ რამდენადმე უცვლის მათ ორბიტებს. იმ შემთხვევაში, როცა პლანეტების მიზიდულობა ამცირებს კომეტის სიჩქარეს, ორბიტის ზომა მცირდება, კომეტა უფრო ხშირად იწყებს მზესთან დაბრუნებას, პლანეტების მიზიდულობის გავლენით კვლავ და კვლავ იცვლის თავის ორბიტას და მზის სითბოს მოქმედებით კარგავს გაზებს.

კომეტების ღრუბელი, რომელიც მზის სისტემას ერტყმის, გაჩნდა პლანეტების წარმოშობის ეპოქაში — რამდენიმე მილიარდი წლის წინათ — ალბათ პლანეტა-გიგანტების ფორმირების დროს მორჩენილი ნივთიერებებისაგან.

მრავალ სხვადასხვა კომეტურ ორბიტას შორის არის ისეთებიც, რომლებიც პლანეტების ორბიტებს, მათ შორის დედამიწის ორბიტასაც, კვეთენ. ამიტომ მოსალოდნელია პლანეტებისა და კომეტური ბირთვების შეტაკებები. ყველა მონაცემის მიხედვით რომ ვიმსჯელოთ, ტუნგუსკის მეტეორიტის აფეთქება სინამდვილეში იყო დედამიწის შეტაკება არა ჩვეულებრივ დიდ მეტეორიტთან, არამედ დაახლოებით 100 მ განივკვეთის მჭონე მომცრო კომეტის ბირთვთან.

მეტეორები და მეტეორიტები

მეტეორები ატმოსფერული მოვლენაა

ძნელად თუ მოიძებნება ადამიანი, რომელსაც არ დაენახოს უღრუბლო ღამეში როგორ გაიქროლებს ხოლმე ცაზე ვარსკვლავი და მყისვე გაქრება, თითქოს თავისი ადგილიდან მოწყდაო. ასეთ „მოწყვეტილ ვარსკვლავს“ ბერძნული სიტყვა მ ე ტ ე ო რ ი ჰქვია, რაც ქართულად „ჰაერში მომხდარს“ ნიშნავს.

მეტეორები ცაზე მაშინ ჩნდება, როცა დედამიწის ატმოსფეროში უზარმაზარი სიჩქარით შეიჭრება უწვრილესი მყარი ნაწილაკები, რომელთა წონა გრამის უმცირეს ნაწილს შეადგენს. ასეთი ნაწილაკები ურიცხვი რაოდენობით მოძრაობს საპლანეტათშორისო სივრცეში და თითქმის განუწყვეტლივ ეჯახება დედამიწას. მათი მოძრაობის სიჩქარე ძალიან დიდია, 73 კმ/წმ-ში. ე. ი. გაცილებით მეტია, ვიდრე ტყვიის ან ჭურვის სიჩქარე. მეტეორუ-

ლი ნაწილაკების სიჩქარე დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებისა და კოსმოსური ხომალდების სიჩქარესაც კი აჭარბებს.

მეტეორული ნაწილაკი, რომელიც უდიდესი სიჩქარით შეიჭრება დედამიწის ატმოსფეროში, ხვდება ჰაერის ძალიან დიდ წინააღმდეგობას, მაღალ ტემპერატურამდე ხურდება, ისე რომ დუღილს იწყებს და გარდაიქმნება გავარვარებულ აირად, რომელიც სწრაფად იფანტება ჰაერში. აი, სწორედ ამ გავარვარებულ მანათობელ გაზს ვხედავთ ცაზე სწრაფად მჭროლავი მეტეორის სახით ამრიგად, მეტეორული ნაწილაკები დედამიწის ზედაპირამდე ვერ აღწევს.

კაშკაშა მეტეორის გავლის შემდეგ ცაზე რამდენიმე წამის განმავლობაში ჩანს სუსტად განათებული წვრილი ზოლი. ეს ცალკეული მოლეკულების ნათებაა ჰაერში.

ყველაზე ხშირად მეტეორები შეინიშნება ატმოსფეროს ფენაში დედამიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 80 — 120 კმ სიმაღლეზე.



მეტეორის ფოტოსურათი.

მეტეორული ნაკადები

ყოველწლიურად არის ღამეები, როცა ძალზე ბევრი მეტეორი მოჩანს. ამ დროს მეტეორები ცაზე ერთმანეთის მიყოლებით ჩნდება დროის მცირე შუალედებში (5 — 10 წუთი). თითქოს ისინი ერთი ადგილიდან გამოდიან და იშლებიან ყველა მიმართულებით.

ცის იმ ადგილს, საიდანაც მეტეორები გამოდიან, ლათინური სიტყვა რ ა დ ი ა ნ ტ ი ეწოდება, რაც „გამომსხივებელს“ ნიშნავს. ამ დროს დედამიწა ხვდება არა ერთ-ორ მეტეორულ ნაწილაკს, არამედ ასეთი ნაწილაკების მთელ გროვას, ანუ ღრუბელს — მ ე ტ ე ო რ უ ლ ნ ა კ ა დ ს. ნაკადის ყველა ნაწილაკი სივრცეში ერთმანეთის პარალელურად მოძრაობს და განშლადი სახით მხოლოდ პერსპექტივაში გვეჩვენება, როგორც რკინიგზის რელსები, რომლებიც თითქოს შორეული წერტილიდან იშლება, სინამდვილეში ერთმანეთის პარალელურია.

მეტეორულ ნაკადებს იმ თანავარსკვლავედების სახელწოდებები მისცეს, რომლებშიც მათი რადიანტები მდებარეობს. ქვემოთ მოგვყავს შედარებით დიდი მეტეორული ნაკადების სია, იმ თანავარსკვლავედების აღნიშვნით, რომლებსაც ისინი მიეკუთვნება.

სწავლულებმა და მათ შორის იტალიელმა ასტრონომმა სკიაპარელიმ და რუსმა ასტრონომმა თ. ბრედიხინმა დიდი ხანია დაამტკიცეს, რომ მეტეორული ნაკადები კომეტების დაშლის პროცესში წარმოიქმნება, ხოლო მეტეორული ნაწილაკები ნაკადის სახით განიბნევა კომეტის ორბიტის გასწვრივ. ამ ორბიტის გადაკვეთისას დედამიწა ხვდება გაფანტულ მეტეორულ ნაწილაკებს, რომლებიც უხვად იჭრებიან მის ატმოსფეროში.

ხანდახან მეტეორული ნაკადი ძალზე უხვია და მაშინ ნამდვილი „ვარსკვლავთ წვიმა“ მოდის. ასეთ დროს ყოველ წუთში ცაზე ასობით და ათასობით მეტეორი ჩნდება. ასეთი „ვარსკვლავთ წვიმა“ ჩან-

მეტეორული ნაკადის დედამიწასთან შეხვედრის თარიღი	მეტეორული ნაკადის სახელწოდება	თანავარსკვლავედი
2-დან 4 იანვრამდე	კვადრანტიდები	გველეშაპის
18-დან 24 აპრილამდე	ლირიდები	ლირის (ქნარის)
28 აპრილიდან 5 მაისამდე	აკვარიდები	მერწყულის
5-დან 18 აგვისტომდე	პერსეიდები	პერსევსის
10 ოქტომბერს	დრაკონიდები	გველეშაპის
20-დან 24 ოქტომბრამდე	ორიონიდები	ორიონის
15-დან 17 ნოემბრამდე	ლეონიდები	ლომის
10-დან 18 დეკემბრამდე	ჰემინიდები	მარჩხვის

და ჩვენს ქვეყანასა და მთელ ევროპაში 1933 წ. 9 ოქტომბერს ღამით. ლენინგრადში ის საღამოს 11 საათზე დაიწყო და საათ-ნახევარს გაგრძელდა. ხალხი ქუჩებში გამოეფინა და ამ შესანიშნავი მოვლენით, თავისებური „ციური ფეიერვერკით“, ტკბებოდა.

მეტეორებზე დაკვირვება

ადრე ასტრონომები მეტეორებს მხოლოდ შეუიარაღებელი თვალით აკვირდებოდნენ და ცის რომელიმე უბანზე დაკვირვებისას შენიშხულ მეტეორს ისრით აღნიშნავდნენ ვარსკვლავიერ რუკაზე. ისარი ვარსკვლავთა შორის მეტეორის გზას შეესაბამებოდა. ასტრონომები შეუიარაღებელი თვალით მრავალი ღამის განმავლობაში აკვირდებოდნენ რომელიმე მეტეორულ ნაკადს და ყოველღამე ახალ რუკას ადგენდნენ. შემდეგ ამ რუკების მიხედვით გამოითვლიდნენ რადიანტებს და ღამიდან ღამემდე ცაზე მათ გადაადგილებას. მიღებული ცნობებით კი გამოითვლიდნენ ნაკადთა ორბიტებს. მეტეორებზე დაკვირვებებისას აღნიშნავდნენ ყველა თავისებურებას: ფერს, სიკაშკაშეს, მათ მიერ დატოვებული კვალის ხასიათს, მეტეორის ნათების ხანგრძლიობას და სხვ.

რამდენიმე ათეული წლის წინათ დაიწყეს მეტეორების ფოტოგადაღება. ფოტოგრაფიის დახმარებით დაკვირვება გაცილებით ზუსტი აღმოჩნდა, მაგრამ ფოტოგადაღება მხოლოდ ძალზე კაშკაშა მეტეორებისა შეიძლება, ისინი კი იშვიათად გამოჩნდებიან ხოლმე. ამიტომ დაკვირვების ვიზუალურ მეთოდს დღესაც არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა.

15-20 წლის წინათ რადიოლოკაციის დახმარებით დაიწყეს მეტეორებზე დაკვირვება. მეტეორებზე დამკვირვებელი, რომელიც საგანგებო სადგურში იმყოფება, რადიოლოკატორის მეშვეობით რამდენიმე მეტრის სიგრძის რადიოტალღებს გზავნის. მეტეორის გავლისას რადიოტალღები მეტეორის მიერ დატოვებულ კვალში ირეკლება და იგივე რადიოლოკატორი რეგისტრაციაში ატარებს მათ. ამის შედეგად საგანგებო შუქმგრძნობიარე ფირზე თავისებური ანთების სახით მიიღება მეტეორის გამოსახულება.

რადიოლოკაციის მეშვეობით მეტეორებზე დაკვირვება კიდევ უფრო ზუსტია. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ ასეთი დაკვირვებები ყოველგვარ ამინდში შეიძლება, სრული ღრუბლიანობის დროსაც კი (რადიოტალღებისათვის ღრუბლები დაბრკოლებას არ წარმოადგენს), თანაც მარტო ღამით კი არა, დღისითაც.

მეტეორების შესწავლას დიდი მეცნიერული მნიშვნელობა აქვს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი გახდა იგი ახლა, როცა ადამიანი კოსმოსში შეღწევას იწყებს. შორს არაა ის დრო, როცა ადამიანები ცის სხვა სხეულებისაკენ — მთვარისკენ, მარსისკენ, ვენერასკენ გაემგზავრებიან. ამიტომ დიდი მნიშვნელობა აქვს იმის ცოდნას, თუ რამდენად არის გავრცელებული სივრცეში მეტეორული ნაწილაკები. საჭიროა შევისწავლოთ მეტეორული ნაკადების ორბიტები, რათა კოსმოსური გაფრენების დროს თავი ავარიდოთ მეტეორულ ნაწილაკებთან შეხვედრის საშიშროებას. მეტეორულ ნაწილაკებს შორის ხომ შედარებით დიდებიც გვხვდება, რამდენიმე გრამისა და მეტი წონისაც. კოსმოსური ხომალდის კედელზე ასეთი უზარმაზარი სიჩქარის მქონე კენჭის დაჯახებამ შეიძლება კატასტროფა გამოიწვიოს.

ცეცხლოვანი ბურთები — ბოლიდები

ზოგჯერ ცაზე უეცრად გაიქროლებს ცეცხლოვანი ბურთი. მას უკან მისდევს ცეცხლოვანი კუდი, აქეთ-იქით იფანტება ნაპერწკლები და ბოლოს სუსტად მნათი ბუნდოვანი კვალი რჩება. ამ ცეცხლოვან ბურთს ბერძნული სახელი ბოლიდი ეწოდება, რაც ქართულად „სატყორცნ იარაღს“ ნიშნავს. ბოლიდი რამდენიმე წამში გაიფრენს ხოლმე, ხოლო მისი გაუჩინარების შემდეგ დარჩენილი კვალი კი წუთების, ზოგჯერ საათზე მეტი ხნის განმავლობაშიც ჩანს. ძლიერი ქარის ზემოქმედებით, რომელიც სხვადასხვა მხარეს ქრის სტრატოსფეროს ზედა ფენებში, კვალი განუწყვეტლივ იცვლის ფორმას. თანდათან იგრიხება ყოველ მხარეს, მერე თითქოს ნაგლეჯებად იშლება და უჩინარდება. ღამით ბოლიდის გაფრენის დროს მიდამო ირგვლივ ასეულ კილომეტრებზე ნათდება კაშკაშა შუქით. განსაკუთრებით დიდი და კაშკაშა ბოლიდები დღისითაც შეინიშნება, მზის ელვარე სინათლეშიც კი. ბოლიდის კვალს დღისით ცაზე გაწოლილი ღია ნაცრისფერი ზოლის იერი აქვს.

ჩვეულებრივ, კაშკაშა ბოლიდის გაუჩინარებიდან რამდენიმე წუთის შემდეგ გაისმის აფეთქებისმაგვარი ხმა, მერე ჩვენამდე აღწევს გრუხუნი და თანდათან შესუსტებული გუგუნი. ხშირად იმ ადგილებში, რომლებსაც ბოლიდი გადაუფრენს, ნიადაგისა და ნაგებობების სუსტი ძვრა შეიგრძნობა.

ბოლიდები იგივე მეტეორებია, მხოლოდ ბევრად უფრო კაშკაშა. ისინი ატმოსფეროში დიდი ქვების ან რკინის ნაჭრების მოხვედრის შედეგად წარმოიშვებიან. მათ შორის განსაკუთრებით დიდები ატმოსფეროში მოძრაობის დროს ვერ ასწრებენ მთლიანად დაშლას და მათი ნარჩენები დედამიწის ზედაპირზე ცვივა. დედამიწაზე ვარდნილ ასეთ ლოდებს ან ნამსხვრევებს მ ე ტ ე ო რ ი ტ ე ბ ი ეწოდება.

მეტეორიტი — კოსმოსის მაცნე

მეტეორიტი, ჩვეულებრივ, ნაცრისფერი, შავი ან მურა შავი ფერის ქვის ან რკინის ნატეხია და საკმაოდ უშნო შესახედავია. მაგრამ მეტეორიტები ერთადერთი არამიწიერი სხეულებია, რომლებსაც ჩვენ უშუალოდ შევისწავლით.

მეტეორიტი შეგვიძლია ხელში დავიჭიროთ, ლაბორატორიებში გამოვიკვლიოთ მათი ქიმიური და მინერალური შედგენილობა, შევისწავლოთ მათი სტრუქტურა და სხვადასხვა ფიზიკური თვისებები.

მეტეორიტების ცვენა ადამიანებისთვის ჯერ კიდევ უძველეს ხანაში იყო ცნობილი. ზოგიერთ ხალხებში მეტეორიტი მრავალი საუკუნის მანძილზე „ღმერთის მოციქულად“ ითვლებოდა და მას თაყვანს სცემდნენ. მექაში (საუდის არაბეთი) დღესაც ინახება ქვის მეტეორიტი, რომელსაც „შავ ქვას“ ეძახიან. იგი ქააბის ტაძრის კედელშია ჩასმული და მორწმუნე მაჰმადიანები ყოველწლიურად თაყვანს სცემენ.

სხვადასხვა ხალხების ძველ მატიანეებში მრავალი ჩანაწერია „ცის ქვების“ შესახებ. რუსულ მატიანეში ყველაზე ადრეული ჩანაწერი 1091 წ. მეტეორიტის ვარდნას აღწერს.

მეცნიერები მრავალი წლის მანძილზე არ სცნობდნენ მეტეორიტებს არამიწიერ სხეულებად და მიწიერ ქვებად მიაჩნდათ. XVIII ს. მიწურულშიც კი მსოფლიოში ყველაზე ავტორიტეტული მეცნიერული დაწესებულების, პარიზის აკადემიის აკადემიკოსები ამტკიცებდნენ, რომ შეუძლებელია ციდან ქვების ცვენა. სწორედ ამ დროს რუსი აკადემიკოსი პალასი ციმბირში მოგზაურობისას უცნაურ, ნახევარ ტონაზე მეტი წონის რკინის ლოდს წააწყდა, რომელიც ჯერ კიდევ 1749 წ. ეპოვნა მჭედელ მედვედევს. პალასმა ბრძანა, რომ მედვედევის ნაპოვნი ლოდი პეტერბურგს ჩაეტანათ შესასწავლად. ამ ლოდის ნატეხები გულდასმით შეისწავლა გამოჩენილმა ფიზიკოსმა, წარმოშობით ჩეხმა, ე. ხლადნიმ. იგი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ მედვედევის ნაპოვნი რკინის ლოდი, როგორც სხვა ქვეყნებში შემჩნეული ბევრი მისი მსგავსი სხეულიც, არ შეიძლებოდა დედამიწაზე შექმნილიყო და რომ, იგი სამყაროს სივრციდან მოსული სტუმარი იყო. ამაზე ხლადნიმ საგანგებო წიგნი დაწერა, რომელიც 1794 წ. რიგაში გამოიცა. რამდენადმე მოგვიანებით მეცნიერები დაეთანხმნენ ხლადნის დასკვნებს და მეტეორიტთა კოსმოსური წარმოშობა აღიარეს.

ამრიგად, რუსეთი მეტეორიტების შემსწავლელი მეცნიერების — მ ე ტ ე ო რ ი ტ ი კ ი ს სამშობლო გახდა.

განსაკუთრებით დიდად განვითარდა მეცნიერების ეს დარგი ჩვენს ქვეყანაში დიდი ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ.

საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიასთან არსებობს მეტეორიტების საგანგებო კომიტეტი, რომელიც ჩვენს ქვეყანაში მეტეორიტების შეგროვების, შესწავლისა და დაცვის საქმეს განაგებს. კომიტეტთან არსებობს მეტეორიტების დიდი კოლექცია. შედარებით მომცრო მეტეორიტული კოლექციები არსებობს საბჭოთა კავშირის მრავალი ქალაქის მუზეუმებში. ყველა ეს კოლექცია დასათვალიერებლადაა გამოფენილი.

მეტეორიტების საერთო სახე და ზომები

მეტეორიტების ძირითადი ნიშანი ე. წ. დ ნ ო ბ ი ს ქ ე რ ქ ი ა. მისი სისქე არ აღემატება 1 მმ-ს და ყოველი მხრიდან ფარავს მეტეორიტს თხელი ნაჭუჭის სახით.

მეტეორიტების მეორე ნიშანია დამახასიათებელი ფოსოები ზედაპირზე, რომლებსაც ბერძნულად რ ე გ მ ა გ ლ ი პ ტ ე ბ ი ეწოდება, რაც „გამოჭრას“, „ამოკვეთას“ ნიშნავს. რეგმაგლიპტები წარმოიქმნე-

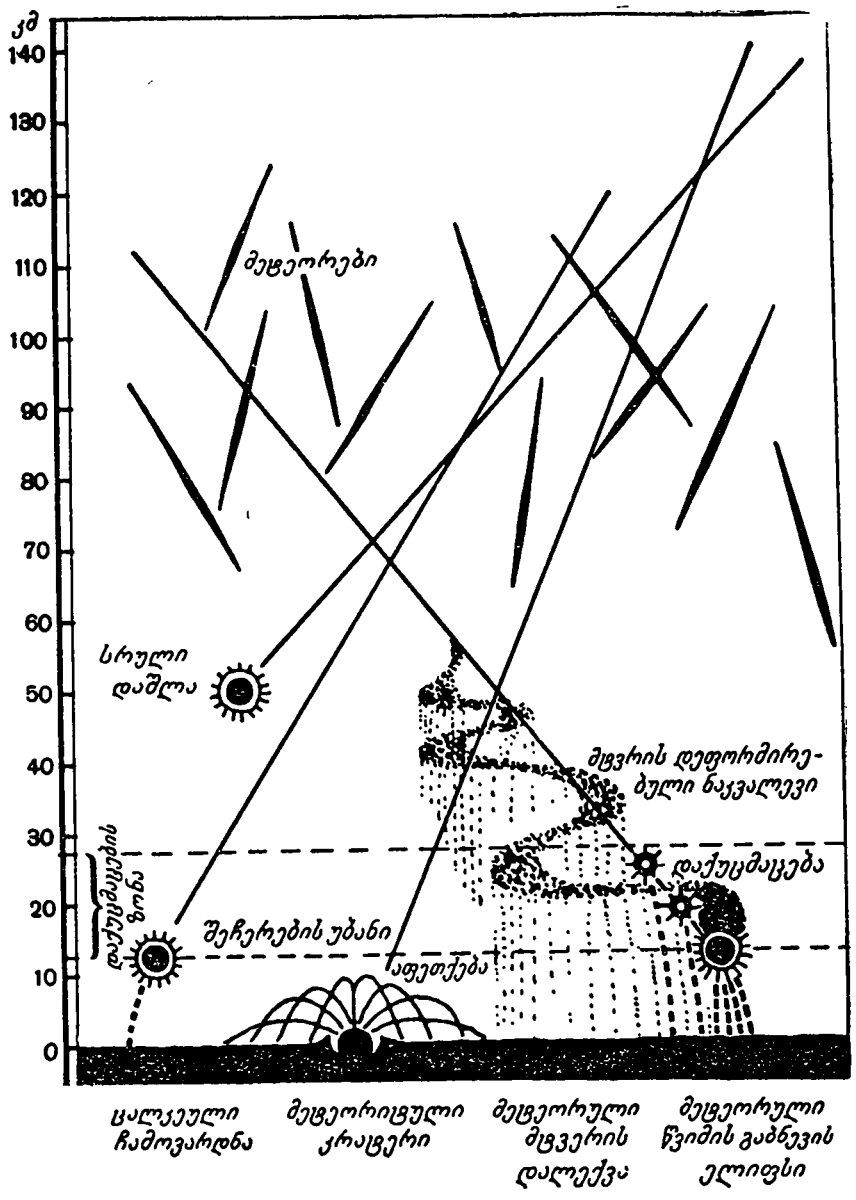
ბა ჰაერის მბურღავი მოქმედების დროს, როცა მასში მეტეორიტი გადის.

ჩვეულებრივ, მეტეორიტებს ნატეხების ფორმა აქვთ, ატმოსფეროში მოძრაობისას ისინი იხლიჩებიან. იშვიათად გვხვდება კონუსისებური ლამაზი მოყვანილობის მეტეორიტები, რომლებიც ჭურვის თავს მოგვაგონებენ. ასეთი ფორმა წარმოიქმნება ჰაერის მიერ მეტეორიტის „მოხარატების“ შედეგად.

ყველაზე უფრო დიდი, მთლიანი მეტეორიტი ნაპოვნია სამხრეთ აფრიკაში 1920 წელს. ესაა რკინის მეტეორიტი, რომელიც დაახლოებით 60 ტ იწონის. დედამიწაზე კიდევ უფრო დიდი ზომის მეტეორიტებია ჩამოვარდნილი, მაგრამ მათგან მხოლოდ ცალკეული ნამსხვრევებია შემორჩენილი. საერთოდ კი მეტეორიტების უმეტესობა არცთუ ისე დიდია. ისინი უფრო ხშირად ასობით გრამებსა და ხანდახან კილოგრამებს იწონიან. რამდენიმე ათეული და მით უმეტეს ასეული კილოგრამი წონის მქონე მეტეორიტები უკვე იშვიათობას წარმოადგენს. ყველაზე პატარა მეტეორიტები გრამის ნაწილებს იწონის.

სულ ახლახან, 1959 წ. 24 ნოემბერს, აზერბაიჯანში ჩამოვარდა მეტეორიტი. ეს არის „იარდიმლინის“ რკინის მეტეორიტი. ნაპოვნია 6 ნატეხი, რომელთაგანაც ყველაზე დიდი 127 კგ იწონის, ხოლო ყველაზე პატარა — 300 გ.

უფრო ხშირად ქვის მეტეორიტები ცვივა. საშუალოდ 16 ჩამოვარდნილი მეტეორიტიდან მხოლოდ ერთი აღმოჩნდება ხოლმე რკინისა. კიდევ უფრო იშვიათად ცვივა რკინა-ქვის მეტეორიტები.



ატმოსფეროში მეტეორებისა და მეტეორიტების მოძრაობის სქემა.

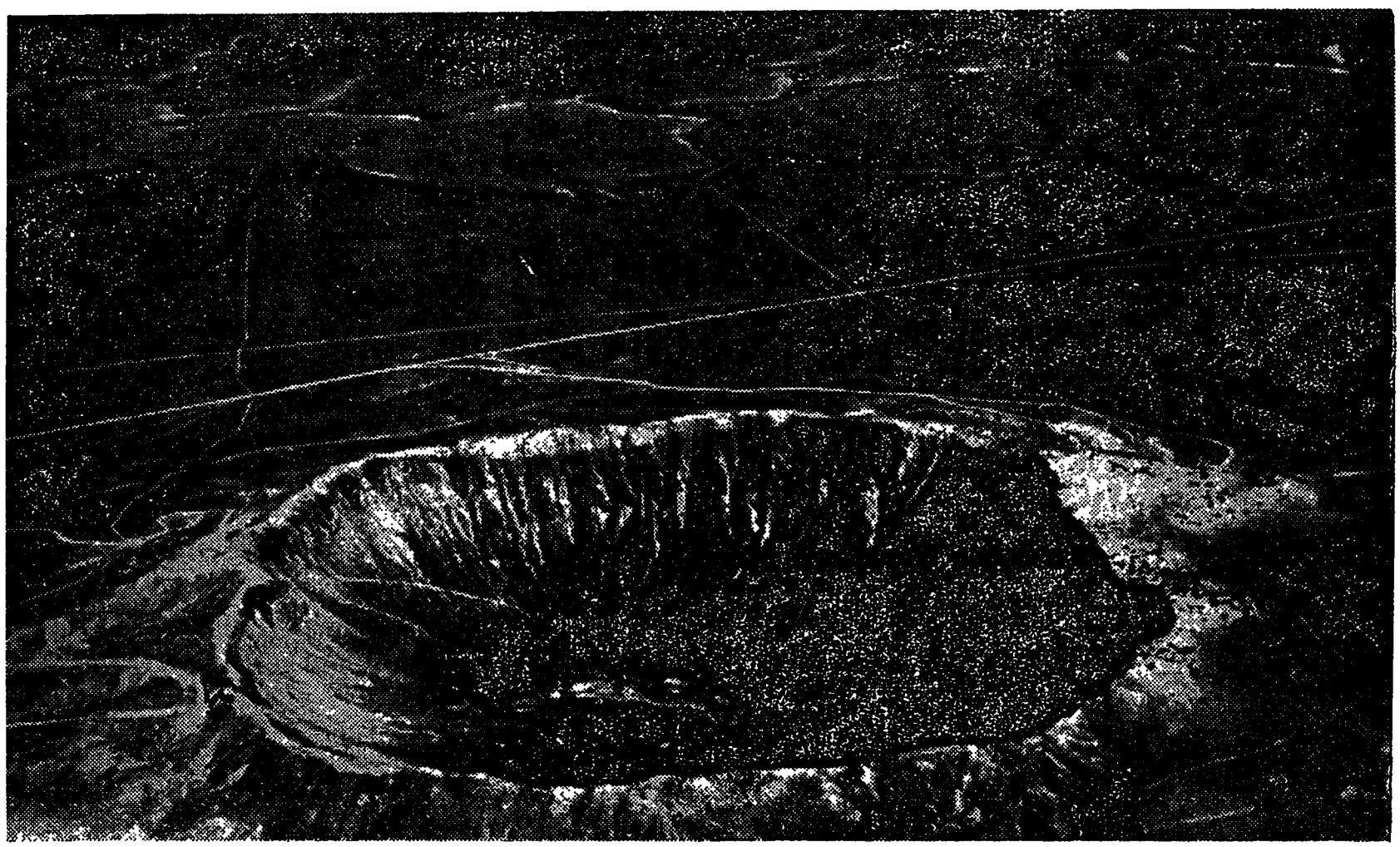
როგორ ცვივა მეტეორიტები

მეტეორიტები ცვივა მოულოდნელად, ნებისმიერ დროს და დედამიწის სფეროს ნებისმიერ ადგილას.

დედამიწის ატმოსფეროში 15-20 კმ/წმ და უფრო მეტი სიჩქარით შემოჭრისას მეტეორული სხეული უკვე 100-120 კმ-ის სიმაღლეზე ხვდება ჰაერის ძლიერ წინააღმდეგობას. თუმცა ასეთ სიმაღლეზე ატმოსფერო ძალზე გაიშვიათებულია, მეტეორული სხეულის დიდი სიჩქარის გამო წინ შემხვედრი ჰაერის ნაწილაკები სწრაფად იკუმშება. ამის შედეგად მოძრავი მეტეორული სხეულის წინ წარმოიქმნება ძლიერ გახურებული შეკუმშული ჰაერის თავისებური ბალიში. რამდენიმე ათას გრადუსამდე ხურდება თვით მეტეორული სხეულის ზედაპირიც, სწორედ ამ მომენტში შეიმჩნევა ის როგორც ცაზე მჭროლავი ბოლიდი.

სანამ მეტეორული სხეული ატმოსფეროში კოსმოსური სიჩქარით მიქრის, ნივთიერება, რომლისგანაც ის შედგება, მაღალ ტემპერატურაზე დნება, იწყებს დუღილს, აირად იქცევა და ნაწილობრივ წვრილ წვეთებად მიმოიფრქვევა. ამის გამო მეტეორული სხეული სულ უფრო მეტად მცირდება, თითქოს დნება. აორთქლებული და მიმოფანტული ნაწილაკები მკვრივდება, ბურთულებად იქცევა და ჩნდება კვალი, რომელიც ბოლიდის გაქროლვის შემდეგ რჩება.

დედამიწის ზედაპირთან მიახლოებისას მეტეორული სხეული ატმოსფეროს უფრო მკვრივ ფენებ-



არიზონის მეტეორიტული კრატერი.

ში ხვდება. ჰაერი უფრო და უფრო მეტ წინააღმდეგობას უწევს და ამუხრუჭებს მის მოძრაობას. ბოლოს, დედამიწის ზედაპირიდან 10-20 კმ-ის სიმაღლეზე, სხეული ჩერდება, წყდება მისი გახურება და ნათება, ბოლიდი ქრება. მეტეორული სხეულის ნარჩენი — მეტეორიტი, უკვე მნიშვნელოვნად გაციებული, სიმძიმის ძალის გავლენით, ისე ეცემა დედამიწაზე, როგორც ჩვეულებრივად გასროლილი ქვა.

ახლად ჩამოვარდნილი მეტეორიტი არაა გავარვარებული. თბილი ან ცხელია. ამიტომ მეტეორიტს დედამიწაზე დაცემისას არ შეუძლია გამოიწვიოს ხანძარი.

უზარმაზარ მეტეორიტს, რომელიც ასეულ ათასობით ტონას იწონის, ჰაერის წინააღმდეგობა ვერ აკავებს და დედამიწას დიდი, წამში რამდენიმე კილომეტრის სიჩქარით ეჯახება. დაჯახებისას მეტეორიტი ისეთ მაღალ ტემპერატურამდე ხურდება, რომ მისი ნივთიერების დიდი ნაწილი ორთქლად იქცევა, უდიდესი ძალით იფანტება ყველა მიმართულებით და იწვევს აფეთქებას. მეტეორიტის დაცემის ადგილას წარმოიქმნება ძაბრი — ე. წ. მ ე ტ ე ო რ ი ტ უ ლ ი კ რ ა ტ ე რ ი, მეტეორიტისაგან კი მხოლოდ კრატერის ირგვლივ მიმოფანტული წვრილ-წვრილი ნატეხები რჩება.

დედამიწის სფეროს სხვადასხვა ადგილას ნაპოვნია ბევრი მეტეორიტული კრატერი. ვეებერთელა მეტეორიტული კრატერი, რომელსაც ა რ ი ზ ო ნ ი ს კრატერი, ანუ „ე შ მ ა კ ი ს ხ ე ვ ი“ ეწოდება, მდებარეობს ამერიკის შეერთებულ შტატებში. მისი განივკვეთი 1200 მეტრს უდრის, ხოლო სიღრმე — 170 მეტრს. კრატერის ირგვლივ მოხერხდა ოც ტონაზე მეტი ათასობით წვრილი ნატეხის შეგროვება, მაგრამ, ცხადია, აქ დაცენული და აფეთქებული რკინის მეტეორიტის წონა მრავალი ათასი ტონა იყო. ჩვენს ქვეყანაში მეტეორიტულ კრატერთა ჯგუფი კუნძულ საარემაზეა ესტონეთში.

რკინის წვიმა

1947 წლის 12 თებერვლის წყნარ, ყინვიან დილას საბჭოთა პრიმორიეს ცის ფონზე სწრაფად გაიჭროლა თვალისმომჭრელმა კაშკაშა ბოლიდმა. გაისმა გამაყრუებელი გრგვინვა. სახლებში დაიღო კარები, წკრიალით გაიფანტა ფანჯრის მინების ნამსხვრევები, ჭერიდან ჩამოცვივდა ბათქაში, დანთებული ღუმელებიდან გამოვარდა ალი, ნაცარი და შეშა. პანიკური შიშით შეპყრობილი ცხოველები აქეთ-იქით აწყდებოდნენ. ცეცხლოვანი ბურთის გაყოლებით გამოჩნდა ვეებერთელა, კვამლის მსგავსი ფართო ზოლი. მალე კვალი დაიკლაკნა და ზღაპრული ბუმბერაზი გველივით გაიწერთხო ცაზე. შემდეგ თანდათანობით გაფერმკრთალდა, დაწყნარდა და ცალკეულ ნაფლეთებად იქცა. კვალი მხოლოდ საღამო ხანს გაქრა.

ეს მოვლენა გამოიწვია უზარმაზარი რკინის მეტეორიტის ჩამოვარდნამ, რომელმაც სიხოტე-ალინის მეტეორიტის სახელწოდება მიიღო (იგი დაეცა სიხოტე-ალინის მთავრეხილის განშტოებაზე). მეტეორიტების კომიტეტი ოთხი წლის განმავლობაში მუშაობდა ამ მეტეორიტის დაცემის ვითარების შესწავლასა და მისი ნაწილების შეკრებაზე. მეტეორიტი ჯერ კიდევ ჰაერში დაიმსხვრა სხვადასხვა ზომისა და წონის ათასობით ნაწილად და მიწაზე გასაოცარი რკინის წვიმის სახით წამოვიდა. ყველაზე უფრო მსხვილი ნაწილები — „წვეთები“ — რამდენიმე ტონას იწონიდა. დაცემისას ეს მსხვილი ნაჭრები კლდოვან ქანებს აპობდა, ძაბრებს ქმნიდა და თვითონაც ნაკუწ-ნაკუწ იმსხვრეოდა. მეტეორიტის დაცემის ადგილას აღმოაჩინეს 10 სანტიმეტრიდან 26 მეტრამდე დიამეტრის მქონე 200 მეტეორიტული ძაბრი.

ექსპედიციის მონაწილეებმა შეაგროვეს და ტაიგიდან გამოიტანეს 7000-ზე მეტი მეტეორიტული ნატეხი, დაახლოებით 23 ტ საერთო წონით. ყველაზე უფრო მსხვილი ნატეხები 1745, 1000, 700, 500, 450 და 350 კგ-ს იწონიდა.

ტუნგუსკის მეტეორიტი-კომეტა

1908 წლის 30 ივნისს დილით ციმბირის ყრუ ტაიგაში ჩამოვარდა გიგანტური მეტეორიტი. მას ტუნგუსკის მეტეორიტი უწოდეს, რადგანაც იქვე, მდინარე პოდკამენაია ტუნგუსკას მახლობლად, ჩამოვარდა. თვალისმომჭრელი სიკაშკაშის ბოლიდი მთელ ცენტრალურ ციმბირში 600 კილომეტრიანი რადიუსის მქონე ტერიტორიაზე ჩანდა. მიეფარა თუ არა ბოლიდი ჰორიზონტს, რამდენიმე წუთის შემდეგ გაისმა უზარმაზარი ძალის დარტყმის ხმა, შემდეგ კი ძლიერი გრიალი და გუგუნი. ბევრ სოფელში ჩაიმსხვრა ფანჯრის მინები, თაროებიდან ჩამოცვივდა ჭურჭელი. ჰაერის ტალღამ ძირს დასცა ადამიანები, აფეთქების ხმა ისმოდა ათას კმ-ის მანძილზე.

სამწუხაროდ, ამ შესანიშნავი მოვლენის შესწავლა მეცნიერებმა ძალიან გვიან, ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ დაიწყეს. მეტეორიტის დაცემის ადგილას მეცნიერმა პირველად მხოლოდ 1927 წელს მიაღწია. ეს იყო ლ. კულიკი, რომელიც საბჭოთა კავშირის აკადემიის ექსპედიციას ხელმძღვანელობდა. გაზაფხულზე ტაიგის ადიდებული მდინარეებით კულიკმა ევენკ გამცილებელთა თანხლებით ტივებით შეაღწია „მკვდარი ტყის ქვეყანაში“. აქ, 25-30 კმ რადიუსის მქონე მოედანზე, კულიკმა აღმოაჩინა გადათელილი ტყე. მეტეორიტის დაცემის ადგილის ირგვლივ მარაოსავით გადაშლილიყვნენ ფესვებამობრუნებული ხეები. კულიკმა მოაწყო რამდენიმე ექსპედიცია, რომელიც იკვლევდა მეტეორიტის დაცემის ადგილს. გადათელილი ტყის რაიონის ცენტრალური ნაწილი თვითმფრინავიდან გადაიღეს, ამ ექსპედიციამ გათხარა რამდენიმე ორმო, რომლებიც პირველად შეცდომით მეტეორიტული ძაბრები ეგონათ, მაგრამ ვერცერთში მეტეორიტის ნატეხები ვერ იპოვეს. სინამდვილეში ორმოები მეტეორიტების ძაბრები კი არა, ჩვეულებრივი ჭაობები აღმოჩნდა. დიდმა სამამულო ომმა შეწყვიტა კულიკის გამოკვლევები. თვით კულიკი კი მოხალისედ წავიდა სამშობლოს დასაცავად და 1942 წ. დაიღუპა.

ომის შემდეგ მეტეორიტების კომიტეტმა განაახლა ტუნგუსკის მეტეორიტის კვლევა-ძიება. განმეორებით გაიგზავნა რამდენიმე ექსპედიცია კ. ფლორენსკის მეთაურობით. ექსპედიციებმა დაადგინა, რომ მეტეორიტი ჰაერში აფეთქდა. შესაძლოა იგი კომეტის ბირთვს წარმოადგენდა და მთლიანად დაიშალა დედამიწის ზედაპირზე მოხვედრამდე. ამიტომაც ვარდნის რაიონში არც მეტეორიტული კრატერები და არც მეტეორიტის ნამსხვრევები აღმოჩნდა. მაგრამ ნიადაგში მაინც

იპოვეს უწვრილესი ნაწილაკები (ბურთულები), ტუნგუსკის კომეტა-მეტეორიტის დაშლის პროდუქტი. საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის მეტეორიტების კომიტეტი და გეოქიმიისა და ანალიზური ქიმიის ინსტიტუტი განაგრძობენ კომეტური მეტეორიტის ამ მტვრადქცეული ნივთიერების შესწავლას.

რისგან შედგება მეტეორიტები

მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ მეტეორიტები იმავე ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება, რომლებიც დედამიწაზეც მოიპოვება: არავითარი ახალი ელემენტი მეტეორიტებში არ არის ნაპოვნი.

ყველაზე უფრო ხშირად მეტეორიტებში პოულობენ რვა ქიმიურ ელემენტს: რკინას, ნიკელს, გოგირდს, მაგნიუმს, სილიციუმს, ალუმინს, კალციუმსა და ჟანგბადს. ყველა დანარჩენი ქიმიური ელემენტი მეტეორიტებში უმნიშვნელო რაოდენობით გვხვდება. ეს ელემენტები ქიმიურად უერთდება ერთმანეთს და სხვადასხვა მინერალებს ქმნის. ამ მინერალების უმრავლესობა ფართოდ არის გავრცელებული დედამიწის ქანებში. მეტეორიტებში სრულიად უმნიშვნელო რაოდენობითაა აღმოჩენილი ისეთი მინერალებიც, რომლებიც დედამიწაზე არ არის. ალბათ მათ დედამიწის ატმოსფეროს პირობებში არსებობა არ შეუძლიათ. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით მეტეორიტები არის რკინის, რკინა-ქვისა და ქვის.

რკინის მეტეორიტები თითქმის მთლიანად რკინისა და ნიკელის ნაერთისაგან შედგება, მცირე რაოდენობით შეიცავს კობალტს. ქვის მეტეორიტები კი უმთავრესად მინერალებისაგან შედგება, რომელთაც სილიკატებს უწოდებენ. სილიკატები წარმოადგენს სილიციუმისა და ჟანგბადის ნაერთს მაგნიუმის, ალუმინის, კალციუმისა და სხვა ელემენტების მინარევებით. მაგრამ ნიკელიანი რკინა ქვის მეტეორიტებშიც არის წვრილ-წვრილი ჩანართი მარცვლების სახით მიმობნეული. რკინა-ქვის მეტეორიტები ნიკელიანი რკინისა და ქვისებრი ნივთიერების დაახლოებით ტოლი რაოდენობისაგან შედგება. რკინა-ქვის მეტეორიტი რკინის ღრუბელს წააგავს, რომლის სიცარიელეები მოყვითალო-მომწვანო მინერალით — ოლივინით არის ამოვსებული.

განსაკუთრებით საინტერესოა მეტეორიტების შინაგანი აღნაგობა. თუ რკინის მეტეორიტის ზედაპირს გავაპრიალებთ და დავამუშავებთ მჟავას სუსტი ხსნარით, ჩვეულებრივ, მასზე ჩნდება ერთმანეთში გადახლართული ცალკეული ზოლებისა და ვიწრო არშიებისაგან შემდგარი გამოსახულება, რომელსაც მისი აღმომჩენი ავსტრიელი მეცნიერის ვიდმანშტეტენის პატივსაცემად ვიდმანშტეტენის ფიგურები ეწოდება. ზოგიერთი რკინის მეტეორიტის ზედაპირის დამუშავების შედეგად ჩნდება პარალელური წვრილი ხაზები. მათი აღმომჩენი გერმანელი მეცნიერის ნეიმანის პატივსაცემად მათ ნეიმანის ხაზები ეწოდება. ყოველივე ეს ნიშნავს, რომ რკინის მეტეორიტები კრისტალური აგებულებისაა.

ქვის მეტეორიტის გადატეხილ ადგილს შეუიარაღებელი თვალითაც რომ შევხედოთ, შევნიშნავთ გადანატეხზე გაბნეულ პატარა მრგვალ ბურთულებს, ეს ბურთულები ხანდახან წესიერი სფეროებია, რომელთა დიამეტრი საშუალოდ 1 მმ უდრის. მათ ხონდრები ეწოდება, რაც „მარცვალს“ ნიშნავს.

მეტეორიტულ კოლექციებში გვხვდება მომცრო, რამდენიმე ათეულგრამიანი შუშის ნატეხები. ისინი დედამიწის სხვადასხვა კუთხეშია ნაპოვნი და ერთ სახელს — ტექტიტებს ატარებენ. ჯერჯერობით ტექტიტების წარმოშობა საბოლოოდ არ არის დადგენილი. ზოგიერთ მეცნიერს ისინი მეტეორიტების განსაკუთრებულ სახედ — მინის მეტეორიტებად მიაჩნია.

მეტეორიტების წარმოშობა

ახლა უკვე საბოლოოდაა დადგენილი, რომ მეტეორიტები მცირე პლანეტების — ასტეროიდების ნამსხვრევებს წარმოადგენს. გარდა იმ დიდი ასტეროიდებისა, რომლებიც ტელესკოპში ჩანს, კოსმოსში მრავალი მცირე ასტეროიდია, რომელთა განივკვეთი კილომეტრს არ აღემატება და ზოგჯერ ბევრად პატარაცაა. ესენი პლანეტები კი არა, ლოდები ან უბრალოდ ქვებია, რომლებიც საპლანეტათშორისო სივრცეში ირევიან. ერთმანეთთან შეტაკებისას ისინი დღესაც იმსხვრევიან სულ უფრო მცირე ნაწილებად, რომლებიც დედამიწასთან შეხვედრისას მეტეორიტების სახით ცვივა მის ზედაპირზე.

მეტეორიტების შესწავლისას ვარკვევთ აგრეთვე იმ ციური სხეულების შედგენილობას, რომელთა ნაწილსაც მეტეორიტი წარმოადგენს. ამრიგად, მეტეორიტები გვეხმარებიან მნიშვნელოვანი პრობლემის გადაჭრაში — პლანეტების სისტემისა და ცალკეული პლანეტების, მათ შორის დედამიწის წარმოშობის, დედამიწის შიგა ნაწილების შედგენილობისა და აგებულების შესწავლაში. არცთუ ისე დიდი ხნის წინ საბჭოთა მეცნიერმა აკად. ა. ვინოგრადოვმა მნიშვნელოვანი გამოკვლევა ჩაატარა. მეტეორიტების შესწავლის საფუძველზე მან დაადგინა, რომ დედამიწის ქერქი წარმოშობილია მეტეორული ნივთიერების გადადნობის შედეგად, რომლიდანაც კიდევ უფრო შორეულ წარსულში დედამიწის შიდა ფენები შეიქმნა.

მოსახლეობის დახმარება მეტეორიტების შეგროვებაში

ბოლიდები ყოველთვის მოულოდნელად ჩნდებიან და შეუძლებელია მათი ჩამოვარდნის დროისა და ადგილის წინასწარ დადგენა, ამის გამო სპეციალისტებს არ შეუძლიათ მეტეორიტის ჩამოვარდნის დასაკვირვებლად მოემზადონ. მეცნიერებს დიდად დაეხმარებიან მუშაობაში ბოლიდის ფრენის მნახველნი, თუკი ისინი დაწვრილებით აღწერენ იმ მოვლენებს, რომლებსაც აკვირდებოდნენ. არ შეიძლება ნაპოვნი მეტეორიტის დამტვრევა. იგი უნდა შევინახოთ და სხვა მოვლენების აღწერასთან ერთად გავგზავნოთ სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის მეტეორიტების კომიტეტში.

ბოლიდის აღწერისას საჭიროა, შეძლებისამებრ ვუპასუხოთ შემდეგ კითხვებზე: 1. ჩამოვარდნის თარიღი და დრო; 2. დაკვირვების ადგილი; 3. ბოლიდის მოძრაობის მიმართულება; 4. ბოლიდის ქროლვის ხანგრძლივობა წამებში; 5. ბოლიდის ზომები მთვარისა და მზის ხილულ ზომებთან შედარებით; 6. ბოლიდის ფერი; 7. იყო თუ არა განათებული მიდამო ბოლიდის გაქროლებისას; 8. შეამჩნიეს თუ არა ბოლიდის დანაწილება; 9. დარჩა თუ არა კვალი ბოლიდის შემდეგ, როგორი ფორმა ჰქონდა კვალს და რა ცვლილება განიცადა შემდგომ, აგრეთვე, მისი ხილვადობის ხანგრძლივობა; 10. როგორი ბგერები ისმოდა ბოლიდის ქროლვის დროს და მისი გაქრობის შემდეგ.

აღწერაში საჭიროა აღინიშნოს დამკვირვებლის გვარი, სახელი, მამის სახელი და მისამართი [1].

ვარსკვლავები და სამყაროს სიღრმეები

რამდენი ვარსკვლავია ცაზე?

როცა მოწმენდილ ღამეში ქალაქგარეთ იმყოფებით და გაშლილი ადგილიდან უყურებთ ცას, გეჩვენებათ, რომ ის უთვალავი ვარსკვლავითაა მოჭედილი. თითქოს ვიღაცას შავ ხავერდზე უამრავი ბრილიანტი გაებნიოს, ისე ნაირფრად ბრწყინავენ და კიაფობენ ვარსკვლავები ცაზე.

შეუიარაღებელი თვალით ხილული ვარსკვლავები ურიცხვი გვეჩვენება, მაგრამ ეს შთაბეჭდილება იმწამსვე გაქრება, როგორც კი თანავარსკვლავედების მთავარ ვარსკვლავებს დავიმახსოვრებთ. ეს არცაა გასაკვირი. როცა პირველად შედიხართ უცნობ კლასში, გეჩვენებათ, რომ ჯგუფში ძალიან ბევრი მოწაფეა, მაგრამ საკმარისია მათ შორის თუნდაც რამდენიმე ძველი ნაცნობი შეიცნოთ და კლასშიც აღარ მოგეჩვენებათ იმდენი მოწაფე.

ყველაზე მოწმენდილ უმთვარო ღამეშიც კი, ქალაქიდან მოშორებით, სადაც ხელოვნური განათება არ აღწევს, შეუიარაღებელი თვალით ცაზე მხოლოდ 3000-მდე ვარსკვლავი დაითვლება.

ვარსკვლავთ სიმრავლეც გადაჭარბებულად გვეჩვენება, სანამ თანავარსკვლავედთა მოხაზულობაში გავერკვეოდეთ. ვარსკვლავების სიმრავლის შთაბეჭდილებას აძლიერებს მათი ციმციმი. ერთი და იგივე ვარსკვლავი ხან უფრო კაშკაშაა, ხან კი ოდნავ კიაფობს, იმის გამო, რომ ჩვენსა და მას შო-

[1] სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მეტეორიტების კომიტეტის მისამართია: მოსკოვი, B — 313, მარია ულიანოვას ქუჩა, 3, კორპუსი 1, შესასვლელი 2.

რის სხვადასხვა სიმკვრივის ჰაერის ნაკადი მოძრაობს.

შეთანხმდნენ, ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავებს 1-ლი სიდიდის ვარსკვლავები უწოდონ, ხოლო შეუიარაღებელი თვალით ყველაზე ძნელად ხილულ ვარსკვლავებს მე-6 სიდიდის ვარსკვლავები. 1-ლი სიდიდის ვარსკვლავები 100-ჯერ უფრო კაშკაშაა მე-6 სიდიდის ვარსკვლავებზე. ბინოკლში ჩანს მე-8 და მე-9 სიდიდის, ხოლო ტელესკოპში კიდევ უფრო მკრთალი ვარსკვლავებიც.

1-ლი სიდიდის, ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები ცაზე სულ ოცია, მე-2 სიდიდის, ისეთები, როგორიცაა დიდი დათვის თანავარსკვლავედის მთავარი ვარსკვლავები, დაახლოებით 70, ხოლო მე-6 სიდიდეზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავების რიცხვი— დაახლოებით 6000, მაგრამ ჰორიზონტის ზემოთ მთელი ცის მხოლოდ ნახევარი მოჩანს.

ვარსკვლავთ რუკები, ატლასები და კატალოგები

ასტრონომებმა ძლიერი ტელესკოპებით უამრავი ვარსკვლავი დაითვალეს. უფრო მეტიც, ბევრი ვარსკვლავისათვის დიდი სიზუსტით განსაზღვრეს ადგილმდებარეობა ცაზე და დაადგინეს მათი ხილული ვარსკვლავიერი სიდიდე. ჯერ კიდევ ორი ათასზე მეტი წლის წინათ ბერძენმა მეცნიერებმა შეადგინეს პირველი სიები, რომლებშიც აღნიშნეს ასობით ვარსკვლავის ზუსტი მდებარეობა ცაზე. ასეთ დიდ სიებს ვარსკვლავთა კ ა ტ ა ლ ო გ ე ბ ი ეწოდა.

ვარსკვლავების მდებარეობას ცაზე სხვადასხვა საგანგებო ხელსაწყოების მეშვეობით განსაზღვრავენ. ამჟამად იყენებენ საშუალო ზომის ტელესკოპებს, რომლებიც აღჭურვილია გრადუსებად და გრადუსების ნაწილებად დაყოფილი ლითონის წრეებით. მათი მეშვეობით შეიძლება ზუსტად ავითვალოთ ტელესკოპის მიმართულება კუთხურ ერთეულებში, როცა ტელესკოპში მოცემული ვარსკვლავი ჩანს.

ცაზე კაშკაშა ვარსკვლავების მდებარეობა უფრო მეტი სიზუსტითაა განსაზღვრული, ვიდრე მრავალრიცხოვანი სუსტად მოკიაფე ვარსკვლავებისა. საბოლოოდ სხვადასხვა დროს სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერებმა განსაზღვრეს და კატალოგებში შეიტანეს თითქმის მილიონი ვარსკვლავის მდებარეობა. ეს რიცხვი დაახლოებით ას ორმოცდაათჯერ მეტია იმ ვარსკვლავების რიცხვზე, რომელთაც შეუიარაღებელი თვალით ვხედავთ დედამიწის ორივე ნახევარსფეროში, და ერთი ხუთჯერ მეტი ადამიანის თმის რაოდენობაზე.

ამჟამად დაახლოებით მილიონი ვარსკვლავია აღრიცხული.

მე-11 სიდიდის ვარსკვლავებზე მკრთალი ვარსკვლავებს ჯერ მხოლოდ მიახლოებით ითვლიან ისევე, როგორც დიდ ტყეში სხვადასხვა ჯიშის ხეებს. გამოანგარიშებულია, რომ 21-ე სიდიდის ვარსკვლავებზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავები დაახლოებით ორ მილიარდამდეა. ყველაზე დიდი თანამედროვე ტელესკოპებით შეიძლებოდა რამდენჯერმე უფრო მეტი ვარსკვლავი გადაგვეღო.

ცაზე ვარსკვლავების დადგენილი ადგილმდებარეობის მიხედვით შეიძლება შევადგინოთ ვარსკვლავიერი ცის რუკები. ერთი ასეთი რუკა, რომელშიც ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში შეუიარაღებელი თვალით ხილული ვარსკვლავებია აღნიშნული, ამ წიგნსაც ახლავს (იხ. გვ. 232 — 233).

ახლახან ერთ-ერთი უძლიერესი ტელესკოპით გადაიღეს მთლიანი ცის 3/4 და ამ ფოტოებიდან გააკეთეს ანაბეჭდები. ცის ასეთ ფოტოატლასზე გამოსულია 21-მდე სიდიდის ყველა ვარსკვლავი. ატლასი შედგება თითქმის 900 ფურცლისაგან, თვითეული ფურცლის ზომაა 36 × 36 სმ.

ვარსკვლავთ ხილული და ჭეშმარიტი გარწყინვალება

ასტრონომიაში ყოველთვის ნათლად უნდა განვასხვავოთ ხილული სინამდვილისაგან. ჩვენ ვამბობთ: „მზე ჰორიზონტს შეეხო“ — და ამას ვხედავთ კიდეც. სინამდვილეში კი მზე ჰორიზონტს არ ეხება. ჰორიზონტი ხომ მხოლოდ ხილული ხაზია, დედამიწის მოჩვენებითი კიდე.

ცაზე ვარსკვლავის მდებარეობის ყველაზე მიახლოებითი მინიშნება იმ თანავარსკვლავედის მითითებაა, რომელშიც ვარსკვლავი იმყოფება. მაგრამ ეს მინიშნება მხოლოდ ვარსკვლავისაკენ მიახლოებით მიმართულებას გვაძლევს. ერთი შეხედვით რომელიმე თანავარსკვლავედში მეზობლად მდებარე ვარსკვლავები შეიძლება სრულიად გან-

სხვავებულ მანძილებზე იყოს ჩვენგან, ხოლო სივრცეში ერთიმეორისაგან მეტისმეტად დაშორებული.

მაშასადამე, როცა ვამბობთ, „ესა და ეს ვარსკვლავი ამა და ამ თანავარსკვლავედშია“, ამით მხოლოდ ვარსკვლავისაკენ მიმართულებას ვუჩვენებთ და არა მის მდებარეობას სივრცეში.

მანძილი ბევრ უახლოეს ვარსკვლავამდე და, შათი არა მარტო ხილული, არამედ სივრცეში მდებარეობა დიდის გაჭირვებით განსაზღვრეს. ვარსკვლავთ დიდი უმრავლესობისათვის კი ერთმანეთს შორის მანძილის განსაზღვრა ჯერ კიდევ ვერ ხერხდება.

ვარსკვლავი კაშკაშა შეიძლება მოგვეჩვენოს ჩვენთან სიახლოვის, ანდა იმის გამო, რომ სიშორის მიუხედავად მისი სინათლის ჭეშმარიტი ძალა ძალიან დიდია. 20 უახლოესი ვარსკვლავიდან მხოლოდ სამი ჩანს შეუიარაღებელი თვალით, ხოლო 20 ვარსკვლავიდან, რომლებიც ყველაზე კაშკაშა გვგონია, მხოლოდ სამი შედის უახლოესთა რიცხვში. დანარჩენი ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები ჩვენგან ძალიან შორს იმყოფებიან, მაგრამ დიდი რაოდენობით გამოასხივებენ სინათლეს.

ვარსკვლავის სინათლის ძალას მზესთან შედარებით ბრწყინვალება ეწოდება. ამიტომ, როცა ამბობენ ვარსკვლავის ბრწყინვალება 5-ს უდრისო, ეს იმას ნიშნავს, რომ სინამდვილეში ის მზეზე 5-ჯერ კაშკაშაა; თუკი ვარსკვლავის ბრწყინვალება 0,2-ით აღინიშნება, ეს იმაზე მიუთითებს, რომ ვარსკვლავი მზეზე 5-ჯერ უფრო ნაკლები სიკაშკაშისაა.

ბრწყინვალება შეიძლება გამოვიანგარიშოთ, თუ ვიცით მანძილი მოცემულ ვარსკვლავამდე, და პირიქით, თუ ცნობილია ბრწყინვალება, ადვილად განვსაზღვრავთ ვარსკვლავამდე მანძილს, რამდენადაც სინათლის წყაროს ხილული სიკაშკაშე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად იცვლება.

მეტად ვრცელი და მრავალფეროვანია ვარსკვლავთა სამყარო. თუ მზის სინათლეს სანთლის შუქად მივიღებთ, მაშინ ციურ სამყაროში არიან ციცინათელებივით მოციმციმე ვარსკვლავებიც და პროჟექტორებივით მძლავრად მოკაშკაშეებიც. უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, არის სინათლის ძალის მიხედვით მზეზე 50 000-ჯერ სუსტი ვარსკვლავები (მათ შორის ჩვენ მხოლოდ უახლოეს ვარსკვლავებს ვხედავთ) და მილიონჯერ უფრო კაშკაშა. ზოგიერთი ვარსკვლავი ხანდახან მზეზე მილიარდჯერ მეტად ანათებს. მათ შესახებ ქვემოთ გვექნება საუბარი.

ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები ყველაზე სუსტ ვარსკვლავებზე ათეულობით მილიარდჯერ ბრწყინვალეა. ამრიგად, როცა ვამბობთ, ყველა ვარსკვლავი მზეს წარმოადგენსო, ვგულისხმობთ, რომ თვითეული მათგანი მაღალი ტემპერატურის შედეგად თვითმნათი ციური სხეულია. მათი სინათლის ძალა, ანუ ბრწყინვალება და ზომები კი სხვადასხვაგვარია.

ვარსკვლავური ტემპერატურის „თერმომეტრები“

ვარსკვლავები არა მარტო სინათლის ძალით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, არამედ ფერითაც. თუ დავუკვირდებით კაშკაშა ვარსკვლავებს, შევნიშნავთ, რომ ისინი სხვადასხვა ფერისანი არიან: ცისფერი, თეთრი, ყვითელი, ნარინჯისფერი, წითელი. როგორც მეცნიერებმა დაადგინეს, ვარსკვლავების ფერი მათი ზედაპირის ტემპერატურას შეესატყვისება. მოცისფრო ვარსკვლავები ყველაზე ცხელია — ამ ვარსკვლავების ზედაპირზე ტემპერატურა ათეულათასობით გრადუსს აღწევს, თეთრი ვარსკვლავების (როგორიცაა სირიუსი და ვეგა) ზედაპირზე — 10 000°-ს, ყვითლისა (როგორიცაა კაპელა და ჩვენი მზე) — 6000°-ს, წითელი ვარსკვლავების (ბეტელჰეიზესა და ანტარესის) ზედაპირზე კი — 3000°-ს და ნაკლებს. ვიმეორებთ, ეს ვარსკვლავის ზედაპირის ტემპერატურაა. ვარსკვლავის ცენტრის მიმართულებით ტემპერატურა იზრდება და ცენტრში მილიონ და ათობით მილიონ გრადუსს აღწევს. დედამიწაზე დღემდე ასეთი მაღალი ტემპერატურის მიღება მიუღწეველი იყო. მხოლოდ ახლა, ატომური და წყალბადის ბომბის აფეთქების შედეგად წარმოიქმნება იგი მცირე ხნით. ასეთი მაღალი ტემპერატურის წარმოქმნის მიზეზი ორივე შემთხვევაში ერთსა და იმავე ხასიათს ატარებს, კერძოდ, ვარსკვლავთ წიაღში ატომის ბირთვებს შორის მიმდინარეობს რეაქცია—წყალბადი თანდათანობით გარდაიქმნება ჰელიუმად. სწორედ ეს რეაქციები უნარჩუნებენ დროის ვეებერთელა შუალედებში მზესა და ვარსკვლავებს მძლავრ სითბურ და სინათლის გამოსხივების უნარს.

ვარსკვლავთ ტემპერატურისა და მათში მიმდინარე ატომური რეაქციების შესწავლას უაღრესად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. სწორედ ამ საკითხების შესწავლა დაეხმარა მეცნიერებს, დაუფლებოდნენ ატომის ენერგიას დედამიწაზე. ვარსკვლავთა წიაღი თითქოს გიგანტურ ფიზიკურ ლაბორატორიას წარმოადგენს. ის გვეხმარება, შევისწავლოთ ნივთიერებათა თვისებები ისეთ პირობებში, როგორიც, საერთოდ, განუხორციელებელია დედამიწაზე ან ხელმისაწვდომია მხოლოდ ლაბორატორიებში და ისიც ძალზე მცირე ხნით.

ვარსკვლავთ წიაღის ფიზიკურ მონაცემებს, კერძოდ მათ ტემპერატურას, გაანგარიშების გზით ვარსკვლავთა ზედაპირის შესწავლის საფუძველზე იგებენ. გაანგარიშება ხდება ფიზიკურ კანონებზე დაყრდნობით.

რა თქმა უნდა, ვარსკვლავების ზედაპირზე ტემპერატურის თერმომეტრით გაზომვა შეუძლებელია. ამისათვის არსებობს სხვა საშუალებები.

თუ ვარსკვლავის სინათლეს მინის პრიზმით სპექტრად დავშლით, რომელსაც ცისარტყელას სახე აქვს, აღმოჩნდება, რომ, რაც უფრო წითელია ვარსკვლავი და დაბალი ტემპერატურა აქვს, მით უფრო კაშკაშაა მისი სპექტრის წითელი სხივები. სწორედ სპექტრის გასწვრივ სიკაშკაშის განაწილების მიხედვით მსჯელობენ ვარსკვლავის ზედაპირის ტემპერატურის შესახებ.

ვარსკვლავის ტემპერატურა შეიძლება დედამიწამდე მოღწეული სითბოს რაოდენობითაც განისაზღვროს. მაგრამ ამისათვის უნდა ვიცოდეთ მანძილი ამ ვარსკვლავამდე და მისი სიდიდე. დიდი ტელესკოპით შეგროვილ ვარსკვლავის გამოსხივებას მიმართავენ თერმოელემენტისაკენ, რომელიც წარმოადგენს სხვადასხვა ლითონისაგან დამზადებულ წვრილი მავთულების ნარჩილს. ნარჩილის გახურების დროს მავთულებში წარმოიქმნება ელექტროდენი. ელექტროდენის ძალის გაზომვითაც ვიგებთ სითბოს რაოდენობას, რომელიც მოდის ვარსკვლავიდან. რამდენადაც ეს სითბო ძალიან მცირე რაოდენობით აღწევს ჩვენამდე, მის გასაზომად საჭიროა ძალიან მგრძნობიარე თერმოელემენტი.

ყველაზე ცივ ვარსკვლავებსაც კი იმდენად მაღალი ტემპერატურა აქვთ, რომ მათი ნივთიერებები გავარვარებული გაზის მდგომარეობაში იმყოფება, ისევე როგორც მზისა. თუ მოვიგონებთ, რომ პლანეტების მასა გაცილებით ნაკლებია მზისა და ვარსკვლავების მასაზე, საინტერესო დასკვნამდე მივალთ: ციურ სამყაროში ნივთიერებათა დიდი უმრავლესობა გავარვარებული გაზის მდგომარეობაშია, ძალიან მცირე ნაწილია მყარი ან თხევადი, ხოლო ცოცხალი ნივთიერებების წილად ძალიან ბევრ ვარსკვლავსაც რომ ჰყავდეს დასახლებული პლანეტები, სულ უმნიშვნელო რაოდენობა მოვა.

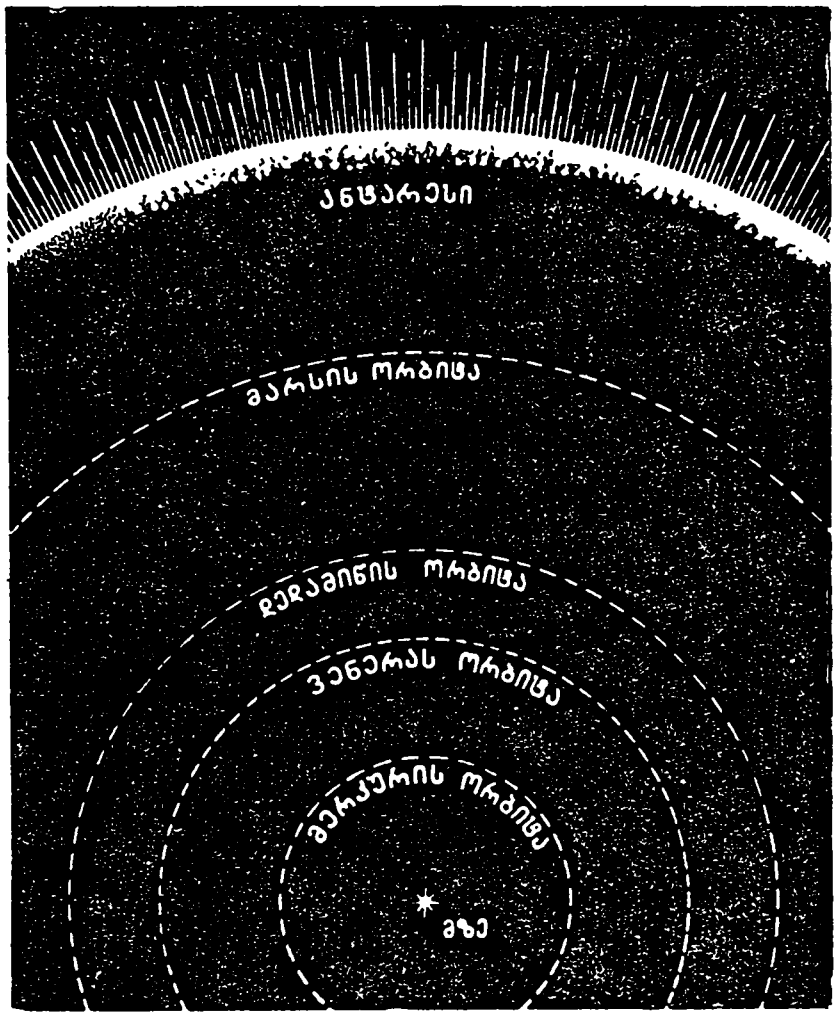
ვარსკვლავების სპექტრების ბნელი ხაზების მიხედვით იგებენ ვარსკვლავების ქიმიურ შედგენილობას, რომელიც უმეტესად ისეთივეა, როგორიც მზისა. ძირითადად ეს არის წყალბადი, შემდეგ კი ჰელიუმი. სხვა ქიმიური ელემენტები ძალზე მცირე რაოდენობითაა. მაშასადამე, ყველა ციური სხეული იმავე ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება, რომლებსაც ჩვენ დედამიწაზე ვხვდებით.

ᲯᲣᲯᲔᲑᲘ ᲓᲐ ᲒᲘᲒᲐᲜᲢᲔᲑᲘ ᲕᲐᲠᲡᲙᲕᲚᲐᲕᲗ ᲡᲐᲛᲧᲐᲠᲝᲨᲘ

ენერგიის რაოდენობა, რომელსაც ვარსკვლავის ზედაპირის, ვთქვათ 1 მ² ერთეული გამოასხივებს, დამოკიდებულია ვარსკვლავის ტემპერატურაზე და მასთან ერთად მატულობს. ერთი და იგივე ტემპერატურიანი ორი ვარსკვლავის ზედაპირის თანაბარი ფართობი ერთნაირად გამოასხივებს. მაშასადამე, თუ ერთი და იგივე ტემპერატურიანი ორი ვარსკვლავის ბრწყინვალება განსხვავებულია, მაგალითად 100-ჯერ, მაშინ ასევე განსხვავებული იქნება მათი ზედაპირებიც. დიდი ზედაპირი მეტ ენერგიას გამოასხივებს. მაგრამ სფეროს ზედაპირი, რომლის ფორმაც ვარსკვლავებსა აქვთ, რადიუსის კვადრატის პროპორციულია. ესე იგი, ჩვენს მაგალითში ვარსკვლავს, რომელსაც იმავე ტემპერატურაზე 100-ჯერ მეტი ბრწყინვალება აქვს, რადიუსი ან დიამეტრი 10-ჯერ დიდი ექნება.

თუ გავითვალისწინებთ ტემპერატურათა სხვაობას, ვარსკვლავის ბრწყინვალების მიხედვით შეიძლება გამოვითვალოთ მისი რადიუსი. აღმოჩნდება, რომ განსხვავება ვარსკვლავთა სიდიდეებში საგრძნობლად დიდია, თუმცა ბრწყინვალების სხვადასხვაობასთან შედარებით მცირე.

ვარსკვლავთ სამყაროში არსებობს ჯუჯა და გიგანტი ვარსკვლავები. ჩვენი მზე და მასზე დიდი ვარსკვლავებიც კი ჯუჯებად ითვლება,



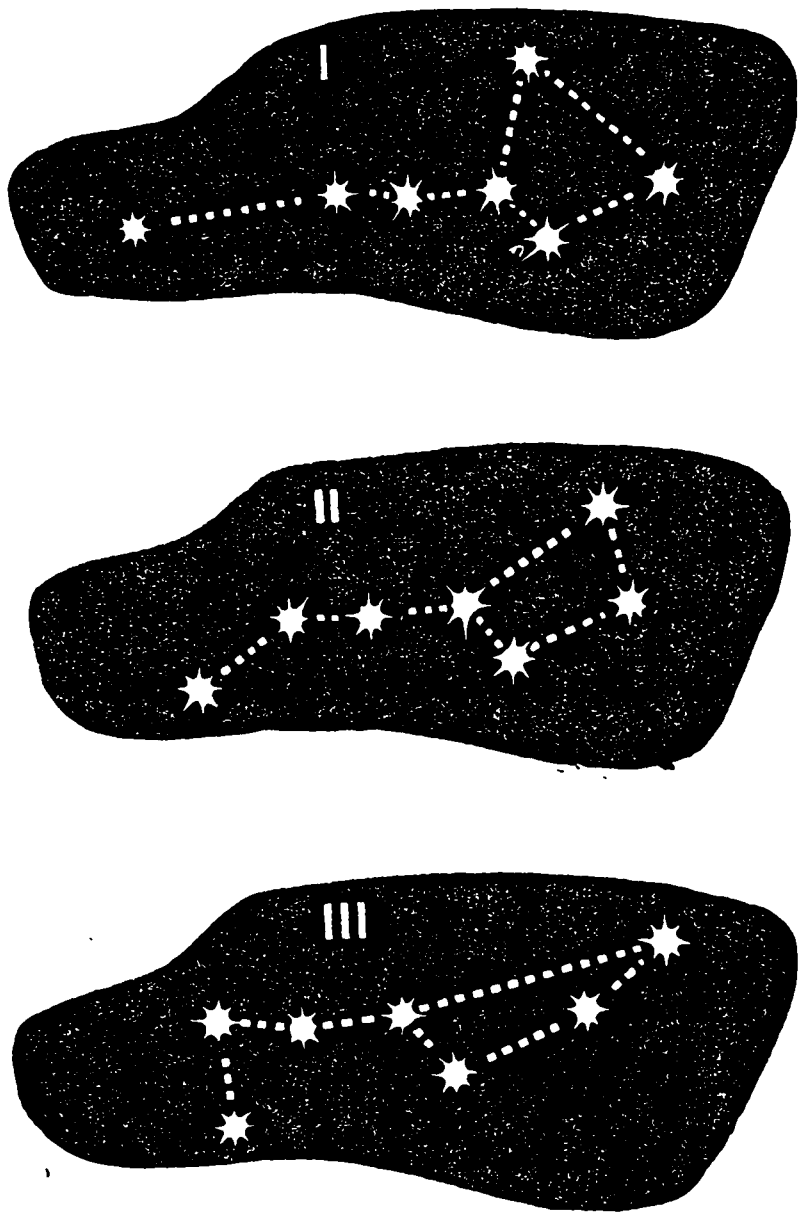
ანტარესი ისეთი ვეება ვარსკვლავია, რომ მის შიგნით ჩოთავსდებოდა მზე და მერკურის, ვენერას, დედამიწისა და მარსის ორბიტები.

თუმცა მზე დიამეტრის მიხედვით 109-ჯერ უფრო დიდია დედამიწაზე. რაც უფრო ცივი და წითელია ჯუჯა ვარსკვლავები, მით უფრო პატარებია ისინი. წითელი ჯუჯა ვარსკვლავები დიამეტრის მიხედვით მზეზე ერთი ათჯერ მცირენი არიან და, როგორც ჩანს, ვარსკვლავთ სამყაროს უმრავლესობას შეადგენენ. რაც უფრო დიდია ვარსკვლავი, მით უფრო იშვიათად ვხვდებით მას სივრცეში. განსაკუთრებით იშვიათად ვხვდებით ვარსკვლავ-გიგანტებს. ჯუჯა ვარსკვლავების საწინააღმდეგოდ, რაც უფრო ცივი და წითელია გიგანტები, მით უფრო დიდებია. ისე რომ, ყველაზე ვეება ვარსკვლავები წითელი გიგანტები არიან. ორიონის თანავარსკვლავედში წითელი ვარსკვლავის — ბეტელჰეიზეს დიამეტრი 300-ჯერ უფრო დიდია მზის დიამეტრზე, ხოლო წითელი ანტარესი ღრიანკალის თანავარსკვლავედში დიამეტრის მიხედვით 450-ჯერ აღემატება მზეს. ასეთ ვარსკვლავებს, ჩვეულებრივ, უწოდებენ ზეგიგანტებს. ყვითელი გიგანტი კაპელა მეეტლის თანავარსკვლავედიდან მხოლოდ 12-ჯერაა მზეზე დიდი. ამჟამად ცნობილი ვარსკვლავებიდან ერთ-ერთი ყველაზე დიდი ვარსკვლავია ცეფევსის VV. ამ გიგანტურ სფეროს შიგნით მოთავსდებოდა ყველა პლანეტის ორბიტები იუპიტერის ჩათვლით. ასეთი ზეგიგანტი ვარსკვლავები ძალიან იშვიათია. ისინი სინათლის უდიდესი ძალის წყალობით უშორესი მანძილიდან ჩანან. უახლოეს ვარსკვლავამდე 7-ჯერ მეტი მანძილიდან ჩვენი მზე სუსტად მოკიაფე ვარსკვლავივით გამოჩნდებოდა და შეუიარაღებელი თვალისათვის უხილავი იქნებოდა. ზეგიგანტი ვარსკვლავები კი ასეთი სიშორიდან პლანეტა ვენერაზე უფრო მეტად იკაშკაშებდნენ.

ვარსკვლავების მასები ისე მკვეთრად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, როგორც მათი ბრწყინვალება და სიდიდე, თუმცა რამდენადაც უფრო ბრწყინვალეა ვარსკვლავი, მით უფრო დიდია მისი მასაც. ზეგიგანტი ვარსკვლავი რომ შევაწონასწოროთ, სასწორის მეორე ჯამზე მზის მსგავსი რამდენიმე ათეული ვარსკვლავი უნდა მოვათავსოთ, ან უფრო მეტი წითელი ჯუჯა ვარსკვლავის მოთავსება მოგვიხდება, რადგანაც ისინი მზეზე რამდენჯერმე მსუბუქები არიან.

თუ ვარსკვლავის მასას მის მოცულობაზე გავყოფთ, გავიგებთ ვარსკვლავის საშუალო სიმკვრივეს. მზის საშუალო სიმკვრივე $1^1/_2$-ჯერ მეტია წყლის სიმკვრივეზე, ხოლო წითელი ჯუჯა ვარსკვლავებისა — გაცილებით მეტი. ასეთი სიმკვრივის სითხე რომ არსებობდეს, მასში საცობებივით იტივტივებდნენ უთოები და ორთქლმავლები. გიგანტებისა და ზეგიგანტების შემადგენელი გაზების სიმკვრივე ძალიან მცირეა — ჩვეულებრივი ჰაერის სიმკვრივეზე რამდენიმე ათასჯერ და მილიონჯერ ნაკლები.

განსაკუთრებით საინტერესოა თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავები, რომლებიც იშვიათად გვხვდება. მათ ეს სახელწოდება თეთრი ფერისა და სიმცირის გამო მიიღეს. ამ თეთრი და ცხელი ვარსკვლავების მასა დაახლოებით მზის მასის ტოლი ან ოდნავ ნაკლებია. მაგრამ ეს მასა მცირე მოცულობაშია მოთავსებული. მაგალითად, სირიუსის თანამგზავრი დიამეტრის მიხედვით მზეზე 30-ჯერ პატარაა; ხოლო მოცულობის მიხედვით — 27000-ჯერ. ამის შედეგად მისი საშუალო სიმკვრივე და-



დიდი დათვის თანავარსკვლავედის ჩამჩაში ვარსკვლავების განლაგება მათი საკუთარი მოძრაობის შედეგად დროთა განმავლობაში იცვლება.

I — ჩამჩის ხედი რამდენიმე ათეული ათასი წლის წინათ.
II — ამჟამად.
III — რამდენიმე ათეული ათასი წლის შემდეგ.

ახლოებით 30 000-ჯერ მეტია წყლის სიმკვრივეზე. რომ შეიძლებოდეს სირიუსის თანამგზავრის ნივთიერებით ასანთის კოლოფის ავსება, ეს კოლოფი მთელი კლასის მოსწავლეთა წონას შეიწონასწორებდა. ზოგიერთი სხვა თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავი კიდევ უფრო მკვრივია და ამ ნივთიერებით გამოვსებული ასანთის ერთი კოლოფი თანამედროვე ორთქლმავალს შეიწონასწორებდა.

რა არის ეს უჩვეულო ნივთიერება? თურმე ეს ისეთივე გაზებია, როგორსაც დედამიწაზეც ვხვდებით, მხოლოდ განსაკუთრებულ მდგომარეობაში მყოფი. გაზის ატომები რთულ სისტემებს წარმოადგენს. ისინი შედგებიან ბირთვებისა და მათ ირგვლივ მბრუნავი ელექტრონებისაგან. წნევის გავლენით შეუძლებელია ამ ატომების ერთმანეთთან მიახლოება მათი სისტემების ურთიერთშეხებაზე მეტად ისე, რომ არ დაირღვეს ეს სისტემები. თეთრი ჯუჯების ბირთვში ძალიან მაღალი ტემპერატურისას ატომები საოცარი სისწრაფით დაჭრიან და შეჯახების დროს იშლებიან. ბირთვებსა და მათ ირგვლივ მბრუნავი ელექტრონების სისტემიდან ისინი გადაიქცევიან ბირთვებისა და ელექტრონებისაგან შემდგარ არაწესიერ ნარევად. ამ უკანასკნელთა სიდიდე გაცილებით ნაკლებია ატომების, როგორც სისტემების, სიდიდეზე. ასეთი გათიშული ნაწილაკები შეიძლება უფრო მეტად შემჭიდროვდეს, რის შედეგადაც მიიღება უჩვეულო სიმკვრივის ნივთიერება. გაზების ამ მდგომარეობამდე დამწნეხ ძალას ვარსკვლავის ზედა ფენების წონა წარმოადგენს.

ამრიგად, წარმოუდგენლად გაიშვიათებული ზეგიგანტები და უჩვეულოდ მკვრივი თეთრი ჯუჯები გავარვარებული გაზებისაგან შედგება. ზოგჯერ ეს გაზები ვარსკვლავებში ისეთ თვისებებს ამჟღავნებენ, რაც დედამიწაზე ცნობილი არ არის. ეს კიდევ ერთი მაგალითია იმისა, თუ როგორ გვეხმარება ვარსკვლავთა შესწავლა ფიზიკური ცოდნის გაღრმავებაში, რომლის საფუძველზეც ვითარდება არა მარტო ფიზიკა, არამედ ტექნიკაც.

ᲬᲧᲕᲘᲚᲔᲑᲘ ᲓᲐ ᲡᲐᲛᲔᲣᲚᲔᲑᲘ ᲕᲐᲠᲡᲙᲕᲚᲐᲕᲗ ᲡᲐᲛᲧᲐᲠᲝᲨᲘ

დიდი დათვის თანავარსკვლავედის ჩამჩის სახელურში ბოლოდან მესამე, კაშკაშა ვარსკვლავს რომ შეხედოთ, მის ახლოს დაინახავთ სუსტ ვარსკვლავს — მის თანამგზავრს. კაშკაშა ვარსკვლავს არაბებმა ოდესღაც მიცარი უწოდეს, ხოლო მის თანამგზავრს — ალკორი.

თუ ბინოკლით შევხედავთ ბერძნული ასო ეფსილონით (ε) აღნიშნულ ვარსკვლავს ლირას თანავარსკვლავედში, დავინახავთ, რომ ის ერთიმეორესთან ახლოს მდებარე ორი ვარსკვლავისაგან შედგება. ტელესკოპით ასეთი ორჯერადი ვარსკვლავები ბევრია აღმოჩენილი. ხშირად თითქმის ერთი და იმავე მიმართულებით ორი ვარსკვლავი ჩანს. სივრცეში ისინი ერთმანეთისაგან

ძალიან დიდი მანძილით არიან დაშორებული და არაფერი აქვთ საერთო. მაგრამ ხშირია შემთხვევები, როცა ეს ვარსკვლავები სივრცეშიც ახლოს არიან ერთმანეთთან და ერთად მოძრაობენ. ზოგჯერ ეს ტყუპი ვარსკვლავები არც ფერით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და არც სიკაშკაშით, ზოგჯერ კი სხვადასხვა ფერისანი არიან. ერთი მათგანი ყვითელია ან ნარინჯისფერი, ხოლო მეორე — მოცისფრო. ძალიან საინტერესოა ასეთ ვარსკვლავებზე ტელესკოპით დაკვირვება. ისინი უჩვეულოდ ლამაზები არიან.

ორჯერად ვარსკვლავებს ფიზიკურად მჭიდროდ აკავშირებს მსოფლიო მიზიდულობის ძალები. ეს ვარსკვლავები ერთადაა წარმოშობილი.

როდისაა ორი ვარსკვლავის სიახლოვე მოჩვენებითი და როდის რეალური? ამ კითხვაზე პასუხს იძლევა ვარსკვლავთა შორის ხილული მანძილისა და მათი ურთიერთგანლაგების გულდასმითი გაზომვა. თუ ვარსკვლავები ურთიერთსიახლოვეში არიან და ერთმანეთს იზიდავენ, მაშინ ორივემ მასის საერთო ცენტრის ირგვლივ უნდა იბრუნოს, როგორც დედამიწა ბრუნავს მზის გარშემო ან მთვარე დედამიწის გარშემო. ეს მართლაც შეინიშნება, მაგრამ ვარსკვლავთ ბრუნვის პერიოდი, ჩვეულებრივ, ძალიან ხანგრძლივია — ათეულ, ათასეულ და ათეულათასობით წლებსაც კი აღწევს. რაც უფრო ახლოს არიან ვარსკვლავები ერთმანეთთან, მით უფრო სწრაფად ბრუნავენ ისინი თავის ელიფსურ ორბიტებზე და მით უფრო მოკლეა მათი ბრუნვის პერიოდი. თუ მოძრაობა ძალიან ნელია და პერიოდი ძალიან ხანგრძლივი, ძნელი გასარჩევია, რეალურია თუ არა სიახლოვე ორ ვარსკვლავს შორის, რადგან ორჯერად ვარსკვლავებზე დაკვირვება მხოლოდ XVIII საუკუნის დამლევიდან, ესე იგი, ორასზე ნაკლები წლის წინ დაიწყეს, ხოლო ძალიან ბევრი ორჯერადი ვარსკვლავის ბრუნვის პერიოდი მნიშვნელოვნად აღემატება ამ დროს.

ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი სირიუსი — ორჯერადია. ამ ვარსკვლავის თანამგზავრი — თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავი (რომელზეც ზემოთ გვქონდა საუბარი) მთავარი ვარსკვლავის ირგვლივ 50 წლის განმავლობაში გარემოიქცევა და ოცჯერ უფრო შორდება მას, ვიდრე დედამიწა მზეს.

დედამიწის სამხრეთ ნახევარსფეროდან ხილული, ჩვენთვის უახლოესი ვარსკვლავი — ალფა კენტავრი — სინამდვილეში ჩვენი მზის მსგავსი ორი ძირითადი ვარსკვლავისაგან შედგება. მათი ბრუნვის პერიოდი თითქმის 80 წელს უდრის, ხოლო საშუალო მანძილი მათ შორის 23-ჯერ მეტია, ვიდრე დედამიწასა და მზეს შორის.

ამ ორ ვარსკვლავს შორეული თანამგზავრი ახლავს, რომელიც ძლიერ დიდი პერიოდით გარეშოიქცევა მათ ირგვლივ. სწორედ ახლა ეს წითელი ჯუჯა თანამგზავრი რამდენადმე ახლოს იმყოფება ჩვენთან, ვიდრე ორივე მთავარი ვარსკვლავი. ამიტომ ალფა კენტავრის თანამგზავრს უახლოეს კენტავრს უწოდებენ (ლათინურად — proxima). ეს არის ყველაზე უახლოესი ვარსკვლავი, რომლის სინათლეც ჩვენამდე დაახლოებით ოთხი წლის განმავლობაში აღწევს. ის ჩვენგან 270 000-ჯერ უფრო შორსაა, ვიდრე მზე.

ალფა კენტავრი სამჯერადი ვარსკვლავია. ასეთი ვარსკვლავები, ბევრად უფრო იშვიათად გვხვდება, ვიდრე ორჯერადი ვარსკვლავები, მაგრამ არსებობს უფრო რთული სისტემებიც.

ვარსკვლავებს, რომლებიც ორჯერად, სამჯერად და უფრო დიდ სისტემებში შედიან, ამ სისტემათა კომპონენტები ეწოდება.

თუ ტელესკოპში გავხედავთ დიდი დათვის ვარსკვლავებს მიცარსა და ალკორს, დავინახავთ, რომ მიცარი თვითონ შედგება ორი ვარსკვლავისაგან. ხოლო ბინოკლში ხილული ლირას ეფსილონის თვითეული კომპონენტი თავის მხრივ ორჯერადია.

სპექტრული ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვამჟღავნოთ ისეთი ვარსკვლავების ორჯერადობა, რომელთა კომპონენტები ერთიმეორის ახლოს იმყოფება და ძალიან სწრაფად ბრუნავს ორბიტაზე. უძლიერეს ტელესკოპშიაც კი ასეთი ვარსკვლავების სხივი ერთმანეთს ერწყმის და ჩვენ მხოლოდ ერთ ვარსკვლავს ვხედავთ, სპექტრული ანალიზი კი ადასტურებს ვარსკვლავის ორჯერადობას. ვარსკვლავების სიჩქარე, როცა ისინი ერთმანეთის გარშემო ბრუნავენ, საწინააღმდეგო მხარეებისკენაა მიმართული და ამიტომ მათი სპექტრის ბნელი ხაზებიც საწინააღმდეგო მხარესაა გადაადგილებული. ორჯერადი სისტემის სპექტრის ხაზები გაორებულია და როცა ამ სისტემის ვარსკვლავთა მოძრაობის სიჩქარე ორბიტებზე ჩვენს მიმართ იცვლება, იცვლება მანძილიც სპექტრის ორმაგ ხაზებს შორის.

მიცარის ერთ-ერთი კომპონენტი, რომელსაც ჩვენ ტელესკოპში ვხედავთ, ორჯერადი ვარსკვლავია. ამ კომპონენტის გარემოქცევის პერიოდი დაახლოებით ათ დღე-ღამეს უდრის, რაც ვარსკვლავების ახლო მდებარეობით აიხსნება. ასეთივე მჭიდრო, სპექტრულად ორჯერადი ვარსკვლავებია ლირას ეფსილონის ზოგიერთი კომპონენტი, რომლებიც ცალ-ცალკე ჩანან ტელესკოპში. ამრიგად, მიცარი ალკორთან ერთად ოთხჯერადი ვარსკვლავია, ხოლო ლირას ეფსილონი — ექვსჯერადი.

საზოგადოდ, ორჯერადი და მრავალჯერადი ვარსკვლავები ცოტა არ არის. როგორც ჩანს, საშუალოდ სამი-ოთხი ვარსკვლავიდან ერთი ორჯერადია. ჩვენი მზე განმარტოებული ვარსკვლავია.

ზოგიერთი უახლოესი ვარსკვლავის მახლობლად აღმოჩენილია მცირე მასის უხილავი თანამგზავრები. ისინი შენიშნეს უხილავი თანამგზავრის მიზიდულობით გამოწვეული ვარსკვლავების ოდნავ შესამჩნევი მოძრაობით. ჯერ კიდევ არ არის ზუსტად დადგენილი, ეს თანამგზავრები იუპიტერზე უფრო მასიური ცივი პლანეტებია, თუ უაღრესად სუსტად მოკიაფე პატარა ვარსკვლავები.

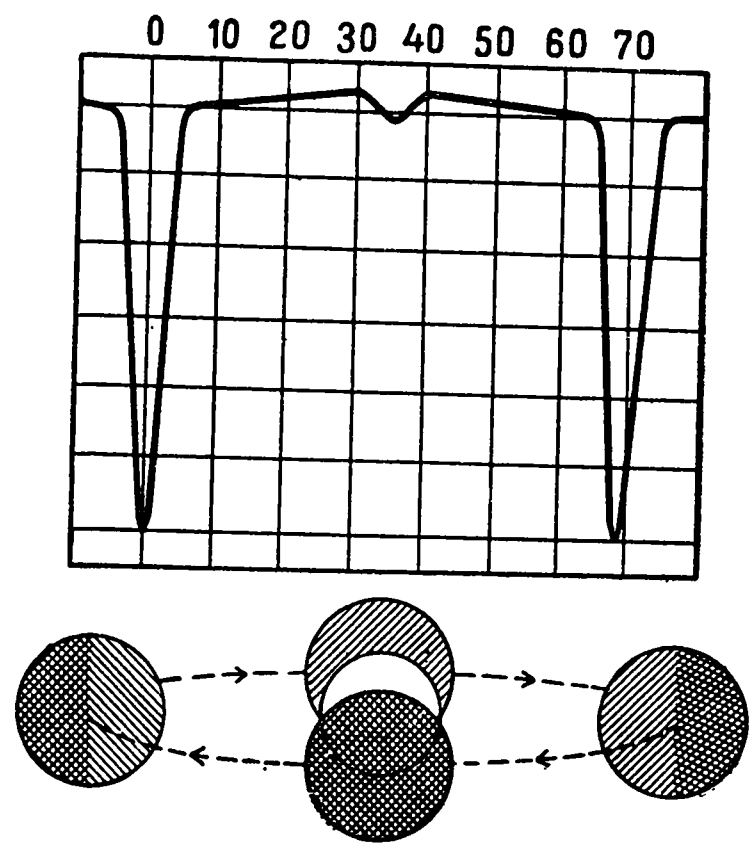
წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენ ისეთი პლანეტის მცხოვრებნი ვართ, რომელიც ორი მზის სისტემის ერთ-ერთი ვარსკვლავის გარშემო ბრუნავს. როგორ განსაცვიფრებელ მოვლენებს ვიხილავდით მაშინ ცაზე. ჰორიზონტიდან ამოვიდოდა მზის უზარმაზარი წითელი დისკო, რომელიც ასჯერ დიდი იქნებოდა ჩვენს მზეზე. უფრო მოგვიანებით ამოცურდებოდა პატარა ცისფერი მზე. ის თანდათანობით ამოეფარებოდა უფრო მასიურ პირველ მზეს და შემდეგ კვლავ გამოჩნდებოდა. ანდა წითელი შუქით სავსე დღეები შეენაცვლებოდა ცისფერ დღეებს, ხოლო ღამე სულ არ იქნებოდა. სხვადასხვა ფერის მზეთა როგორი საოცარი კომბინაციები და ფერთა როგორი მონაცვლეობა უნდა იყოს იმ პლანეტებზე, რომლებიც მრავალჯერადი ვარსკვლავების სისტემაში იმყოფებიან!

მაგრამ საეჭვოა, ორჯერად ვარსკვლავებს გააჩნდეს დასახლებული პლანეტა. იმ პლანეტების ორბიტები, რომლებიც ასეთი ვარსკვლავების ირგვლივ გარემოიქცევიან, მეტად გაჭიმული უნდა იყოს, რის გამოც პლანეტების ზედაპირზე არ შეიძლება არსებობდეს სიცოცხლისათვის აუცილებელი ტემპერატურის მუდმივი პირობები.

„ეშმაკისეული“ ვარსკვლავები

პერსევსის თანავარსკვლავედში სიკაშკაშით მეორე ვარსკვლავს, რომელიც აღინიშნება ბერძნული ასო ბეტათი (β), არაბებმა უძველეს დროში ალგოლი უწოდეს, რაც „ეშმაკს“ ნიშნავს. არაბები ალგოლს ეშმაკისეულ მოვლენებს მიაწერდნენ, იმიტომ, რომ მეორე სიდიდის ამ ვარსკვლავს დროდადრო სამ-ოთხჯერ უსუსტდება სიკაშკაშე, როცა სხვა ვარსკვლავებს სინათლე არც აკლდება, არც ემატება.

ასტრონომიის მოყვარულმა ინგლისელმა ყრუმუნჯმა ჭაბუკმა გუდრაიკმა (1765 — 1786) გამოიკვლია და ახსნა ალგოლის სიკაშკაშის ცვალებადობის კანონზომიერებანი. გამოირკვა, რომ 59 საათის განმავლობაში ვარსკვლავის სიკაშკაშე არ იცვლება, შემდეგი 5 საათის განმავლობაში კლებულობს და მომდევნო 5 საათში ისევ იზრდება თავდაპირველ სიკაშკაშემდე. ასე რომ, ვარსკვლავის სიკაშკაშე ორი დღე-ღამის, ოცი საათისა და 49 წუთის პერიოდით მერყეობს, რაც სრული სიზუსტით მეორდება. ვარსკვლავის ასეთი უცნაურობა გუდრაიკმა ალგოლის ორჯერადობით ახსნა. მისი ორბიტა თითქმის ჩვენი მხედველობის სხივ-



ზევით—ვარსკვლავ ალგოლის სიკაშკაშის ცვლილების მრუდი. ჰორიზონტალურ ღერძზე ნაჩვენებია დრო საათებში. ქვევით — ალგოლის სისტემის დაბნელების სქემა.

ზე მდებარეობს. ამიტომ, როცა ვარსკვლავები მათა საერთო ცენტრის გარშემო გარემოიქცევიან, ისინი ნაწილობრივ ფარავენ ერთმანეთს რიგრიგობით, რის შედეგადაც ხდება პერიოდული დაბნელებები.

უფრო მოგვიანებით აღმოაჩინეს, რომ ადრე ცნობილ სიკაშკაშის მინიმუმებს შორის შუალედში ალგოლის სიკაშკაშე რამდენადმე სუსტდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ალგოლის თანამგზავრი მაინც ანათებს (გუდრაიკის აზრით თანამგზავრი არ ანათებდა) და სისტემის საერთო სიკაშკაშე სუსტდება, როცა ნაკლებად მნათი ვარსკვლავი უფრო კაშკაშა ვარსკვლავითაა დაფარული.

ყრუ-მუნჯი ჭაბუკის მიერ მოვლენის ამგვარი ახსნა მეცნიერების განვითარებამ დაადასტურა. ალგოლი აღმოჩნდა ორი ვარსკვლავის მჭიდრო წყვილი, რომელთა ბრუნვის პერიოდი მისი სიკაშკაშის მოჩვენებითი ცვლილების პერიოდის ტოლია. ამ ვარსკვლავში არაფერი აღარ დარჩა ეშმაკისეული. ამჟამად მის შესახებ ყველაფერი „ეშმაკისეულად“ შესწავლილია.

ახლა ცნობილია ალგოლის მსგავსი ასობით სხვა ორჯერადი ვარსკვლავი, რომელთა სიკაშკაშე პერიოდულად ცვალებადი გვეჩვენება პერიოდული დაბნელებების შედეგად.

სამყაროს შუქურები — ცეფეიდები

ალგოლის ტიპის ვარსკვლავებს ხილული სიკაშკაშე პერიოდულად ეცვლებათ ერთი ვარსკვლავის მეორეთი დაბნელების შედეგად. მაგრამ არის ვარსკვლავები, რომლებიც მართლა იცვლიან ბრწყინვალებას. სიკაშკაშის ცვლასთან ერთად იცვლება მათი ფერი და ტემპერატურა, ზოგჯერ კი ზომებიც.

ცვალებადი სიკაშკაშის ვარსკვლავთა შორის, რომელთაც უბრალოდ ცვალებადებს უწოდებენ, ყველაზე საინტერესოა ცეფეიდები. მათ ეს სახელწოდება მიიღეს ტიპიური წარმომადგენლის — ზემოხსენებული ცეფევსის თანავარსკვლავედის დელტა ვარსკვლავის გამო. ამ ვარსკვლავის სიკაშკაშე განუწყვეტლივ იცვლება ხუთი დღე-ღამის, ათი საათისა და 48 წუთის პერიოდით $^3/_4$ ვარსკვლავიერი სიდიდის საზღვრებში. ის უფრო სწრაფად მატულობს, ვიდრე კლებულობს. სიკაშკაშის მინიმუმში ვარსკვლავი უფრო წითელია და 800°-ით ცივი, ვიდრე მაქსიმუმში. გამოირკვა, რომ ცეფეიდები მფეთქავი (პულსირებადი) ვარსკვლავები არიან. მათი ზედაპირი რეზინის გასაბერი ბურთივით ხან ფართოვდება, ხან კი მცირდება. ზედაპირის გაფართოებისა და შეკუმშვის დროს მთელი ვარსკვლავი ფეთქავს. შეკუმშვის დროს ის ხურდება, ხოლო გაფართოებისას — ცივდება. ვარსკვლავის ზედაპირის სიდიდისა და ტემპერატურის ცვალებადობა იწვევს სწორედ გამოსხივების მერყეობას.

ცნობილია ძალიან ბევრი ცეფეიდი. მათი სიკაშკაშის ცვლილების პერიოდები სხვადასხვაგვარია, რამდენიმე საათიდან 45 დღე-ღამემდე, მაგრამ თვითეულ ცეფეიდს პერიოდი არ ეცვლება. ცეფეიდებს ორი შესანიშნავი თვისება აქვთ. ჯერ ერთი, ისინი გიგანტი და ზეგიგანტი ვარსკვლავებია, რომელთაც ძალიან დიდი მანძილებიდან ვხედავთ. ცეფეიდები ისე გვინათებენ სამყაროს სიღრმიდან, როგორც შუქურები ზღვაში გასულ გემებს, და ამიტომ მათ სამყაროს შუქურები ეწოდა. მეორეც, მათი სიკაშკაშის ცვალებადობის პერიოდის ხანგრძლიობა მჭიდროდაა დაკავშირებული მათ საშუალო ბრწყინვალებასთან. რაც უფრო მეტია ბრწყინვალება, მით უფრო ხანგრძლივია სიკაშკაშის ცვალებადობის პერიოდი. ეს საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ პერიოდი, ხოლო მისი მეშვეობით გავიგოთ მოცემული ცეფეიდის ბრწყინვალება, ესე იგი, მისი ნათების ჭეშმარიტი ძალა. მაგრამ ცნობილია, რომ სინათლის წყაროს ხილული სიკაშკაშე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად კლებულობს. ამიტომ, როცა მოცემული ცეფეიდის სინათლის ჭეშმარიტ ძალას მის ხილულ სიკაშკაშეს ვადარებთ, შეგვიძლია გავიგოთ, რა მანძილითაა იგი ჩვენგან დაშორებული.

ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემა ძირითადად ნაკლებ ბრწყინვალებისა და თანაც შორეული ვარსკვლავებისაგან შედგება. ამ ვარსკვლავებამდე მანძილების განსაზღვრა ჩვენ არ შეგვიძლია. ცეფეიდებს კი ვარსკვლავთა საერთო მასაში ისე ვხედავთ შორიდანვე, როგორც დიდ გოგრებს ბაღჩაში. სივრცეში მათი განლაგების შესწავლით ჩვენ თითქოსდა ვარსკვლავთ სისტემის ხერხემალს, მის ჩონჩხს ვსინჯავთ და ამის მიხედვით ვმსჯელობთ მთლიანად მთელი ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის ფორმასა და აგებულებაზე.

უნდა შევნიშნოთ, რომ არის ცეფეიდების ერთი

სახეობა, რომელთაც ძალიან მცირე — 80 წუთამდე პერიოდი ახასიათებთ. ისინი ზომიერი ბრწყინვალების არიან და მათი საშუალო ბრწყინვალება არ არის დაკავშირებული პერიოდის ხანგრძლიობასთან. ასეთი ცეფეიდების შესწავლაც დიდ ინტერესს იწვევს ასტრონომიულ მეცნიერებაში.

საიდუმლოებით მოცული და ანთებადი ვარსკვლავები

ცეფეიდების შესწავლა იმას მოწმობს, რომ თუმცა ვარსკვლავები მილიარდი წლები არსებობენ და ძალიან ნელა იცვლებიან, ვარსკვლავთ სამყარო მაინც არ არის უცვლელი. ბევრი ვარსკვლავი სწრაფად, გრანდიოზული მასშტაბით იცვლება, თუმცა დროებით. ცეფეიდების გარდა ცნობილია სხვა ტიპის ცვალებადი ვარსკვლავები, მაგალითად, ვეშაპის ომიკრონის (o) მსგავსი. მას უწოდეს მირა, რაც „საოცარს“ ნიშნავს. 300 დღე-ღამის განმავლობაში ის მე-2 სიდიდის ვარსკვლავიდან (როგორც პოლარული ვარსკვლავი) მე-9 სიდიდის ვარსკვლავამდე დადის და უძლიერეს ბინოკლშიც კი აღარ ჩანს. მაგრამ სიკაშკაშეს ის ისე თანაბრად არ იცვლის, როგორც ცეფეიდები. არის ვარსკვლავები, რომლებსაც სიკაშკაშის ნ ა ხ ე ვ რ ა დ წ ე ს ი ე რ ი ან სრულიად ა რ ა წ ე ს ი ე რ ი ცვლა ახასიათებთ. არაწესიერად და მცირე საზღვრებში ეცვლება სიკაშკაშე ბევრ წითელ ზეგიგანტს, მაგალითად, ზემოხსენებულ ბეტელჰეიზესა და ანტარესს. ზოგიერთი ვარსკვლავი კი უწესრიგოდ და ძალიან დიდ საზღვრებში იცვლის ბრწყინვალებას.

ასტრონომების დიდი ყურადღება მიიპყრო ე. წ. ანთებადმა ვარსკვლავებმა. ესენი წითელი ჯუჯა ვარსკვლავებია. მათი სიკაშკაშე, ჩვეულებრივ, ოდნავ მერყეობს, მაგრამ ზოგჯერ უეცრად იელვებს ხოლმე წუთის რაღაც ნაწილებში და ასევე სწრაფად სუსტდება. როგორც ჩანს, ასეთი ანთების დროს მათი წიაღიდან ზედაპირზე ამოხეთქავს დიდი სიკაშკაშის გავარვარებული გაზების საოცრად ძლიერი შადრევნები, რომლებიც ვარსკვლავის საერთო სიკაშკაშეს აძლიერებენ. მაგრამ ჩვენ ჯერჯერობით არ ვიცით, რა იწვევს ამ უეცარ ანთებას, არ ვიცით აგრეთვე, რატომ წარმოიქმნება ზოგიერთი ვარსკვლავის ზედაპირზე ძლიერი მაგნიტური ველი.

ახალი და ზეახალი ვარსკვლავების ანთება— მსოფლიო კატასტროფები

ეს მოხდა 1925 წელს სამხრეთ აფრიკაში. ერთმა ასტრონომიის მოყვარულმა ფოსტალიონმა წერილები დაარიგა და შინ ბრუნდებოდა. უკვე ბნელოდა. ის ცოტა ხნით შეჩერდა, რომ თვალი შეევლო ნაცნობი თანავარსკვლავედებისათვის. აი, იქ სამხრეთის ჯვარი კიაფობს, აქ — კენტავრი, იქით კი მხატვრის თანავარსკვლავედი. მაგრამ ეს რაღაა? რატომ შეიცვალა ასე უცნაურად თანავარსკვლავედმა სახე? შეიცვალა კაშკაშა ვარსკვლავებით შემოხაზული გამოსახულება. რა მოხდა? თანავარსკვლავედში რომელიღაც კაშკაშა ვარსკვლავი ჩანს, რომელიც გუშინ არ ყოფილა. ეს ხომ პლანეტა არ არის! პლანეტები ხომ ერთი თანავარსკვლავედიდან მეორეში გადასვლას თვეებს, ზოგჯერ კი მთელ წელსაც ანდომებენ. გარდა ამისა, მხატვრის თანავარსკვლავედი არ არის ზოდიაქუ რი. მასში პლანეტები არ შედის.

გასაგებია, მხატვრის თანავარსკვლავედში ახალმა ვარსკვლავმა იფეთქა. ფოსტალიონმა დაუყოვნებლივ შეატყობინა თავისი აღმოჩენა უახლოეს ობსერვატორიას. ობსერვატორიამ დეპეშით აცნობა ასტრონომიულ აღმოჩენათა სასწრაფოდ შეტყობინების ცენტრს კოპენჰაგენში. რამდენიმე საათის შემდეგ მხატვრის თანავარსკვლავედის ახალ ვარსკვლავს აკვირდებოდა მსოფლიოს ბევრი ობსერვატორია.

ფოსტალიონი არ ყოფილა ასტრონომიის ერთადერთი მოყვარული, რომელსაც ბედმა გაუღიმა, უეცრად ანთებული ახალი ვარსკვლავი აღმოეჩინა.

მაგალითად, პერსევსის თანავარსკვლავედის ახალი ვარსკვლავი 1901 წ. აღმოაჩინა კიევის გიმნაზიის მოწაფემ ბორისიაკმა, ჰერკულესის თანავარსკვლავედის ახალი ვარსკვლავი კი 1960 წ. — ნორვეგიელმა ასტრონომიის მოყვარულმა ხასელმა.

ახალი ვარსკვლავები მოულოდნელად ინთება. თუმცა სინამდვილეში ისინი ახალი ვარსკვლავები კი არა, აქამდე მზესავით ჩვეულებრივად მნათი, მაგრამ მასზე უფრო ცხელი ზოგიერთი თეთრი ვარსკვლავის უეცარი ანთებაა. შორეული შეუმჩნეველი ვარსკვლავი ერთი-ორი დღე-ღამის განმავლობაში ჩაღდება და მისი სიკაშკაშე ათეულ ათასჯერ და უფრო მეტად მატულობს. ამ დროს

ის დაახლოებით ამდენჯერვე კაშკაშა ხდება მზეზე. თუ ჩვენთან ახლოს მდებარე ვარსკვლავი აინთო ასე, უდიდეს სიკაშკაშეში ჩვენ მას, როგორც 1-ლი სიდიდის ვარსკვლავს, ისე დავინახავთ. იმ შემთხვევაში, თუ ძალიან შორეული ვარსკვლავი აინთო, იგი უდიდესი სიკაშკაშის დროსაც ვერ მიიპყრობს ჩვენს ყურადღებას და ან შეუმჩნეველი დარჩება, ანდა მისი ანთება წლების შემდეგ გამომჟღავნდება სხვადასხვა დროის ფოტოსურათებზე აღბეჭდილი მკრთალი ვარსკვლავების ერთმანეთთან შედარებისას.

ამ ვარსკვლავებს ახალი ძველად შეარქვეს, როცა ფიქრობდნენ, რომ ნამდვილად ახალი, ჯერ არარსებული ვარსკვლავები გაჩნდა ცაზე.

ახალი ვარსკვლავი მცირე ხანს, ჩვეულებრივ, ერთ დღე-ღამეს ინარჩუნებს უდიდეს სიკაშკაშეს. უკვე მეორე დღიდან მისი სიკაშკაშე სწრაფად კლებულობს, ზოგჯერ თანაბრად, ზოგჯერ თრთოლვით, როგორც ალი კოცონის ქრობის დროს, მაგრამ რაც დრო გადის, სულ ნელა და ნელა. რამდენიმე წლის შემდეგ ის ისეთივე ხდება, როგორიც ანთებამდე იყო.

სხვადასხვა გამოკვლევებით დაადგინეს, რომ ჩვენს ვარსკვლავთ სისტემაში ყოველწლიურად ინთება ათობით ან შეიძლება ასობითაც ახალი ვარსკვლავი. მაგრამ მათ შორის მხოლოდ ზოგიერთს, უახლოეს ვარსკვლავებს, ვამჩნევთ. სულ ახლოს მდებარე ვარსკვლავები, რომლებიც მცირე ხნით უწევენ მეტოქეობას ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავებს, იშვიათია. ასეთი ვარსკვლავები დაინახეს 1901, 1918, 1920, 1925, 1934, 1940, 1944 წწ.

რამდენადაც უკეთ გეცოდინებათ ვარსკვლავიერი ცა, მით უფრო მეტი შესაძლებლობა გექნებათ აღმოაჩინოთ ახალი ვარსკვლავი. საჭიროა მხოლოდ ყოველ საღამოს რამდენიმე წუთით მაინც დააკვირდეთ ნაცნობ თანავარსკვლავედებს.

რატომ მატულობს ასე კატასტროფულად ახალი ვარსკვლავების სიკაშკაშე? როგორც ჩანს, ზოგიერთ ვარსკვლავს, ჯერ კიდევ არასრულად გამორკვეული შინაგანი ფიზიკური პროცესების გავლენით, უეცრად სწყდება გარე გარსები, რომლებიც საპნის ბუშტივით იბერება და წამში ათასამდე კილომეტრის სიჩქარით იფანტება ვარსკვლავის გარემომცველ სივრცეში. ასეთი გარსის ზედაპირი სწრაფად ფართოვდება და უფრო მეტ სინათლეს გამოასხივებს. უდიდესი სიკაშკაშის დროს გაბერილი გარსი დიამეტრის მიხედვით რამდენიმე ასეულჯერ დიდია ჩვენს მზეზე.

მაგრამ ახალი ვარსკვლავის გარსი გაბერვის დროს სულ უფრო გაიშვიათებული და გამჭვირვალე ხდება. ვარსკვლავის სიკაშკაშე იკლებს, თუმცა გარსი ისეთი გამალებული სისწრაფით განაგრძობს სივრცეში ქროლვას, რომ ვარსკვლავის მიზიდულობას ძალა არ შესწევს შეაჩეროს იგი. აფეთქებიდან რამდენიმე წლის შემდეგ გარსი ისე დიდდება, რომ ადვილად შეიძლება დავაკვირდეთ და თვალი ვადევნოთ მის გაფართოებას. ბოლოს გარსი იფანტება. ვარსკვლავი ანთება-აფეთქების დროს ძლიერ ხურდება და მისგან გავარვარებული გაზების ღრუბლები გამოხეთქავს, მაგრამ მერე თანდათანობით მშვიდდება, როგორც ვულკანი ამოფრქვევის შემდეგ.

ვულკანს ახასიათებს უეცარი განმეორებითი ამოფრქვევა. ხდება თუ არა ასეთი მოვლენა ახალ ვარსკვლავში? დიახ, ზოგიერთი მათგანი ათეული წლების შემდეგ ხელმეორედ ინთება, მაგრამ ტიპიურ ახალ ვარსკვლავებში განმეორებითი აფეთქება (და თანაც ძლიერი) კაცობრიობის ისტორიას მხოლოდ ერთხელ ახსოვს.

დღესდღეობით ჩვენ არ ვიცით ახალი ვარსკვლავების აფეთქებისა და მათი გარსების მოცილების მიზეზები. უდავოა მხოლოდ ერთი, რომ ასეთ ვარსკვლავებში გარკვეულ მომენტებში ხდება ენერგიის მძლავრი გამოყოფა, ესე იგი, აფეთქება. ამ აფეთქების დროს ვარსკვლავი თავისი მასის დაახლოებით ერთ მეათიათასედ ნაწილს კარგავს, მაგრამ არ იშლება.

ცნობილი დანიელი ასტრონომი ტიხო ბრაჰე 1572 წ. აკვირდებოდა ახალი ვარსკვლავის აფეთქებას კასიოპეას თანავარსკვლავედში. ვარსკვლავი ერთ ხანს ისევე კაშკაშებდა, როგორც ვენერა, და ამით შეარყია იმ დროს გაბატონებული რელიგიური წარმოდგენები სამყაროს უცვლელობის შესახებ.

ამ ბოლო დროს გამოირკვა, რომ ახალი ვარსკვლავი კასიოპეას თანავარსკვლავედში არ ყოფილა ჩვეულებრივი ახალი ვარსკვლავი. უდიდეს სიკაშკაშეში ამ ვარსკვლავის სინათლის ჭეშმარიტი ძალა ათეულ ათასჯერ მეტი იყო, ვიდრე ჩვეულებრივი ახალი ვარსკვლავისა. რომ უფრო ნათლად წარმოვიდგინოთ, შეგვიძლია ჩვენი მზე ციცინათელას შევადაროთ, ახალი ვარსკვლავი — სან-

თელს, ხოლო ზ ე ა ხ ა ლ ი (ასე უწოდეს ისეთ ვარსკვლავებს, როგორსაც ტიხო ბრაჰე აკვირდებოდა) — პროჟექტორს. ზეახალი ვარსკვლავი ისევე ანათებს, როგორც მთელი გიგანტური ვარსკვლავთ სისტემა, რომელიც ჩვენი მზის მსგავსი მილიარდობით მზისაგან შედგება.

მეცნიერებისათვის ჯერ კიდევ საიდუმლოებას წარმოადგენს ბუნების გრანდიოზული ძალებით წარმოქმნილი ეს კატასტროფები, რომელთაც ზეახალი ვარსკვლავების აფეთქებათა სახით ვხვდებით. შეიძლება მათი საიდუმლოებანი თქვენ ამოხსნათ, ნორჩო მკითხველებო, როცა გეცოდინებათ რაც ჩვენთვისაა ცნობილი და გამოიყენებთ მომავლის ხელსაწყოებსა და მეთოდებს, რომლებიც ჩვენ ჯერ კიდევ არ გაგვაჩნია.

მეცნიერება საუკუნეების მანძილზე ვითარდება სხვადასხვა ხალხების კოლექტიური შრომით. 1054 წ. აღმოსავლეთის სწავლულებმა მატიანეში ჩაწერეს კუროს თანავარსკვლავედში კაშკაშა ვარსკვლავის აფეთქების შესახებ. XVIII საუკუნეში ფრანგმა მესიემ ამავე თანავარსკვლავედში აღმოაჩინა კიბორჩხალისებური (რომელიც კიბორჩხალას წააგავს) ნისლეული — სუსტად მნათი მცირე სიდიდის ლაქა. XX საუკუნის დასაწყისში ამერიკელმა ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ ეს ნისლეული გაზოვანი ღრუბელია და წამში 1000 კმ სიჩქარით ფართოვდება, ხოლო ჰოლანდიელმა მეცნიერმა ოორტმა უჩვენა, რომ ნისლეული იმყოფება იმ ზეახალი ვარსკვლავის ადგილზე, რომელსაც ჩინელი მეცნიერები აკვირდებოდნენ ცხრაასი წლის წინათ. გაფართოების იმ სიჩქარის მიხედვით, რომელიც ნისლეულს აღმოაჩნდა, მას ზუსტად ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქების წელს უნდა დაეწყო გაფართოება. მაშასადამე, ამ ვარსკვლავის აფეთქების დროს წარმოქმნილა კიბორჩხალისებური ნისლეული.

XX საუკუნის ორმოცდაათიან წლებში აღმოჩნდა, რომ კიბორჩხალისებური ნისლეული წარმოადგენს კოსმოსური რადიოგამოსხივების ერთ-ერთ უძლიერეს წყაროს. ის რადიოშუქურის მსგავსად გზავნის რადიოტალღებს სამყაროში. საბჭოთა მეცნიერებმა ეს ახსნეს ნისლეულში მაგნიტური ველის არსებობით, რომელიც ელექტრონებს (ელექტრობის უმცირეს ნაწილაკებს) ამუხრუჭებს. ეს ელექტრონები ნისლეულში დაახლოებით სინათლის სიჩქარით მოძრაობენ. ისინი წარმოიშვნენ ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქების დროს, რომელიც 1054 წ. შეამჩნიეს. როგორ მდგომარეობაში იყო ვარსკვლავი მაშინ და როგორ მდგომარეობაშია ახლა — ჩვენ ჯერ კიდევ არ ვიცით.

ზეახალი ვარსკვლავები უაღრესად იშვიათ მოვლენას წარმოადგენს. უკანასკნელი ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქება ჩვენს გალაქტიკაში შემჩნეული იყო 1604 წელს გველისმჭერის თანავარსკვლავედში, რომელსაც კეპლერი აკვირდებოდა. გამოანგარიშებულია, რომ ისეთ გიგანტურ ვარსკვლავთ სისტემებშიც კი, როგორიც ჩვენია, ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქება რამდენიმე საუკუნეში ერთხელ ხდება.

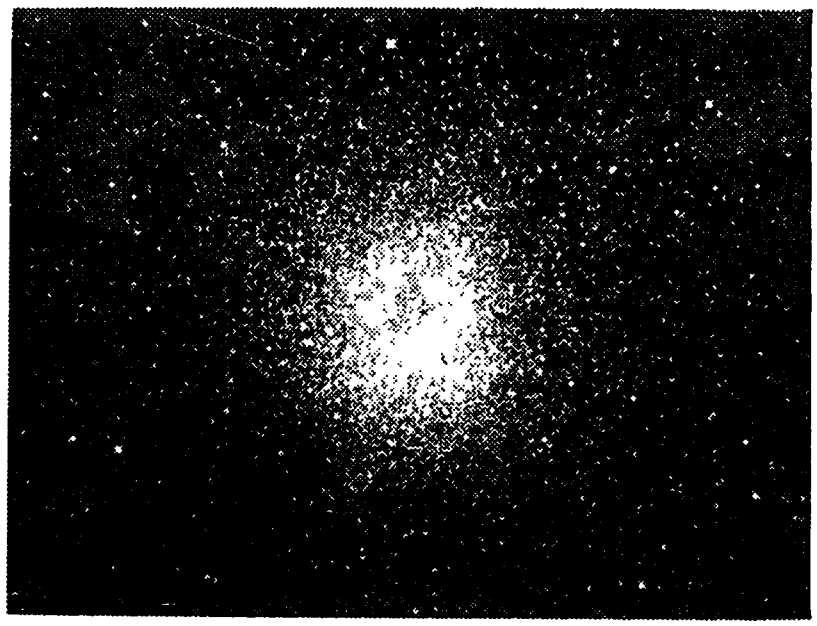
ჩვენდა საბედნიეროდ, თანამედროვე ტელესკოპებით შეგვიძლია დავინახოთ ჩვენი სისტემის მსგავსი სხვა მრავალი ვარსკვლავთ სისტემა. და აი, მათგან ხან ერთსა და ხან მეორეში შეიმჩნევა ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქება. სამწუხაროდ, ისინი ისე შორს არიან ჩვენგან, რომ მათი კარგად შესწავლა არ ხერხდება, მაგრამ უკანასკნელ წლებში სხვადასხვა ქვეყნის ობსერვატორიები შეთანხმდნენ, ჩასაფრებოდნენ, საგულდაგულოდ „ეყარაულათ“ ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქებისათვის. ამ შეთანხმებამ თავისი შედეგი გამოიღო. ამჟამად შორეულ ვარსკვლავთ სისტემებში ყოველწლიურად აკვირდებიან დაახლოებით ათეულ ზეახალ ვარსკვლავს. გამოირკვა, რომ არის ზეახალი ვარსკვლავების განსხვავებული ტიპები. ოვითეული ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქების თავისებურებას გულდასმით შეისწავლიან.

ვარსკვლავთ გროვები და კოსმოსური მტვერი

ზაფხულში განთიადისას აღმოსავლეთით ჰორიზონტზე ამოდის მკრთალი ვარსკვლავების პატარა, მჭიდრო ჯგუფი — პლეადები.

ხალხი ამ ჯგუფს ხ ო მ ლ ს უწოდებს. ჩვეულებრივად, ამ ჯგუფში ექვსი ვარსკვლავი ჩანს, მაგრამ მახვილი თვალი 7-დან 11 ვარსკვლავს დაითვლის, ტელესკოპით კი ასზე მეტს. ტელესკოპის მხედველობის ველი ვარსკვლავებითაა მოფენილი.

ვარსკვლავები პლეადებში ქაოსურადაა გაბნეული, რაც ვარსკვლავთ ღ ი ა გ რ ო ვ ე ბ ი ს თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს. წითელი ვარსკვლავის, კაშკაშა ალდებარანის ირგვლივ, რომელსაც



ფოტოსურათი ვარსკვლავთ სფერული გროვისა ჰერკულესის თანავარსკვლავედში.

უძველეს დროში კუროს თვალს უწოდებდნენ, გაფანტულია ვარსკვლავების ჯგუფი — გ ი ა დ ე ბ ი ს ვარსკვლავთ გროვა. ჩვენ ვარსკვლავთა დაახლოებით შვიდასამდე ასეთ გროვას ვიცნობთ. თვითეულ მათგანში ვარსკვლავთა რიცხვი ოშვიათად აღემატება ასს. მაგრამ არსებობს გაცილებით დიდი ზომის გროვები, რომლებშიც ბევრად უფრო მეტი ვარსკვლავი შედის. ესენია ს ფ ე რ უ ლ ი გროვები. მათში ასიათასობით ვარსკვლავია, რომლებიც უფრო ცენტრისკენ არიან შეჯგუფებული. ამ ვარსკვლავებს სფეროს ფორმის სივრცე უჭირავთ, აქედან მიიღეს გროვებმა თავიანთი სახელწოდებებიც.

მაგრამ ყველაზე ახლომდებარე სფერული გროვაც კი ისე შორს იმყოფება ჩვენგან, რომ შეუიარაღებელი თვალისათვის ძალიან მცირე, ძლივს შესამჩნევ ლაქად მოჩანს. მარტო უძლიერეს ტელესკოპში ჩანს ლაქის კიდეებზე მეჩხერად განლაგებული ცალკეული ვარსკვლავები. შედარებისათვის ამ გროვების ვარსკვლავებს შორის რომ ჩვენი მზე მოგვეთავსებინა, მაშინ ის უძლიერეს ტელესკოპშიც ძლივს გამოჩნდებოდა, რადგან ვარსკვლავთ გროვა ჩვენგან ძალიან შორს არის და ის ვარსკვლავები, რომლებსაც ასეთი ტელესკოპით ვხედავთ, მზეზე გაცილებით კაშკაშანი არიან. ერთ-ერთი ყველაზე ახლოს მდებარე ვარსკვლავთ სფერული გროვა ჰერკულესის თანავარსკვლავედში იმყოფება. ზაფხულის ღამეს ვარსკვლავიერი რუკის გამოყენებით შეგიძლიათ ბინოკლით მოძებნოთ ეს გროვა. მას თითქოს გათხაპნილი ნისლოვანი ვარსკვლავის სახე აქვს. ჩვეულებრივ ტელესკოპში ის ნისლოვან ლაქასავით მოჩანს და მხოლოდ უძლიერეს ტელესკოპში ვარჩევთ, რომ ეს არის მრავალრიცხოვან ვარსკვლავთა გროვა, რომლის ცენტრში ისინი ისე მჭიდროდ არიან განლაგებული, რომ მათი სინათლე ერთმანეთს ერწყმის.

პლეადის ტიპის ღია გროვების განივკვეთი დიდი არ არის. სინათლის სხივი მას კიდიდან კიდემდე რამდენიმე წელიწადში გაირბენს. სფერული გროვების განივკვეთი კი მნიშვნელოვნად დიდია და სინათლის სხივიც მას რამდენიმე ათეულ წელიწადში გადის. ძნელია სფერული გროვის საზღვრების გარკვეულად დადგენაც, რადგან ისინი ადვილად ერწყმიან გარემომცველ სივრცეში მდებარე ვარსკვლავებს.

ჩვენთვის ცნობილია ასზე მეტი სფერული გროვა, ამათგან მზის სისტემასთან ყველაზე უახლოესიც კი მრავალი ათასი სინათლის წლით არიან ჩვენგან დაშორებული. ამ უაღრესად დიდი მანძილების განსაზღვრა დიდხანს ვერ შეძლეს, ისინი მხოლოდ მაშინ დაადგინეს, როდესაც სფერულ გროვებში სამყაროს შუქურები — ცეფეიდები — აღმოაჩინეს. ცეფეიდების სინათლის ჭეშმარიტი ძალა ცნობილია და თუ ამ ძალას მის ხილულ სიკაშკაშეს შევადარებდით, შეიძლებოდა გამოგვეანგარიშებინა მანძილი ამ ვარსკვლავებამდე და, მაშასადამე, მანძილი სფერულ გროვამდე, რომელშიც ისინი იმყოფებიან.

წარმოიდგინეთ, როგორ გაბრწყინდებოდა ცა უთვალავი კაშკაშა ვარსკვლავით, ჩვენ რომ სფერული გროვის შუაგულში ვიყოთ. იქ ხომ გაცილებით ახლოს არიან ვარსკვლავები ერთმანეთთან, ვიდრე ჩვენი მზის სისტემის უბნებში.

სფერული გროვები — ყველაზე ძველი წარმონაქმნებია ჩვენს ვარსკვლავთ სისტემაში. მათი ასაკი მილიარდობით წელს ითვლის. ღია გროვებს სხვადასხვა ასაკი აქვთ, მაგრამ, საერთოდ, ისინი უფრო ახალგაზრდა სისტემებად ითვლებიან. ყველაზე ახალგაზრდა გროვები შეიცავს ცხელ გიგანტურ ვარსკვლავებს და წარმოიქმნა „სულ რაღაც“ რამდენიმე მილიონი წლის წინათ.

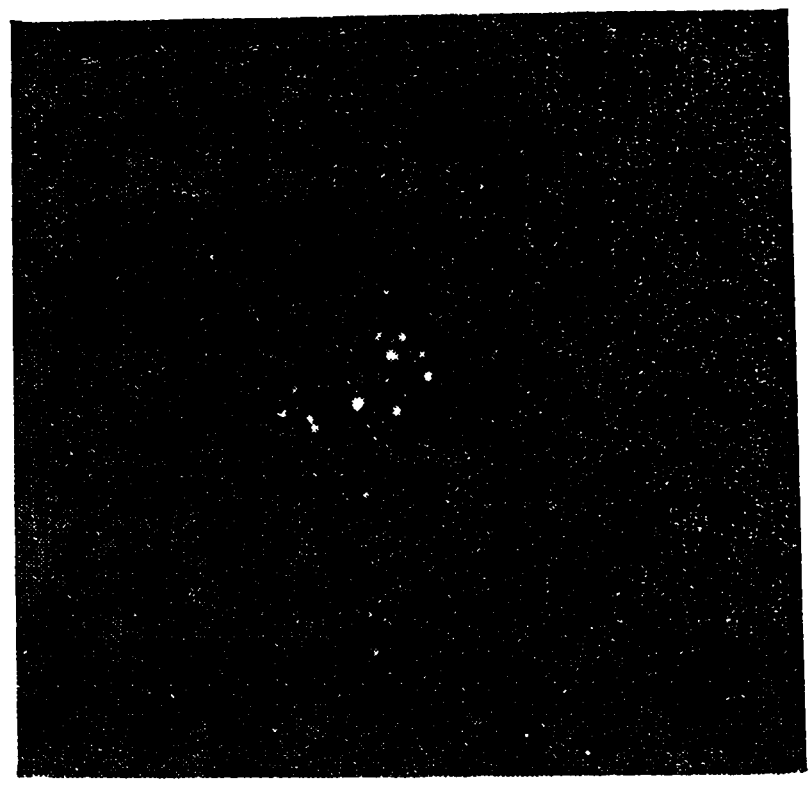
ჩვენ მხოლოდ უახლოეს ვარსკვლავთ ღია გროვებს ვხედავთ, რომლებიც მხოლოდ ახეული და ზოგჯერ რამდენიმე ათასი სინათლის წლით არიან

ჩვენგან დაშორებული. ყველა ისინი თავს იყრიან ირმის ნახტომის ზოლში. მათ შორის უფრო შორეულებს ჩვენ ვერ ვხედავთ, იმიტომ რომ ვარსკვლავთ ფენაში, რომელიც ირმის ნახტომს წარმოქმნის, ძალიან ბევრი კოსმოსური მტვრის ღრუბელია, რომელიც ასუსტებს შორეული ვარსკვლავების სინათლეს. მზეც კი იბინდება მანჭანის გავლის შემდეგ გზაზე დამდგარი მტვრის ბუღით. ათიათასობით ღია გროვა, რომელიც ალბათ ჩვენს ვარსკვლავთ სისტემაში არსებობს, კოსმოსური მტვრის ღრუბლების წყალობით ჩვენთვის უცნობი რჩება.

იგივე პლეადები მთლიანადაა ჩაფლული მტვრის უზარმაზარ ღრუბელში. ამ გროვის კაშკაშა ვარსკვლავები ისე ანათებენ თავიანთ ირგვლივ მტვერს, როგორც ფარანი — ღამით ნისლს. ხანგრძლივი დაყოვნების ფოტოზე პლეადების მთავარი ვარსკვლავები თითქმის იძირებიან მათ ირგვლივ მოჯარულ ნათელ ნისლში — მტვრის ღრუბლებში, რომელთაც თვითონვე აშუქებენ. ასე რომ, მტვრის ღრუბლები, რომლებიც ვარსკვლავის სინათლეს ეფარებიან და ირმის ნახტომის კაშკაშა ფონზე ბნელ ლაქებადაც კი ჩანან, ნათელ ნისლეულებად გამოიყურებიან, როცა მათ ახლოს ბრწყინვალე ვარსკვლავია, რომელსაც მათი განათება შეუძლია. კოსმოსური მტვერი, ყველანაირი მტვრის მსგავსად, მხოლოდ არეკლილი სინათლით ანათებს.

მაგრამ კოსმოსური მტვერი ძალიან წმინდაა. როცა სინათლე მასში გაივლის, მაშინ ლურჯი სხივები მწვანეზე მეტად სუსტდება, მწვანე — ყვითელზე მეტად, ხოლო ყვითელი — წითელზე მეტად. ამიტომ ჩვენსკენ მომავალი სხივი მტვრიან გარემოში გავლისას არა მარტო სუსტდება, არამედ უფრო მოყვითალო და მოწითალოც ხდება (ვარსკვლავთა თეთრი სინათლიდან ყველაზე უფრო ცისფერი სხივები შთაინთქმება, ყვითელი და წითელი სხივები კი მეტი რჩება).

კოსმოსური მტვრის ყველაზე ახლოს მდებარე და მკვრივი ღრუბელი ბნელ ლაქასავით ჩანს ირმის ნახტომის ფონზე სამხრეთის ჯვრის თანავარსკვლავედის ახლოს. მეზღვაურებმა ამ ლაქას „ნახშირის ტომარა“ შეარქვეს. მასზე პატარა, შავი, კარგად შესამჩნევი ლაქა შეიძლება დედამიწის ჩრდილო ნახევარსფეროდანაც დავინახოთ. ეს ლაქა კაშკაშა ვარსკვლავ დენების (გედის თანავარსკვლავედი) ახლოს შეიმჩნევა. ოდესღაც



პლეადების (ხომლის) ფოტოსურათი.

ფიქრობდნენ, რომ ირმის ნახტომის შავი ლაქები ვარსკვლავებს შორის არსებული ხვრელებია. ვარაუდობდნენ, რომ ამ ადგილებში ჩვენ შევყურებით მსოფლიო სივრცის პირდაღებულ სიცარიელეს. აღმოჩნდა, რომ პირიქით — ამ ადგილებში თურმე მტვრის „ფარდებია“ ჩამოფარებული, რომლებიც ზოგჯერ ფარავენ ჩვენგან არცთუ ისე შორეულ ვარსკვლავთ არეს.

კოსმოსური მტვერი მეცნიერებისათვის დიდ დაბრკოლებას წარმოადგენს. ის უცვლის ვარსკვლავებს ფერს, ასუსტებს მათ სიკაშკაშეს, ხოლო მათ შორის ყველაზე შორეულებს აუჩინარებს კიდეც. კოსმოსური მტვრის გამო მსოფლიო სივრცის მთელი რიგი არეები მიუწვდომელია ოპტიკური დაკვირვებებისათვის. მეცნიერები იძულებული არიან, გაითვალისწინონ კოსმოსური მტვრის გავლენა, ამისათვის კი საჭიროა მოთმინებით, თანდათანობით შეისწავლონ ყოველი მიმართულებით განლაგებული კოსმოსური მტვრის რაოდენობა და სივრცული მდებარეობა.

კოსმოსური მტვრის მცირე ნაწილი ჩნდება უმცირესი მყარი სხეულების შეჯახებითა და დაშლით, მაგრამ მისი ძირითადი მასა ალბათ ვარსკვლავთშორისი გაზების შესქელებით წარმოიქმნება, რომლის შესახებაც ახლა გიამბობთ.

გაზოვანი ნისლეულები და ვარსკვლავთშორისი გაზი

ვარსკვლავთშორისი სივრცის უჰაერობა, „სიცარიელე“ პირობითი ცნებებია. ეს სივრცე შევსებულია არა მარტო მიზიდულობის ველით, მაგნიტური ველით, ენერგიის მატარებელი სინათლისა და სითბოს სხივებით, არამედ იქ დაქრიან მტვრის უმცირესი ნაწილაკები, მოლეკულები და გაზის ატომები. ეს უხილავი გაზი აღმოაჩინეს ვარსკვლავთ სპექტრებში შთანთქმის ხაზების მიხედვით. დიდ მანძილზე ხომ ასეთი გაიშვიათებული გაზიც კი შთანთქავს გარკვეულ სხივებს ვარსკვლავის სინათლიდან, რომელიც გამჭოლად გადის მასში. რადიოასტრონომიის წარმოშობამ საშუალება მოგვცა აღმოგვეჩინა ეს უხილავი გაზი და შეგვესწავლა მისი მოძრაობა იმ რადიოტალღების მიხედვით, რომელთაც ის გამოასხივებს.

რადიოტელესკოპები საშუალებას გვაძლევენ ვარსკვლავთშორისი გაზის ღრუბლები მოვსინჯოთ ჩვენგან ისეთ დიდ მანძილზე, სადაც ჩვეულებრივ ტელესკოპებში ვარსკვლავები უკვე აღარ ჩანან, რადგან ვარსკვლავთშორისი მტვერი მათ სინათლეს შთანთქავს. რადიოტალღებისათვის ეს მტვერი თითქმის გამჭვირვალეა. მათთვის გამჭვირვალეა აგრეთვე ღრუბლებიც, რომელთა წყალობით ჩვენ ვერ ვხედავთ ვარსკვლავიერ ცას. რადიოასტრონომებისათვის ყოველთვის მოწმენდილი ამინდია.

რადიოტელესკოპები ყოველღამე სინჯავენ ცას და აღმოაჩენენ კიდეც რადიოგამოსხივებას, რომელიც ვარსკვლავთშორისი გაზის ღრუბლებიდან, ზეახალი ვარსკვლავის ნარჩენების ან კიდევ სხვა რამისაგან ვრცელდება. საოცარია თანამედროვე მეცნიერების შესაძლებლობანი!

ზამთრის უმთვარო, ნათელ ღამეში გახედეთ ორიონის ლამაზ თანავარსკვლავედს, რომელიც ცის სამხრეთ მხარეზე ბრწყინავს. ამ მითოლოგიური მონადირის სარტყელის სამი კაშკაშა ვარსკვლავის ქვემოთ მონახეთ სამი სუსტად მოციაფე ვარსკვლავი, რომლებიც მოკლე ვერტიკალურ ხაზს — ორიონის მახვილს—წარმოშობენ. მათ შუა მდებარე ვარსკვლავის ირგვლივ ბინოკლში ბუნდოვანი ციმციმი მოჩანს. ეს არის ორიონის ცნობილი გაზოვანი დიფუზური (უფორმო) ნისლეული, გაზის უზარმაზარი ღრუბელი, რომელშიც მრავალი ვარსკვლავია ჩაფლული.

მხოლოდ ფოტოსურათს შეუძლია გამოამჟღავნოს ამ გაზის მთელი სილამაზე და სტრუქტურის სირთულე, რომელიც თამბაქოს კვამლის ბოლქვების მსგავსად ნელა მოძრაობს. ამ ნათელი ნისლეულის შემადგენელი გაზიდან (რომელსაც მტვერიც ურევია) შეიძლებოდა ასობით მზის „დამზადება“. ალბათ, გაზისაგან მართლაც წარმოიქმნებიან ისინი სადღაც. მაგრამ თავიანთ წარმოქმნას ვიღაცას კი არ უნდა უმადლოდნენ, არამედ მსოფლიო მიზიდულობის ძალას, რომელიც გაიშვიათებულ გაზს შემჭიდროებულ გაზის სფერო-ვარსკვლავებად აკონდენსირებს. მაგრამ გაზისაგან წარმოქმნილი ვარსკვლავები უკვე თვითონ ანათებენ თავის სიღრმეში არსებული ენერგიის წყაროს ხარჯზე, რომელიც ატომურ გარდაქმნათა შედეგად გამოიყოფა. გაზოვანი ნისლეულები კი მხოლოდ მაშინ ანათებენ, როცა მათში ან მათ ახლოს ძალიან ცხელი, ცისფერი ვარსკვლავებია. მათი მძლავრი ულტრაიისფერი გამოსხივება (ამ გამოსხივებას განეკუთვნება რენტგენის სხივებიც, რომელთაც მედიცინაში ავადმყოფის გასაშუქებლად იყენებენ) აიძულებს გაზს ანათოს. გაზის ეს ნათება რამდენადმე წააგავს იმ ნათებას, რომელიც გაიშვიათებულგაზიან მილებში წარმოებს ელექტრომუხტის გატარების დროს. თუ ახლოს არ არის ცხელი ვარსკვლავი, გაზის ღრუბელიც უხილავი რჩება. გაზოვანი ნისლეულები, როგორც ვარსკვლავები, ძირითადად წყალბადისაგან შედგება. გარდა ამისა, მათ შემადგენლობაშია სხვა მსუბუქი გაზები — ჰელიუმი, აზოტი, ჟანგბადი და უფრო მძიმე ქიმიური ელემენტების ნაწილაკები.

საუკეთესო ტუმბოები, რომლებსაც ჩვენს ლაბორატორიებში ჰაერის ამოსაქაჩავად იყენებენ, ვერ წარმოქმნიდნენ ისეთ ვაკუუმს, როგორიც გაზოვან ნისლეულებშია. დედამიწის საუკეთესო ვაკუუმში და ნისლეულში გაზის სიმკვრივე ისევე განსხვავდება ერთმანეთისაგან, როგორც ტყვიისა და დედამიწის ვაკუუმის სიმკვრივე. ნისლეულში გაზების ნათებას იმიტომ ვხედავთ, რომ მისი სისქე ძალიან დიდია: გაზოვანი ნისლეულის ერთი კიდიდან მეორემდე სინათლე რამდენიმე წელიწადში მიდის, ხოლო ნისლეულის საერთო მასა ჩვეულებრივად ათეულ, ასეულ და ზოგჯერ კი ათიათასობით მზის მასას შეადგენს.

როგორ ლამაზ და ფანტასტიკურ ფორმებს

ლებულობს გაზოვანი დიფუზური ნისლეულები! როგორ უნაზეს ნახატებსა და წნულებს ქმნიან მათი ბოჭკოები! გედის თანავარსკვლავედში შედის ნისლეულები, რომელთაც სახელწოდებანი თავიანთი ფორმის მიხედვით მიიღეს: ვარხვი, ჩრდილოეთი ამერიკა, თევზის ბადე. მარტორქის თანავარსკვლავედში არის ნისლეული როზეტი.

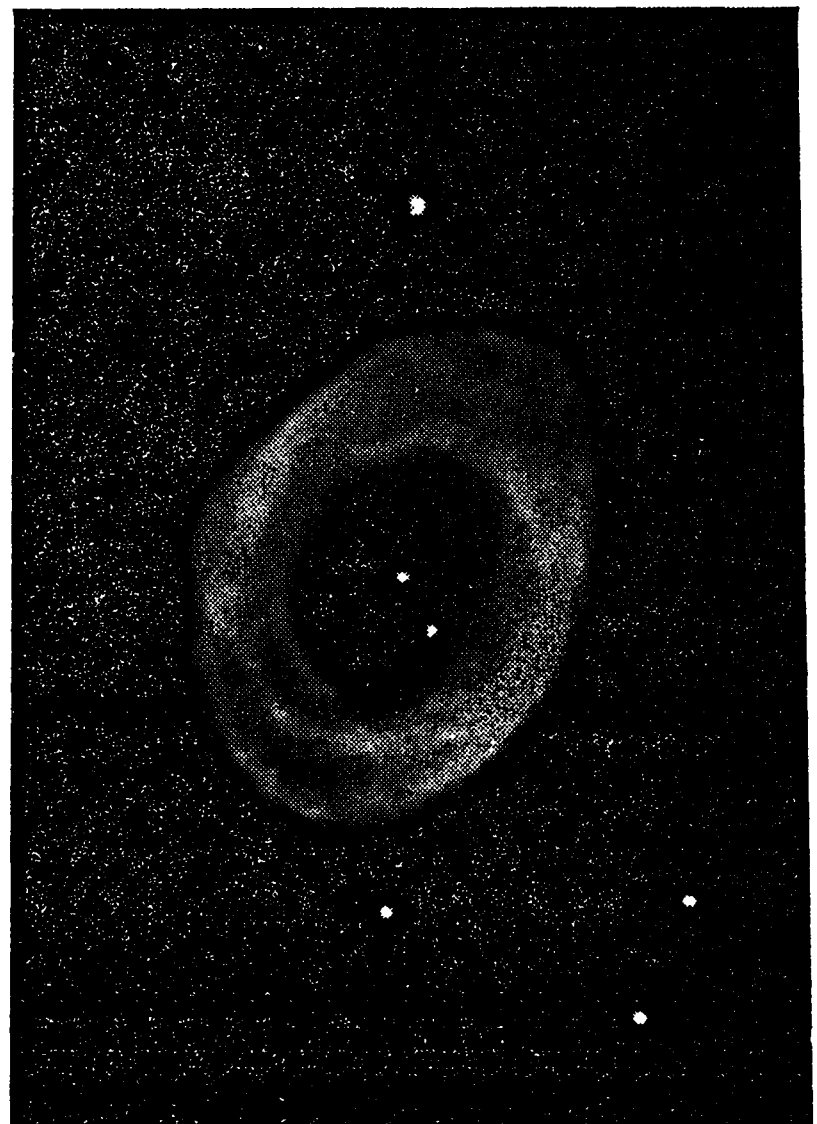
დიდ ნაფლეთისებურ, გათხაპნილ ან ბოჭკოვან დიფუზურ ნისლეულებთან ერთად არსებობს ძალიან პატარა, წესიერი მრგვალი ფორმის პლანეტმსგავსი ნისლეულები. მათ ასე უწოდეს პლანეტის დისკოებთან გარეგანი მსგავსების გამო (ასე გამოიყურებიან შორეული პლანეტები ტელესკოპში).

თვითეული პლანეტმსგავსი ნისლეულის ცენტრში არის ძალიან მკრთალი ვარსკვლავი — ბირთვი. ისინი ყველაზე ცხელია ვარსკვლავებს შორის. მათი ტემპერატურა ასი ათას და უფრო მეტ გრადუსსაც აღწევს, სწორედ მათი გამოსხივებით ნათდება პლანეტმსგავსი ნისლეული. პლანეტმსგავსი ნისლეულები, როგორც ჩანს, ხანმოკლე წარმონაქმნებია და შეიძლება ხილული იყვნენ დაახლოებით 10 000 წელს. ისინი ნელა, წამში რამდენიმე კილომეტრის სიჩქარით, ფართოვდებიან სივრცეში და დროთა ვითარებაში გაიფანტებიან. უდავოა, რომ ასეთი ნისლეულები წარმოიქმნებიან ვარსკვლავის მიერ გამოყოფილი გაზების ხარჯზე, მაგრამ არა ისეთი დიდი სიჩქარით, როგორც ეს ახალ ვარსკვლავებში ხდება, რომლებიც იცილებენ თავიანთ გარსს.

პლანეტმსგავსი ნისლეულის მასა მცირეა — ის მზის მასის მხოლოდ მეასედ ნაწილს შეადგენს. მათი ქიმიური შედგენილობა ისეთივეა, როგორიც დიფუზური ნისლეულებისა და ვარსკვლავთ ატმოსფეროების.

პლანეტმსგავს ნისლეულებში საინტერესო ფორმები შეიმჩნევა. ბევრ მათგანს რგოლისებური ფორმა აქვს, როგორც, მაგალითად, ლირას თანავარსკვლავედში არსებულ ნისლეულს. ზოგიერთს კი თავისი ფორმის გამო დაერქვა ბუ, სატურნი, გიმნასტიკური ორბირთვულა. ჩვენთვის უკვე ხუთასზე მეტი პლანეტმსგავსი ნისლეულია ცნობილი. დაახლოებით ამდენივეა დიფუზური ნისლეულიც.

ღრუბელნისლეულში შეგროვილი გაზი, როგორც მნათი ისე ბნელი, განლაგებულია ირმის ნახტომის ზოლში, სადაც ბევრი ვარსკვლავთა ღია გროვაცაა. ზოგიერთი მათგანი მთლიანად გაზოვან ნისლეულშია ჩაფლული.



ლირას თანავარსკვლავედის რგოლისებური პლანეტმსგავსი ნისლეულის ფოტოსურათი.

საიდან ჩნდება მსოფლიო სივრცეში ამდენი გაზი?

მისი ნაწილი შეიძლება წარმოადგენდეს იმ გაზის ნარჩენებს, რომლისგანაც ოდესღაც ვარსკვლავები წარმოიქმნა. ალბათ ახლაც მისგან ჩნდებიან ვარსკვლავები. მაგალითად, სულ ახლახან შეამჩნიეს, თუ როგორ გაჩნდა ძალიან პატარა ნისლეულში ძლიერ მკრთალი ვარსკვლავი, რომელიც იქ ადრე არასდროს არ ენახათ.

გაზის ნაწილი, როგორც ეს მოცემული სტატიის ავტორმა დაგვანახა, ახლაც წარმოიქმნება. ჩვენ ვხედავთ, რომ მსოფლიოს სივრცეში განუწყვეტლივ მიმოიბნევა გაზი, რომელსაც გამოაფრქვევს ახალი და ზეახალი ვარსკვლავები, პლანეტ-

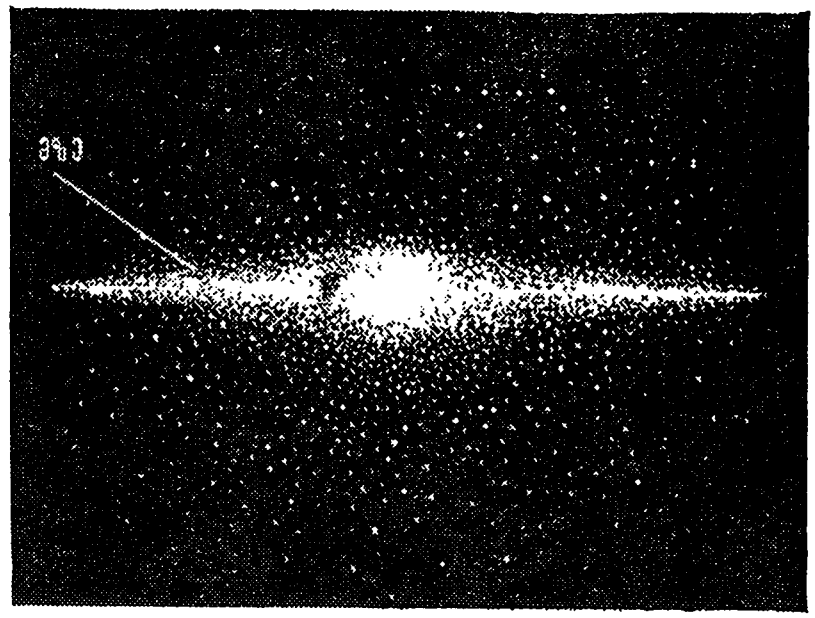
მსგავსი ნისლეულების ბირთვები და ჩვეულებრივი ვარსკვლავებიც კი. გამოანგარიშება გვიჩვენებს, რომ ეს გაზი, რომელიც ყოველწლიურად ამოიფრქვევა ვარსკვლავებიდან მათ გარემომცველ სივრცეში, ძალიან ბევრია.

ირმის ნახტომი და გალაქტიკა, რომელშიც ვცხოვრობთ

ჩვენი მზის სისტემა მცირე ნაწილია ვარსკვლავთ უზარმაზარი სისტემისა, რომელსაც გალაქტიკას უწოდებენ. გალაქტიკაში შედის ყველა ის ვარსკვლავი, რომელთაც ჩვენ თანავარსკვლავედებში ვხედავთ შეუიარაღებელი თვალითა და ტელესკოპით. მის შემადგენლობაში შედის ის ვარსკვლავებიც, რომელთაგანაც ირმის ნახტომის ვერცხლისებური ზოლი შედგება. თქვენ ალბათ დაგინახავთ კიდეც ის შემოდგომის ბნელ ღამეებში.

ირმის ნახტომი გარს ერტყმის მთელ ცას, როგორც გიგანტური მნათი სარტყელი. ტელესკოპში ჩანს, რომ ეს არის მრავალ მკრთალ, შორეულ ვარსკვლავთა გროვა. ვარსკვლავები ერთმანეთთან მით უფრო მჭიდროდ არიან განლაგებული, რაც უფრო ახლოს არიან ისინი ირმის ნახტომის შუა ხაზთან. ირმის ნახტომის შუა ხაზს უწოდებენ გალაქტიკის ეკვატორს. გალაქტიკის ეკვატორის სიბრტყე ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის სიმეტრიის სიბრტყეა. ეს სისტემა ყველა მიმართულებით, უმეტესად ამ სიბრტყის გასწვრივ ვრცელდება და სივრცეში ვარსკვლავებიც ამ სიბრტყესთან გროვდება. აქვეა თავმოყრილი ვარსკვლავთ ღია გროვებიც, ყველა გაზოვანი ნისლეული და კოსმოსური მტვრის ღრუბლები. მხოლოდ ვარსკვლავთ სფერული გროვები და ზოგიერთი ტიპის ვარსკვლავი არ ემორჩილება ამ კანონს. ისინი ავსებენ სფეროიდულ მოცულობას და ყოველი მხრიდან კონცენტრირდებიან გალაქტიკის ცენტრთან.

მტვრის ღრუბლების გამო, რომლებიც შორეული ვარსკვლავების სინათლეს ასუსტებენ, ძალიან ძნელია გალაქტიკის აგებულების ყოველი წვრილმანის გამოკვლევა. ჩვენი მზის სისტემა ძალიან ახლოს იმყოფება გალაქტიკის სიბრტყესთან, რომელშიც ვარსკვლავები ყველაზე უფრო მჭიდროდ არის განლაგებული. ყველა შორეული და



ჩვენი გალაქტიკის სქემატური გამოსახულება განივკვეთში. ისრით ნაჩვენებია მასში მზის სისტემის ადგილი.

სუსტი ვარსკვლავის სინათლე ირმის ნახტომის ერთიან მანათობელ რგოლად წარმოგვიდგება.

დიდია და დიადი ჩვენი გალაქტიკა. მისი ერთი კიდიდან მეორემდე სხივი აღწევს თითქმის 100 000 წლის შემდეგ, მაშინ, როდესაც უახლოესი ვარსკვლავიდან სხივი ჩვენამდე მოსვლას დაახლოებით ოთხ წელიწადს უნდება.

ჩვენ რომ შეგვეძლოს გალაქტიკას გარედან, მის საზღვრებს იქიდან შევხედოთ, დავინახავდით, რომ ის მეტისმეტად შებრტყელებულია, მისი დიამეტრი რამდენჯერმე მეტია სისქეზე. გვერდიდან ის უნდა ჩანდეს თითისტარის ან ლინზის ფორმით. შუაგულში უფრო სქელია და ვარსკვლავებიც მის ცენტრთან უფრო მეტადაა თავმოყრილი. გალაქტიკის შუაგულში იმყოფება ბირთვი — ვარსკვლავთ სფერული გიგანტური გროვის მსგავსი რამ.

ჩვენგან გალაქტიკის ბირთვამდე დაახლოებით 25 ათასი სინათლის წლის ტოლი მანძილია, ხოლო მის კიდემდე რამდენადმე ნაკლები. რამდენადაც ვუახლოვდებით გალაქტიკის კიდეს, იმდენად მეჩხერად არის ვარსკვლავები განლაგებული. ვარსკვლავიერ ქალაქში — გალაქტიკაში — ჩვენ განაპირა უბანთან უფრო ახლოს ვართ. გალაქტიკის ბირთვი ჩვენგან ჩანს მშვილდოსნის თანავარსკვლავედის მხარეზე. ზაფხულის ღამეებში მას ცის სამხრეთ ნაწილში ვხედავთ ჰორიზონტის თავზე. ეს ბირთვი ცაზე უნდა მოჩანდეს, როგორც ირმის ნახტომის ყველაზე ნათელი უბანი. მაგრამ, სამ-

წუხაროდ, მას ფარავს კოსმოსური მტვრის ღრუბლები, რომელთა გამოვლით მოდის მისი სინათლე ჩვენამდე. გალაქტიკის ბირთვზე დაკვირვება შეიძლება ფოტოგადაღების განსაკუთრებული ხერხების გამოყენებით.

დიდი ხანი არ არის, რაც გამოირკვა, რომ გალაქტიკა ბრუნავს — ყველა ვარსკვლავი სხვადასხვა სიჩქარით გარემოიქცევა მისი ცენტრის გარშემო. ჩვენი მზის სისტემაც წამში დაახლოებით ორასი კმ სიჩქარით მიქრის თავის ორბიტაზე გალაქტიკის ცენტრის გარშემო და ერთ სრულ ბრუნს დაახლოებით 250 მილიონ წელიწადს ანდომებს.

რამდენი ვარსკვლავი, რამდენი მზე შედის გალაქტიკის შემადგენლობაში? მათი რიცხვი ას მილიარდზე მეტია. მრავალი მათგანის ირგვლივ უნდა არსებობდეს პლანეტათა სისტემები. ათას ვარსკვლავზე მხოლოდ ერთი დასახლებული პლანეტა რომ მოდიოდეს, მაშინაც კი მთელ გალაქტიკაში ასი მილიონი ასეთი პლანეტა უნდა იყოს.

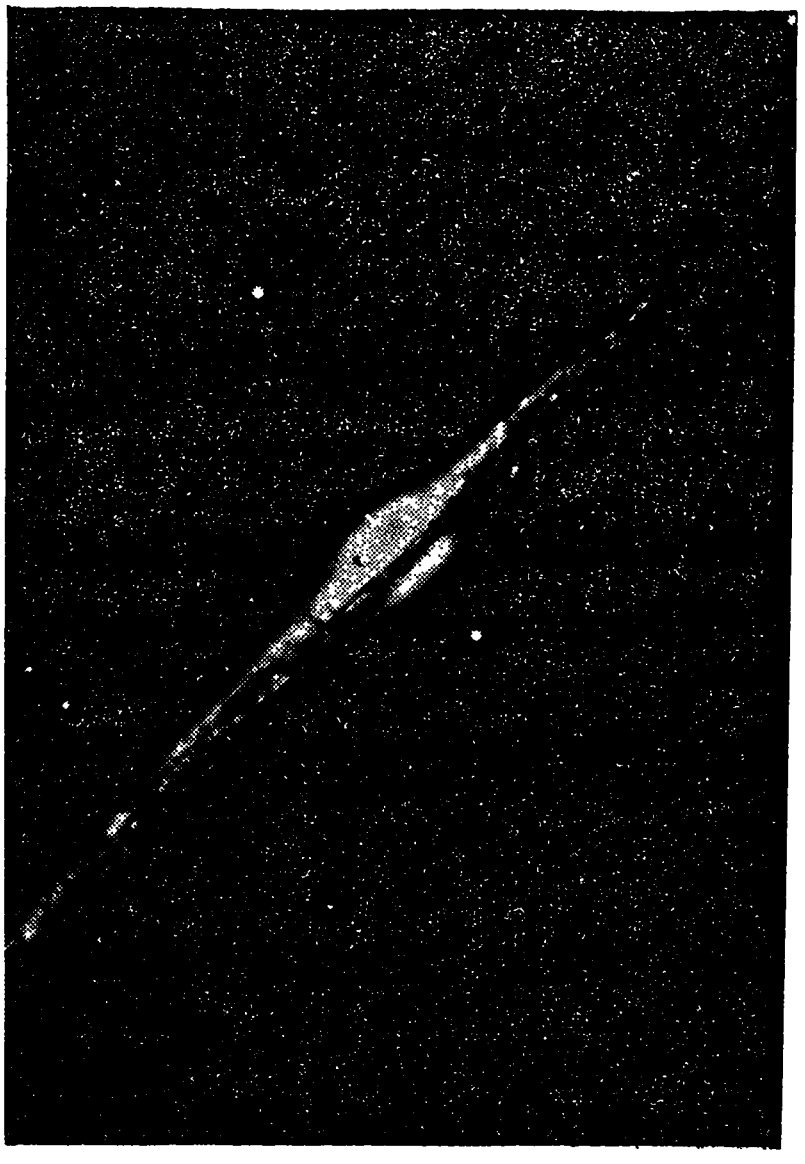
თუ ჩვენს გალაქტიკას სხვა გიგანტურ ვარსკვლავთ სისტემებს შევადარებთ და ერთმანეთს დავუპირისპირებთ სხვადასხვა მონაცემებს, შეიძლება ითქვას, რომ გალაქტიკას სპირალური აგებულება აქვს.

მისი ბირთვიდან გამოდის ორი ან მეტი სპირალური შტო. ეს შტოები შედგება ვარსკვლავებისაგან, გაზისა და მტვრის ნისლეულებისაგან და ბირთვს გარშემო ეხვევა. სპირალურ შტოთა განლაგება ჯერ კიდევ არ არის ზუსტად დადგენილი. ჩვენ მათ შორის ვიმყოფებით, ყველაზე ცხელი და კაშკაშა ვარსკვლავები კი თავმოყრილია ვარსკვლავიერ ღრუბლებად, რომლებიც წარმოქმნიან სპირალურ შტოებს.

სხვა გალაქტიკები — სამყაროს კუნძულები

ნათელი ნისლოვანი ლაქებიდან, რომლებიც ცაზე ან ფოტოსურათებზე ჩანს, მხოლოდ ზოგიერთი, გაზოვანი ანდა განათებული მტვროვანი ნისლეულები, შედის ჩვენი გალაქტიკის შემადგენლობაში. ცაზე ხილულ ნისლეულთა უმეტესობა წარმოადგენს გიგანტური სიდიდის ვარსკვლავთ სისტემებს — სხვა გალაქტიკებს. ისინი ჩვენი გალაქტიკიდან ძლიერ შორს იმყოფებიან. თუკი ჩვენი გალაქტიკა ვარსკვლავთ ქალაქი ან ვარსკვლავთ კუნძულია სამყაროს უნაპირო ოკეანეში, მაშინ სხვა გალაქტიკები — სხვა ვარსკვლავთ ქალაქები, სამყაროს სხვა კუნძულებია. როგორც კუნძულები ოკეანეში, გალაქტიკები ადგილ-ადგილ არქიპელაგებს—ათეულ და ზოგჯერ ათასობით გალაქტიკების გროვებს — წარმოშობენ. ჩვენი გალაქტიკა ერთ-ერთი უდიდესია.

ცის სამხრეთ ნახევარსფეროში არის ორი დიდი ნათელი ლაქა. ცნობილი მოგზაურის მაგელანის პატივსაცემად მათ მაგელანის ღრუბლები უწოდეს. ეს ირმის ნახტომის თითქოსდა ორი ნაგლეჯია. გამოირკვა, რომ მაგელანის დიდი და პატარა ღრუბლები არაწესიერი ფორმის გალაქტიკებია. ამავე დროს ისინი ჩვენი გალაქტიკის თანამგზავრებია და მისგან 120 ათასი სინათლის წლის ტოლი მანძილით არიან დაშორებული. სიდიდის მიხედვით ისი-

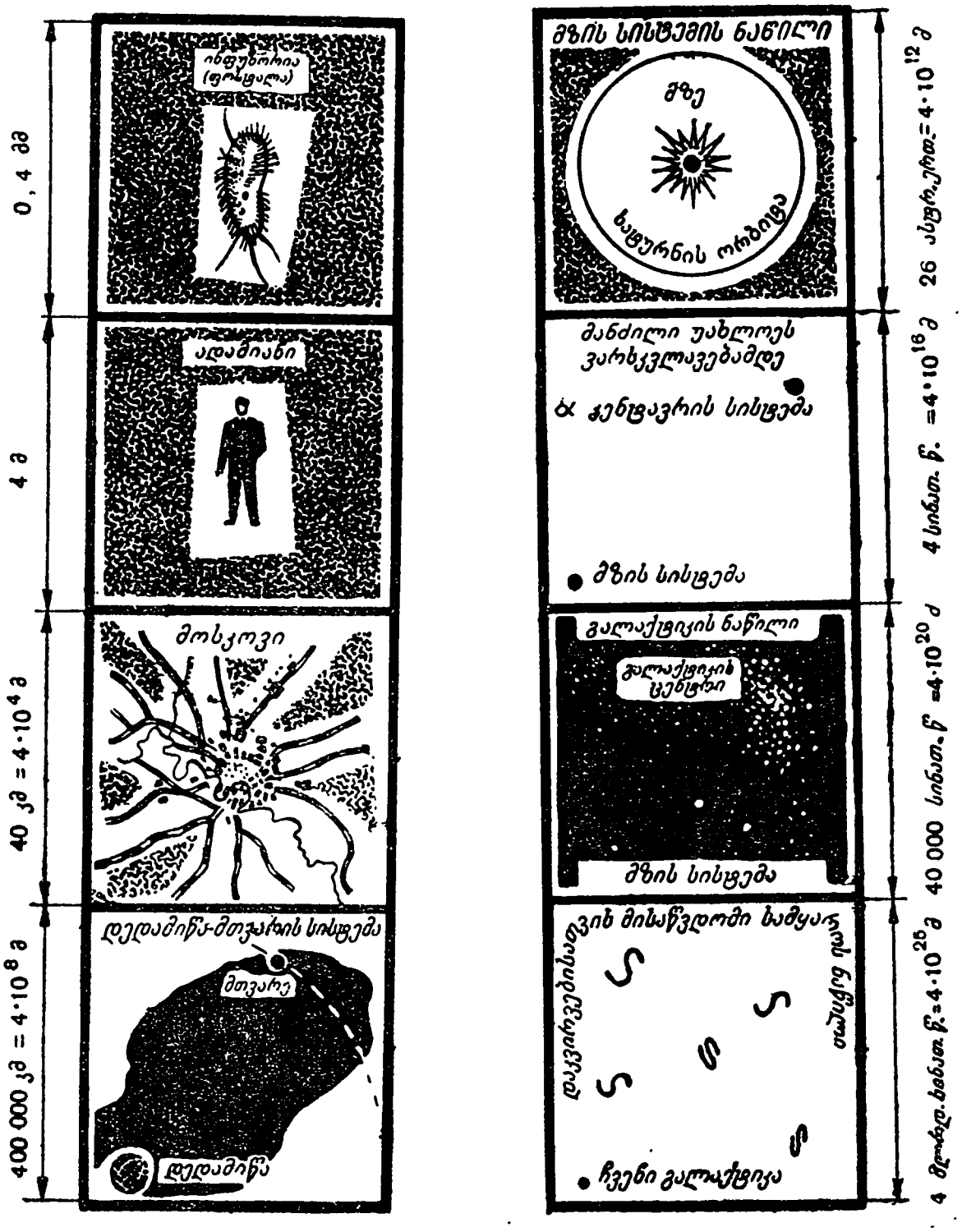


ბერენიკეს თმების თანავარსკვლავედში თითისტარისებური ნისლეულის ფოტოსურათი (ხედი გვერდიდან).

ნი მნიშვნელოვნად პატარები არიან ჩვენს გალაქტიკაზე, მაგრამ მაინც ვარსკვლავთ დიდ სისტემებს წარმოადგენენ. მათი დიამეტრები აღწევს 26 და 17 ათას სინათლის წელს. ჩვენი გალაქტიკის მსგავსად ისინი შედგებიან ყოველგვარი ტიპის ვარსკვლავების, გაზისა და მტვრის ნისლეულებისაგან. მათში არის ვარსკვლავთ ღია და სფერული გროვები.

ანდრომედას თანავარსკვლავედში არსებობს უძველესი დროიდან ცნობილი დიდი ნისლეული. შემოდგომისას ვარსკვლავიერი რუკის მეშვეობით მისი მოძებნა ცაზე ძნელი არ არის. ფოტოსურათები გვიჩვენებენ, რომ ეს ნისლეული ვარსკვლავთ სპირალურ სისტემას წარმოადგენს. ამ ნისლეულიდან სინათლის სხივი ჩვენამდე მოსვლას ერთნახევარ მილიონ წელიწადს უნდება.

მსგავსება ჩვენსა და ანდრომედას გალაქტიკებს შორის იმდენად დიდია, რომ ანდრომედას გალაქტიკაზე დაკვირვებისას შეგიძლიათ წარმოიდგინოთ ჩვენი გალაქტიკა. ის ძლიერაა დახრილი და ამიტომ წაგრძელებული ჩანს. მზის სისტემა უნდა წარმოვიდგინოთ სპირალური შტოების მიღმა. ამ სისტემის გაიშვიათებული ადგილები გრძელდება კიდევ უფრო შორს, მისი შიგა ნაწილის ნათელი სპირალური შტოების იქით. სიდიდისა და მასის მი-



იმ კვადრატების შედარება, რომლებიც სურათზეა გამოხატული, გვაძლევს ნათელ წარმოდგენას დაკვირვებისათვის მისაწვდომ სამყაროს ნაწილის ზომებზე. მასშტაბი კვადრატიდან კვადრატამდე იდდება ათი ათასჯერ, ბოლო კვადრატის გარდა, რომლის მასშტაბი წინა კვადრატის მასშტაბთან შედარებით ასი ათასჯერ მეტია.

ხედვით გალაქტიკა ანდრომედაში ჩვენს გალაქტიკაზე მეტია. მასაც ახლავს პატარა გალაქტიკა-თანამგზავრები. მაგრამ მათ არც სპირალური ფორმა აქვთ და არც მაგელანის ღრუბლებისმაგვარი არაწესიერი გალაქტიკების ფორმა, ისინი წარმოადგენენ ელიფსურ გალაქტიკებს. მათ აქვთ მთლიანი ლაქების სახე, რადგან ამ გალაქტიკებში შედიან ნაკლებად კაშკაშა და ძალიან მჭიდროდ განლაგებული ვარსკვლავები.

ჩვენგან იმავე მანძილზე, როგორც ეს ჯგუფია, სამკუთხედის თანავარსკვლავედში იმყოფება კიდევ ერთი სპირალური გალაქტიკა. ის ჩვენს გალაქტიკაზე პატარაა, ბრტყლად მოჩანს, უფრო გაშლილია და მისი ნაგლეჯ-ნაგლეჯა სპირალური შტოების მოხაზულობა კარგად ჩანს.

არსებობს სპირალური გალაქტიკები, რომლებიც ჩვენსკენ გვერდით არიან მობრუნებული და თითისტარს გვანან. ყურადღება მიაქციეთ მუქ ზოლს მათი ეკვატორული, ანუ გალაქტიკური სიბრტყის გასწვრივ. ეს მტვრის ღრუბლების გროვებია. ისინი აკავებენ იმ ვარსკვლავების სინათლეს, რომლებიც ამ ღრუბლების იქით იმყოფებიან. დაახლოებით ასევე უნდა გამოიყურებოდეს ჩვენი გალაქტიკა, თუკი მას გვერდიდან, მისი გალაქტიკური სიბრტყის გასწვრივ დავინახავდით.

ჩვენ აქ დავასახელეთ გალაქტიკების ყველაზე უფრო ტიპიური ფორმები, მაგრამ კუნძულოვან სამყაროთა ბუნება ძალიან მრავალფეროვანია.

სპირალური გალაქტიკები (ჩვენი, ანდრომედასა და სამკუთხედის თანავარსკვლავედებში, პირველი ორი თავისი თანამგზავრებით) ქმნიან გალაქტიკის ადგილობრივ სისტემას.

ასეთი ჯგუფები ციურ სამყაროში ძალიან ბევრია. ქალწულის თანავარსკვლავედში არის უზარმაზარი ღრუბელი, რომელიც ასობით გალაქტიკისაგან შედგება. ეს არის ცენტრალური ნაწილი, ბირთვი იმ ათასობით გალაქტიკების გროვისა, რომელსაც ეკუთვნის გალაქტიკების ადგილობრივი სისტემაც. ასეთი ზეგალაქტიკის (ასე უწოდებენ მას) დიამეტრი შეადგენს დაახლოებით ას მილიონ სინათლის წელს, ხოლო მისი საერთო მასა დაახლოებით კვადრილიონი მზის მასის ტოლია.

ცნობილია გალაქტიკათა ბევრი სხვა გროვა და მათ შორის გაფანტული ცალკეული გალაქტიკები. ჩსოფლიოში უძლიერესი ტელესკოპით გადაღებული ფოტოსურათების მიხედვით შეიძლებოდა დაგვეთვალა ჩვენი სისტემის მსგავსი მილიარდზე მეტი ვარსკვლავთ სისტემა. ყველა საფუძველი არსებობს ვივარაუდოთ, რომ ამჟამად დაკვირვებისათვის ხელმისაწვდომი სამყაროს არეები შედის უფრო გრანდიოზული სისტემის შემადგენლობაში, ვიდრე ზეგალაქტიკაა. ამ სისტემას მეტაგალაქტიკას უწოდებენ, თუმცა მის საზღვრებამდე ჯერ კიდევ ვერ მიგვიღწევია.

ახლა დაკვირვებისათვის ხელმისაწვდომი ყველაზე შორეული გალაქტიკიდან სინათლე ჩვენამდე რამდენიმე მილიარდი წლის შემდეგ აღწევს. გამოდის, რომ, როცა სინათლის სხივმა გალაქტიკა დატოვა, დედამიწაზე ჯერ კიდევ არავითარი სიცოცხლე არ იყო. რადიოტელესკოპების მეშვეობით კი ჩვენ რადიოტალღების გამოსხივებას უფრო შორეული გალაქტიკებიდანაც ვიღებთ. ამ რადიოტალღებმა თავიანთი გალაქტიკები ჩვენი დედამიწის წარმოქმნამდე გაცილებით ადრე დატოვეს.

ზოგიერთი გალაქტიკა საოცარი სიმძლავრის რადიოტალღებს გამოასხივებს. როგორც ჩანს, იქ მაგნიტური ველი არსებობს, რომელშიც სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით დაქრიან ელექტრონები და სხვა ელემენტარული ნაწილაკები. მაგნიტური ველი ამუხრუჭებს მათ მოძრაობას, ეს კი იწვევს რადიოგამოსხივებას.

გალაქტიკების შესწავლა სწრაფი ნაბიჯებით მიდის წინ და სულ მალე უფრო ზუსტად გვეცოდინება, როგორ წარმოიშვებიან და ვითარდებიან ისინი.

დროებით გამოცანათა რიცხვს, რომლებიც უნდა ამოიხსნას, განეკუთვნება „წითელი გადანაცვლება“ გალაქტიკათა სპექტრებში. გალაქტიკათა სპექტრის ხაზები გადანაცვლებულია წითელი ბოლოსაკენ და მით უფრო ძლიერია ეს გადანაცვლება, რაც უფრო შორს არიან გალაქტიკები ჩვენგან. თუკი ხაზის ეს გადანაცვლება გამოწვეულია მათი მოძრაობით (როგორც ჩანს, ეს ასეც არის), მაშასადამე, ისინი გვცილდებიან, და მით უფრო სწრაფად, რაც უფრო შორს იმყოფებიან ჩვენგან. ერთ-ერთი შორეული გალაქტიკის სიჩქარე შეადგენს სინათლის სიჩქარის თითქმის ნახევარს. ზოგიერთი მეცნიერი ამას ხსნის გალაქტიკების წარმოქმნით ძალიან მკვრივი მასის აფეთქების შედეგად. ასეთი აფეთქების გამო ყველაზე სწრაფმა „ნამსხვრევებმა“, რომლებიც გალაქტიკე-

ბად გადაიქცნენ, მოასწრეს აფეთქების ადგილიდან ყველაზე შორს გაფანტვა. მაგრამ, რამდენად მართებულია ამოცანის ასეთი ამოხსნა, მომავალი გვიჩვენებს.

უსასრულო სამყარო და ჩვენი მისამართი ამ სამყაროში

მეცნიერების განვითარებამ ძლიერ გააფართოვა სამყაროს ჩვენთვის ცნობილი ნაწილების საზღვრები და დაადასტურა მარქსისტული მოძღვრება სამყაროს უსასრულობაზე. სამყაროს შეცნობის გზაზე წინსვლისას ჩვენ სულ ახალ-ახალ სამყაროებს შევხვდებით, და ასე იქნება დაუსრულებლად...

ამ უსასრულო სამყაროში ჩვენი მისამართია:

უსასრულო სამყარო
„ჩვენი“ მეტაგალაქტიკა
„ჩვენი“ ზეგალაქტიკა
გალაქტიკათა „ადგილობრივი გროვა“
გალაქტიკა
ვარსკვლავთ ღრუბელი „ადგილობრივი სისტემა“
„ჩვენი“ მზის სისტემა
პლანეტა დედამიწა
მატერიკი ევრაზია
სსრკ
და ა. შ.

როგორ წარმოიშვა დედამიწა და სხვა ციური სხეულები

საიდან გაჩნდა დედამიწა, მზე, მთვარე და ვარსკვლავები? იყო თუ არა ისინი ყოველთვის ისეთი, როგორსაც ახლა ვხედავთ?

ადამიანს უხსოვარი დროიდან აინტერესებდა ეს კითხვები, მაგრამ სწორი პასუხის გაცემა არ შეეძლო, რადგან ჯერ კიდევ არ იყო ცნობილი, რას წარმოადგენდა მნათობები, როგორ მოძრაობდნენ ისინი და როგორი იყო მათი ფიზიკური ბუნება.

ძველად რელიგიური მოძღვრების გავლენით ითხზვებოდა ლეგენდები სამყაროს შექმნაზე. სხვადასხვა დროს და სხვადასხვა ქვეყანაში ეს ლეგენდები სხვადასხვაგვარი იყო, მაგრამ ყველაში ერთი და იგივე აზრი იყო ჩაქსოვილი — მთელი სამყარო ერთბაშად შექმნეს ზებუნებრივმა ძალებმა— ღმერთებმა — და მას შემდეგ იგი არ იცვლება, არსებობს ისე, როგორსაც ჩვენ ვხედავთ.

ამ ლეგენდებისა ადამიანს სჯეროდა, რადგანაც ბუნების მოვლენების ნამდვილი მიზეზი არ იცოდა. ცნობილია, რომ ბუნების დიადი კანონი ნივთიერებისა და მისი მოძრაობის მარადისობის შესახებ მხოლოდ XVIII საუკუნეში აღმოაჩინეს. შეიძლება იცვლებოდეს ნივთიერების მხოლოდ მდგომარეობა: მაგალითად, წყლის ორთქლი წყლად იქცევა, ან წყალი — ყინულად, ნივთიერებები კი უცვლელი რჩება. ასევეა ენერგიაც. მაგალითად, წყლის მოძრაობის ენერგია ჰიდროელექტროსადგურში გარდაიქმნება ელექტროენერგიად, რომელიც ამოძრავებს მანქანებს, ანათებს ბინებს, ქალაქის ქუჩებსა და სხვა. ენერგია არ ისპობა, იგი მხოლოდ სახეს, ფორმას იცვლის.

ადამიანმა ამის შესახებ არაფერი იცოდა, მაგრამ აკვირდებოდა, რომ თავისი შრომით ის ქმნიდა სხვადასხვა საგნებს და დასაშვებად მიაჩნდა, რომ მთელი სამყარო შექმნა რაღაც არაჩვეულებრივად ძლიერმა არსებამ. ასე წარმოიშვა სხვადასხვა ლეგენდა და რელიგიური მითი სამყაროს შექმნის შესახებ.

მაგრამ, დაწყებული კოპერნიკის უდიდეს აღმოჩენათა დროიდან, თანდათან გროვდებოდა ცოდნა მზის სისტემისა და ვარსკვლავთ სამყაროს აგებულებაზე და სწორედ ეს ცოდნა დაედო საფუძვლად მეცნიერულ ჰიპოთეზებს ციური სხეულების წარმოშობის შესახებ.

მეცნიერული მოსაზრება დედამიწისა და სხვა ციური სხეულების წარმოშობაზე პირველად გერ-

მანელმა ფილოსოფოსმა ე. კანტმა წამოაყენა. ეს იყო 1755 წელს. იმავე საუკუნის დასასრულს კანტისგან დამოუკიდებლად მსგავს დასკვნამდე მივიდა ფრანგი მეცნიერი ლაპლასი.

კანტმა და ლაპლასმა ყურადღება მიაქციეს იმას, რომ მზე ცხელია, დედამიწა კი — ცივი და ზომითაც ბევრად მცირე, ვიდრე მზე. ამავე დროს დედამიწა მხოლოდ ერთ-ერთი პლანეტაა. ყველა პლანეტა მზის გარშემო ბრუნავს თითქმის წრეხაზზე ერთი და იმავე მიმართულებით და თითქმის ერთსა და იმავე სიბრტყეში. ეს არის მზის სისტემის ძირითადი განმასხვავებელი თვისებები, რომლებიც პირველ რიგში უნდა აიხსნას.

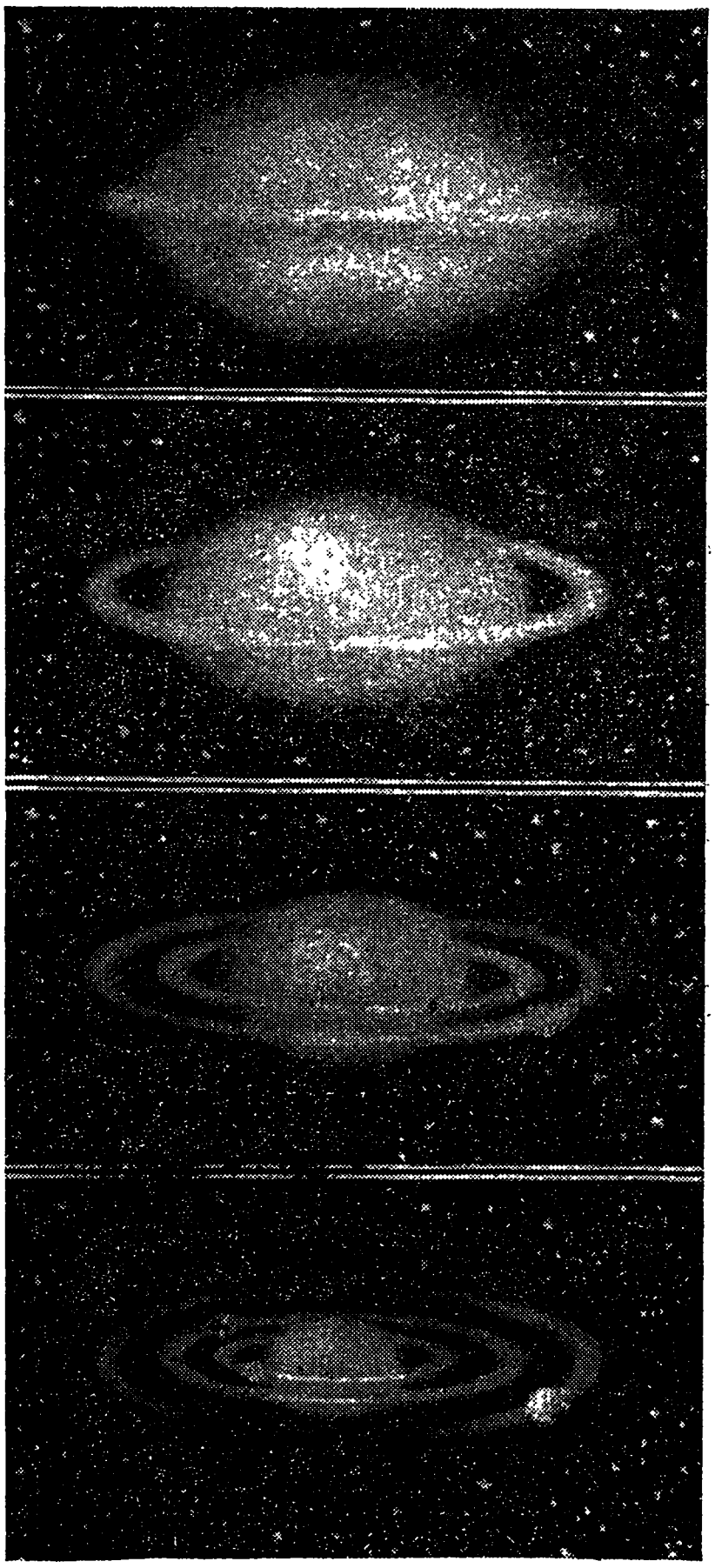
კანტი და ლაპლასი ამტკიცებდნენ, რომ ბუნებაში ყველაფერი განუწყვეტლივ იცვლება, ვითარდება, რომ არც დედამიწა და არც მზე ადრე ისეთები არ იყვნენ, როგორიც ახლა არიან; რომ იყო დრო, როდესაც მათი შემადგენელი ნივთიერება სრულიად სხვა სახით არსებობდა. ლაპლასი თავის ჰიპოთეზას უფრო დამაჯერებლად ასაბუთებდა. მისი აზრით, როდესღაც მზის სისტემა არ არსებობდა, არამედ იყო ცენტრში შემკვრივებული პირველადი გაიშვიათებული და გავარვარებული გაზოვანი ნისლეული. იგი ნელ-ნელა ბრუნავდა. მისი ზომები მზიდან ამჟამად ყველაზე მეტად დაშორებული პლანეტის ორბიტის განივკვეთზე მეტი იყო.

მიზიდულობის ძალის გავლენით ნისლეულის ნაწილაკები ერთმანეთს იზიდავდა, ეს კი ნისლეულის შეკუმშვას, მისი ზომის შემცირებას იწვევდა. ცდების საფუძველზე ცნობილი მექანიკის კანონის თანახმად, მბრუნავი სხეულის შეკუმშვისას მისი ბრუნვის სიჩქარე იზრდება.

ამაში თქვენ თვითონ შეგიძლიათ დარწმუნდეთ. მბრუნავ სკამზე დაჯექით, გაშვერილ ხელებში რაიმე ტვირთი დაიჭირეთ და იბრუნეთ. თუ ამის შემდეგ ხელებს გულზე მიიკრავთ, უფრო სწრაფად დაიწყებთ ბრუნვას.

მაგრამ მბრუნავი სხეულის სიჩქარის ზრდასთან ერთად იზრდება ცენტრიდანული ძალაც. მაგალითად, თუ თოკზე გამობმულ ქვას ძალიან სწრაფად აბრუნებთ, თოკი შეიძლება გაწყდეს და ქვა შორს გადავარდეს.

ასევე, ნისლეულის ბრუნვის დროს ნაწილაკების დიდი რაოდენობა მის ეკვატორთან (აქ ბრუნვა უფრო სწრაფია, ვიდრე პოლუსთან) ნისლეულს გამოეყოფოდა და ფენებად ლაგდებოდა. ნისლეულის გარშემო წარმოიშვებოდა მბრუნავი რგოლი. ამასთან, თავდაპირველად მრგვალი ნისლეული ცენტრიდანული ძალის გავლენით პოლუსებთან თანდათან იკუმშებოდა და ლინზას ემსგავსებოდა.



მზის სისტემის წარმოშობა ლაპლასის ჰიპოთეზის მიხედვით.

ამავე მიზეზით ბრტყელდება ცენტრიდანულ მანქანაში მბრუნავ ღერძზე ჩამოცმული ფოლადის სალტე.

განუწყვეტელი შეკუმშვისა და ბრუნვის სიჩქარის გაზრდის გამო ნისლეულს სცილდებოდა რგოლები, რომლებიც ერთი და იმავე მიმართულებით და ერთსა და იმავე სიბრტყეში ბრუნავდა.

მაგრამ გაზოვანი რგოლები არ შეიძლებოდა ყველგან ერთნაირი სიმკვრივისა ყოფილიყო. თითოეულ რგოლში უფრო მკვრივი ადგილები თანდათან მიიზიდავდა რგოლის დანარჩენ ნივთიერებას. ასე, თითოეული რგოლი ერთ, თავისი ღერძის გარშემო მბრუნავ, დიდ გაზოვან გორგლად იქცეოდა. ამის შემდეგ იგივე მეორდებოდა, რაც უზარმაზარ პირველად ნისლეულზე. იგი კვლავ რგოლებით გარემოცულ სფეროდ იქცეოდა. რგოლები ისევ მჭიდროვდებოდნენ მცირე სხეულებად, რომლებიც თანდათან ცივდებოდნენ და მზის გარშემო მბრუნავი დიდი გაზოვანი სფეროების თანამგზავრები ხდებოდნენ. ეს სფეროები შემკვრივების შემდეგ პლანეტებად გადაიქცნენ. ნისლეულთა უმეტესმა ნაწილმა ცენტრში მოიყარა თავი. იგი აქამდე არ გაცივებულა და მზედ გადაიქცა.

ლაპლასის ჰიპოთეზა მეცნიერული იყო, რადგან იგი ემყარებოდა ცდების შედეგად აღმოჩენილ ბუნების კანონებს და განსაკუთრებით მსოფლიო მიზიდულობის კანონს.

ლაპლასის შემდეგ მზის სისტემაში აღმოაჩინეს ახალი მოვლენები, რომელთა ახსნა მის თეორიას აღარ შეეძლო. მაგალითად, აღმოჩნდა, რომ პლანეტა ურანი თავისი ღერძის გარშემო იმ მიმართულებით არ ბრუნავს, საითაც სხვა ცთომილები. არც გაზების თვისებები და ცთომილებისა და მათი თანამგზავრების მოძრაობათა თავისებურებანი ეთანხმებოდა ლაპლასის ჰიპოთეზას და ამიტომ იგი უარყვეს. მეცნიერების განვითარებამ მოძღვრება ბუნებაზე უფრო ზუსტი და ღრმა გახადა.

ლაპლასის ჰიპოთეზის ნაცვლად წამოაყენეს მზის სისტემის წარმოშობის სხვა მოსაზრებები. ამასთან ზოგიერთი საზღვარგარეთელი მეცნიერი ხშირად ისეთ ჰიპოთეზებს აყენებდა, სადაც სამყაროს შექმნა ასე თუ ისე რელიგიურ წარმოდგენებთან იყო დაკავშირებული.

ასეთი ჰიპოთეზები მეცნიერული, მატერიალისტური ჰიპოთეზების საწინააღმდეგო იყო და ნამდვილი მეცნიერების განვითარებას აფერხებდა.

მატერიალისტური მეცნიერება ამტკიცებს, რომ ნივთიერება არსებობს მუდმივად და მუდმივად ვითარდება ყოველგვარი ღმერთების ჩარევის გარეშე.

საბჭოთა მეცნიერები უარყოფენ ფსევდომეცნიერულ ჰიპოთეზებს და საზღვარგარეთელ მოწინავე მეცნიერებთან ერთად გულმოდგინედ მუშაობენ ურთულეს საკითხებზე — მზის სისტემისა და დედამიწის წარმოშობის შესახებ.

ცნობილმა საბჭოთა მეცნიერმა, აკადემიკოსმა ო. შმიდტმა (1891 — 1956) წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომლის დამუშავებაში მონაწილეობა მიიღეს ასტრონომებმა, გეოფიზიკოსებმა, გეოლოგებმა და სხვა მეცნიერებმა. მთელ რიგ მეცნიერულ მონაცემებზე დაყრდნობით თავის ჰიპოთეზაში ო. შმიდტი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ დედამიწა და ცთომილები არასდროს არ ყოფილან მზისა და ვარსკვლავებისმაგვარი გავარვარებული გაზისებური სხეულები, არამედ ნივთიერების ცივი, მყარი ნაწილაკებისაგან უნდა წარმოშობილიყვნენ.

თუ დავუშვებთ, რომ ოდესღაც მზის გარშემო გაზისა და მტვრის უზარმაზარი ღრუბელი არსებობდა, მაშინ ო. შმიდტისა და მისი თანამშრომლების გაანგარიშებით შემდეგი უნდა მომხდარიყო: უთვალავი ნაწილაკი თავდაპირველად უწესრიგოდ მოძრაობდა. შემდეგში მათი ორბიტები წრიული ხდებოდა და დაახლოებით ერთ სიბრტყეში ლაგდებოდა.

დროთა განმავლობაში ერთი გარკვეული მიმართულებით სულ უფრო მეტი ნაწილაკი იწყებდა მოძრაობას და ბოლოს ყველა ნაწილაკს ერთი და იგივე მიმართულება მიეცა.

ამგვარად, ნაწილაკების პირვანდელი ქაოსური მოძრაობის ნაცვლად წარმოიშვა ყველა ნაწილაკის მწყობრი, ერთი გარკვეული მიმართულების მქონე მოძრაობა. ეს კი ნიშნავს, რომ მთელმა გაზოვან-მტვეროვანმა ღრუბელმა ერთი გარკვეული მიმართულებით დაიწყო ბრუნვა. ნაწილაკებს რომ თავიდან არ აღმოჩენოდა ერთი უპირატესი მიმართულება, რომლითაც მათი უმრავლესობა იმოძრავებდა, მაშინ მათგან პლანეტები ვერ წარმოიშვებოდა.

პირვანდელი ქაოსური მოძრაობისას, ნაწილაკების ურთიერთდაჯახების შედეგად, მათი მოძ-

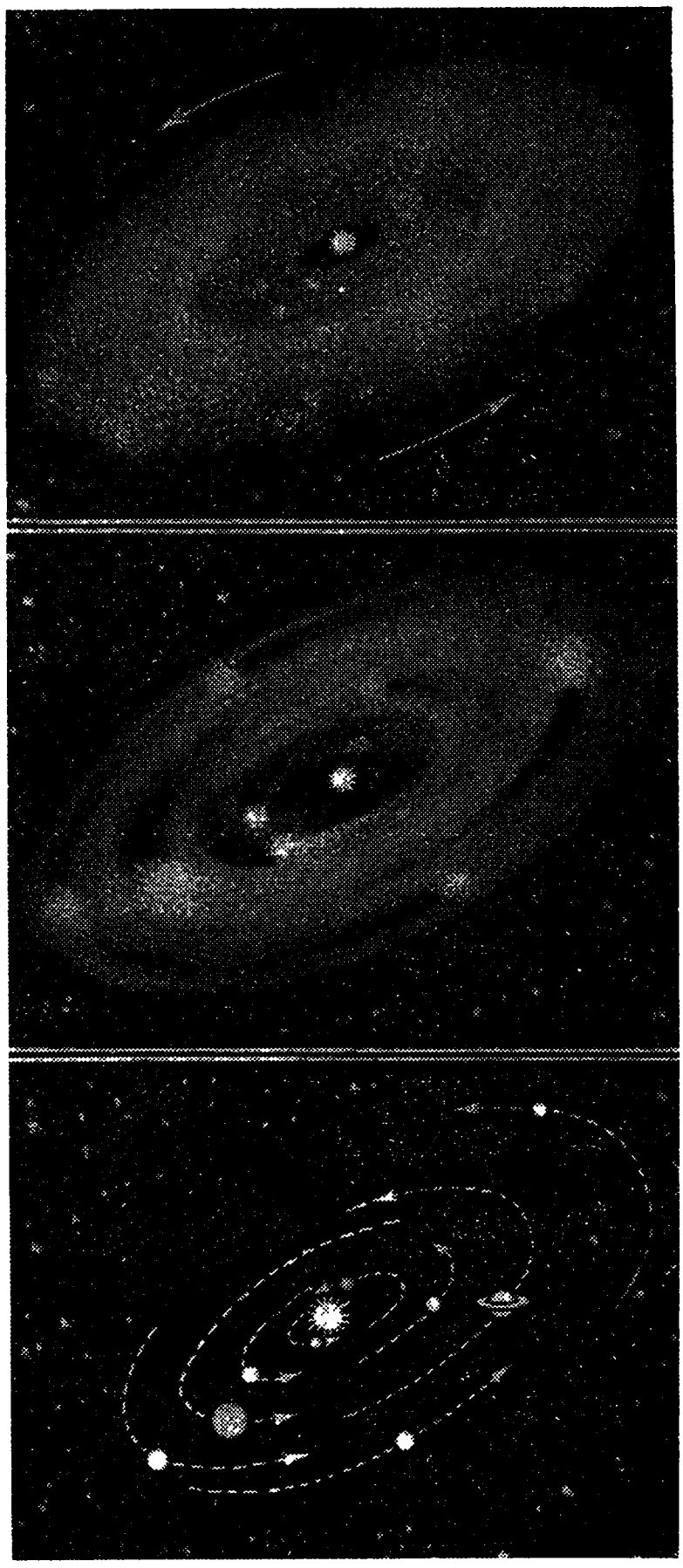
რაობის ენერგია ნაწილობრივ სითბოში გადადიოდა და სივრცეში იბნეოდა. დაახლოებით ამგვარადვე კარგავს მოძრაობის ენერგიას (ე. ი. ამცირებს თავის სიჩქარეს) თოფის ტყვია, როდესაც ჰაერის წინააღმდეგობის გადალახვისას ხურდება. როგორც გამოთვლებმა ცხადყო, იმ ნაწილაკების ქაოსურ მოძრაობათა თანდათანობითმა შემცირებამ, რომლებიც განუწყვეტლივ ეჯახებიან ერთმანეთს, სფერული ღრუბელი ძალზე შეაბრტყელა.

როდესაც ნაწილაკები ერთ სიბრტყეში შეგროვდნენ, მათ შორის მანძილი შემცირდა და ურთიერთმიზიდულობა შესამჩნევად გაიზარდა. ისინი ერთიანდებოდნენ და მკვრივდებოდნენ. ამასთან ზომასა და წონაში განსაკუთრებით მსხვილი ნაწილაკები მატულობდნენ. ისინი უფრო ძლიერად იზიდავდნენ ნაწილაკებს თავისკენ და ადვილადაც ეჯახებოდნენ მათ.

შებრტყელებულ ღრუბელში მტვრის დიდი ნაწილი თანდათან ნივთიერების რამდენიმე გიგანტურ გუნდად შეერთდა, რომლებიც შემდეგ ცთომილებად იქცა. გუნდა—მომავალი იუპიტერი, დიდძალ ნივთიერებას „ითქავდა“ თავისი და მომავალი მარსის ორბიტებს შორის მოქცეული სივრციდან. ამ სივრცეში ის ნაწილაკებს ხელს უშლიდა გაერთიანებაში — თვითონ იზიდავდა მათ. მომავალი იუპიტერის მეორე მხარეს მზიდან მოშორებით მალე შეიქმნა მეორე უზარმაზარი გუნდა — მომავალი სატურნი, რომელიც პატარა ნაწილაკების მიერთებაში „მეტოქეობას“ უწევდა იუპიტერის ჩანასახს.

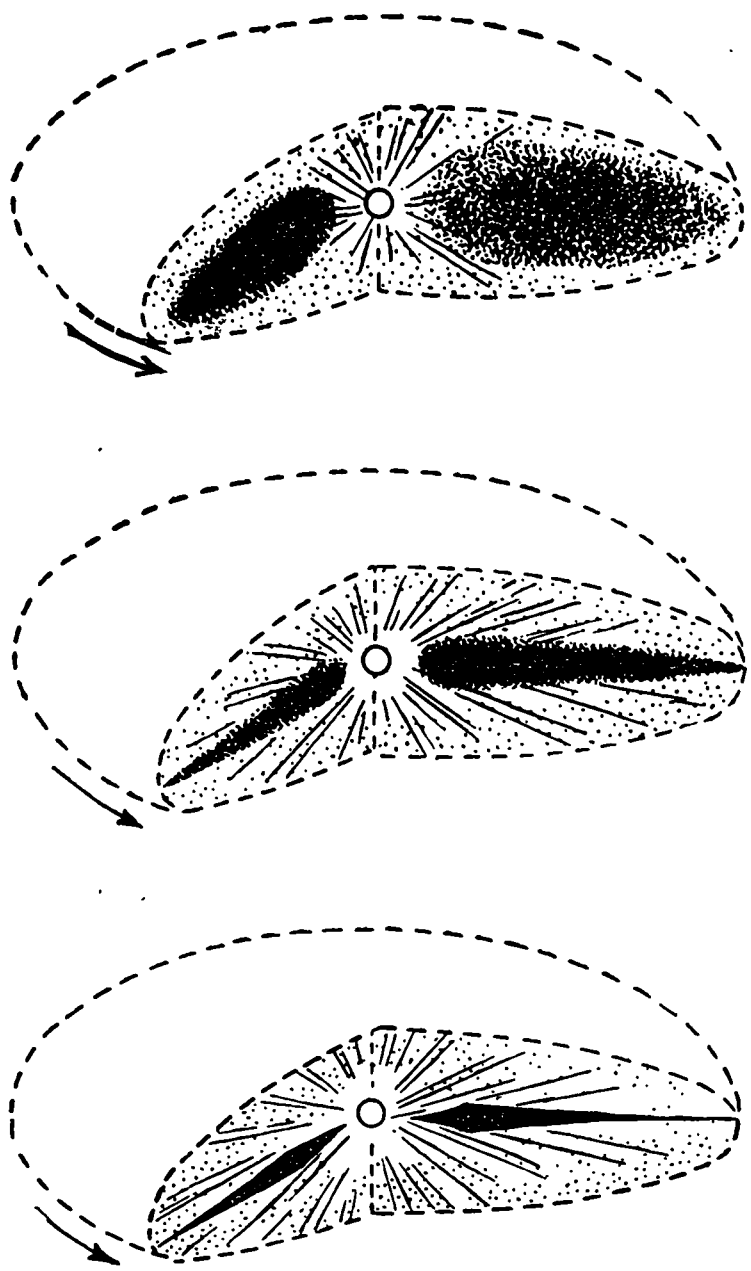
ამის შედეგად იუპიტერსა და მარსს შორის არ შექმნილა დიდი ცთომილი, არამედ წარმოიშვა მრავალი მცირე და განცალკევებული ასტეროიდი, ანუ მცირე ცთომილი. თუმცა ისინი შეიძლება წარმოშობილიყვნენ აქვე შექმნილი შედარებით პატარა პლანეტის რაიმე მიზეზის გამო ნაწილებად დაშლის შედეგად. ყოველ შემთხვევაში, ზოგიერთი მეცნიერი ასე ვარაუდობს.

ო. შმიდტმა შეძლო გამოეთვალა, რომ პლანეტური სისტემის შუა ნაწილში ყველაზე დიდი ცთომილები უნდა წარმოქმნილიყო, მზესთან ახლოს—უფრო მცირე, ხოლო მისგან უფრო შორს — აგრეთვე მცირე, ისეთები, როგორიც პლუტონია. პლუტონის იქით შეიძლება კიდევ აღმოჩნდეს მასზე დიდი პლანეტები, მაგრამ იქ იუპიტერისა და სატურნის მსგავსი გიგანტი პლანეტების აღმოჩენა



მზის სისტემის წარმოშობა ო. შმიდტის ჰიპოთეზის მიხედვით.

მოსალოდნელი არ არის. რაც უფრო დიდია წარმოშობილი პლანეტა, მით უფრო მეტ ნივთიერებას მიიერთებს იგი ახლობელი სივრციდან. ამ ჰიპო-



მზის სისტემის წარმოშობა ო. შმიდტის ჰიპოთეზის მიხედვით. სქემაზე ნაჩვენებია მზის ირგვლივ მეტეორიტულ-მტვეროვანი ნისლეულის თანდათანობითი შემკვრივება.

თეზამ საშუალება მისცა ო. შმიდტს და შემდეგ ვ. ფესენკოვსა და სხვა მეცნიერებს თეორიულად დაესაბუთებინათ არსებული მანძილები მზესა და პლანეტებს და თვით ცთომილებს შორის, რასაც ადრე ასტრონომები ვერ ახერხებდნენ.

სწორედ ასევე პირველად ო. შმიდტმა დაამტკიცა გამოთვლებით, რომ ცთომილების ჩანასახზე ნაწილაკების ირიბად დაცემისას ჩანასახები აუცილებლად იმავე მიმართულებით იწყებენ ბრუნვას, რა მიმართულებითაც მზის გარშემო მოძრაობენ. ეს სინამდვილეშიც ასეა. ირიბი დაცემის გავლენით მხოლოდ ყველაზე დაშორებულ ცთომილებს შეუძლიათ მიიღონ ბრუნვისას საწინააღმდეგო მიმართულება.

პლანეტების ჩანასახები, განსაკუთრებით დიდებისა, გარშემორტყმული უნდა ყოფილიყო მცირე ნაწილაკების გროვით (ე. ი. მტვრისა და გაზის ღრუბლებით), რომელთაგან პლანეტების თანამგზავრები წარმოიშვებოდა, ისევე როგორც მზის გარემომცველ გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბლებიდან — ცთომილები.

ცთომილებში მტვრისა და გაზის მიერთების დროს ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენა შეინიშნებოდა, რომელსაც ადრე ვერ ხვდებოდნენ. მზის მიერ მტვრის ნაწილაკების გახურებისას მათგან გაზი გამოიყოფოდა. მათ შორის ყველაზე მსუბუქი, განსაკუთრებით წყალბადი, სამუდამოდ სივრცეში განიბნეოდა, რასაც მზის სინათლის წნევა უწყობდა ხელს, სწორედ ისე, როგორც მზის სხივები განიზიდავენ კომეტის კუდის გაზოვან ნაწილაკებს. მაგრამ ეს იყო მხოლოდ მზის მახლობლად, რომელიც მტვრის სქელ ფენას გარკვეულ სიღრმემდე ათბობდა.

იუპიტერის მანძილზე და უფრო შორს მზის სხივები ვერ აღწევდნენ შებრტყელებული ღრუბლის მტვრის სქელ ფენაში და იქ წყალბადი გადარჩა. დიდი სიცივის გამო ღრუბლის ამ „შორეულ“ ნაწილში წყალბადი მტვრის ნაწილაკებზე იყინებოდა და ისე ილექებოდა ზედ, როგორც თრთვილი ცივ ქვაზე შემოდგომის სუსხიან დილით.

ამრიგად, მზესთან ახლოს წარმოშობილი ცთომილების, მაგალითად დედამიწის, შედგენილობაში წყალბადი თითქმის არ შევიდა. მზიდან მოშორებით კი, პირიქით, დიდი ცთომილები ძალიან მდიდარი აღმოჩნდნენ წყალბადით. ამიტომ საშუალოდ შორეული პლანეტების სიმკვრივე ბევრად ნაკლებია, ვიდრე მზესთან ახლობელი პლანეტებისა.

დედამიწის პირველი „დღეების“ შესახებ

გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბლისაგან ცთომილების წარმოშობა ძალიან დიდხანს გრძელდებოდა. ო. შმიდტმა მეცნიერების ისტორიაში პირველმა შეძლო დედამიწის წარმოშობის თავის ჰიპოთეზაზე დაყრდნობით გამოეანგარიშებინა, რომ 6 — 7 მილიარდი წელია, რაც დედამიწა მცირე ნაწილაკებისაგან გროვდებოდა. ეს მიახლოებით იმას ეთან-

ხმება, რაც ჩვენ ვიცით დედამიწის ქერქის შესახებ, ე. ი. მის იმ ზედაპირულ ფენებზე, რომლებიც გამაგრებულია და უკვე აღარ ირევა დედამიწის შიგნიდან ან პლანეტათშორის სივრციდან მოსულ სხვა ნივთიერებაში.

როგორ შევძელით დაგვედგინა, რამდენი წლის წინათ ჩამოყალიბდა დედამიწის ქერქი, რომელიც, რასაკვირველია, შემდეგშიც განიცდიდა ცვლილებას?

არსებობს შესანიშნავი ქიმიური ნივთიერებანი (ელემენტები) — ურანი, რადიუმი და სხვ., რომლებიც ნაწილებად იშლება, თანდათან სხვა ნივთიერებებად გადაიქცევა და ბოლოს ტყვიად გარდაიქმნება. ამ საოცარი გარდაქმნის დროს გამოიყოფა გაზი ჰელიუმი და მასთან ერთად სითბოც. როგორც შემდგომ დავინახავთ, ამ გარდაქმნების დროს გამოყოფილი სითბოს შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩვენი დედამიწის ისტორიის გამოსარკვევად.

ურანისა და რადიუმის დაშლის სიჩქარე ცნობილია და იგი არასოდეს არ იცვლება. რაც უფრო მეტ ხანს გრძელდება ამა თუ იმ ქანის შემადგენლობაში შემავალი ურანის დაშლა, მით უფრო ნაკლები რაოდენობით რჩება ის, მაგრამ სამაგიეროდ მეტი ტყვია და ჰელიუმი გროვდება. იმისდა მიხედვით, თუ რამდენი ურანი დარჩა ქანებში და რამდენი ჰელიუმი და ტყვია დაგროვდა, შეიძლება განისაზღვროს ურანის დაშლის ხანგრძლიობა. სწორედ ეს იქნება ურანის შემცველი ქანის აბსოლუტური ასაკის განმსაზღვრელიც.

ამგვარად, დაადგინეს, რომ დედამიწის ქერქის ყველაზე უძველესი ქვის შრეები შეიქმნა დაახლოებით ორი-სამი მილიარდი წლის წინათ. ეს დასკვნა ემთხვევა ო. შმიდტის მიერ დედამიწის ასაკის განსაზღვრას. დღემდე თეორიულად ვერავინ ვერ შეძლო გამოეანგარიშებინა, რამდენი მილიონი ან მილიარდი წელიწადი ყალიბდებოდა დედამიწა. ამა თუ იმ ჰიპოთეზის მიხედვით იცოდნენ მხოლოდ, დაახლოებით რამდენი წელია, რაც მისი ქერქი არსებობს.

ადრე ბევრი ფიქრობდა, რომ ოდესღაც დედამიწა ცეცხლოვან-თხიერ, უფრო ადრე კი გაზისებურ მასას წარმოადგენდა.

ისინი ეყრდნობოდნენ მოქმედი ვულკანების კრატერებიდან გავარვარებული ლავის ამოხეთქის მაგალითს. გაცივების შემდეგ ლავა ქვავდება. ფიქრობდნენ აგრეთვე, რომ დედამიწა ცივდება და კვლავ ინარჩუნებს სითბოს მარაგს თავის ღრმა წიაღში. ო. შმიდტის ჰიპოთეზის თანახმად, დედამიწა ცეცხლოვან-თხიერი მასა არასოდეს არ ყოფილა. ნაწილაკების შეჯახებისას, როცა მათგან დედამიწა ყალიბდებოდა, გამოიყოფოდა სითბო. მაგრამ უფრო მეტი სითბო გამოიყოფოდა ნაწილაკებში შემავალი ურანისა და რადიუმის დაშლის შედეგად. დედამიწის ქერქის შემკვრივებასთან ერთად წიაღში გამოყოფილი ეს სითბო ვერ ასწრებდა სივრცეში გაფანტვას. ასევე ათბობს ღუმელს საწვავის წვის დროს გამოყოფილი სითბო, თუმცა ღუმელის კედლებიდან სითბო ოთახსაც გადაეცემა. გამოანგარიშებამ გვიჩვენა, რომ დედამიწა შიგნით შეიძლება დაახლოებით 1500 — 3000°-მდე გახურდეს. ასეთი ტემპერატურის დროს ქანები ბლანტი, გამთბარი ცვილისმაგვარი ხდება. ბლანტ, წებოვან გარემოში დედამიწის ნივთიერების გადაადგილება ხდებოდა და, ეტყობა, ასეთი გადაადგილება ახლაც ხდება. მძიმე ნივთიერება ქვევით ეშვება, მსუბუქი ზევით იწევს, მათი მკვეთრი გადაადგილების დროს კი ხდება მიწისძვრა.

დედამიწის ზედაპირი მის სხვა ნაწილებთან შედარებით უფრო ადრე გაცივდა ისევე, როგორც ჯერ ღუმელის კედლები ცივდება. ასე ჩამოყალიბდა დედამიწის ცივი და მაგარი ქერქი. ადგილ-ადგილ ქერქს ქვემოთ დაგროვდა განსაკუთრებით ბევრი ურანი და რადიუმი და იქ ქანები სრულიად თხიერ მდგომარეობაში იმყოფება. წნევის გადიდების დროს სწორედ ასეთი აუზებიდან ამოიფრქვევა გავარვარებული ლავა.

დედამიწა რომ ცივი მატერიიდანაა წარმოშობილი, ადრეც ფიქრობდნენ გამოჩენილი მეცნიერები — თ. ბრედიხინი (ჯერ კიდევ გასულ საუკუნეში), ვ. ვერნადსკი და სხვები. ამჟამად ამ იდეას სულ უფრო მეტი მნიშვნელობა ენიჭება გეოლოგიის სხვადასხვა საკითხების გადაჭრისას და მათ შორის სასარგებლო მადნეულის ძიების დროს.

ამრიგად, მეცნიერება დედამიწისა და მზის სისტემის გამოკვლევის საფუძველზე ხსნის ჩვენი პლანეტის ისტორიას.

საიდან გაჩნდა გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბელი მზის გარშემო

ამ სტატიის გაცნობისას ალბათ არა ერთხელ დაგებადათ ეს კითხვა. ამაზე გარკვეული პასუხის გაცემა ჯერჯერობით შეუძლებელია. აკადემიკოსი ო. შმიდტი და მასზე ადრე ზოგიერთი სხვა მეცნიერი ფიქრობდა, რომ მზეს ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის ცენტრის გარშემო მოძრაობისას შეეძლო გაევლო უზარმაზარ გაზოვან-მტვეროვან ღრუბელში, რომლებიც უხვად გვხვდება ვარსკვლავთშორის სივრცეში. ამასთან, თავისი მიზიდულობის ძალით მას შეეძლო წარეტაცა ამ ღრუბლის ნაწილი. გამოთვლები ცხადყოფს, რომ ეს შესაძლებელია. მაგრამ ასეთი შესაძლებლობის განხორციელებისათვის საჭიროა გარკვეული ხელშემწყობი პირობები, თუმცა, საერთოდ, ესეც ნაკლებ მოსალოდნელია. ბევრ მეცნიერს, მათ შორის აკადემიკოს ვ. ფესენკოვს, მიაჩნია, რომ მზე და მას შემდეგ ცთომილებიც ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან წარმოიშვა და რომ გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბელი მზეს მისი წარმოშობიდანვე გარს ეკრა.

მზის, ვარსკვლავებისა და გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბლების განვითარება

ბურჟუაზიული სამყაროს ზოგიერთი მეცნიერი ცდილობდა დაემტკიცებინა, რომ მტვრისა და გაზის ყველა ღრუბელი (ნისლეულები) და ყველა ვარსკვლავი ძალიან დიდი ხნის წინათ ერთდროულად წარმოიშვა. მტვრისა და გაზის ის ღრუბლები კი, რომლებიც ახლა შეინიშნება სივრცეში, იმ ნივთიერების ნარჩენებია, რომლიდანაც ციური სხეულები წარმოიშვა. ამ ნარჩენებიდან, მათი აზრით, ახალი უკვე აღარაფერი არ შეიძლება წარმოიშვას. ამით ისინი კიდევ უფრო ამტკიცებდნენ რელიგიურ წარმოდგენას სამყაროს „ერთ დღეში“, ერთბაშად, არაფრისაგან შექმნის შესახებ.

საბჭოთა ასტრონომმა ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვმა ჯერ კიდევ 1931 წელს აღნიშნა, რომ ვარსკვლავთ ზედაპირებიდან, განსაკუთრებით ცხელ და ახლისმაგვარ ანთებად ვარსკვლავთ ზედაპირებიდან, ახლაც გამუდმებით ხდება სივრცეში გაზის ამოფრქვევა. მისმა გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ შესაძლებელია მთელი გაზი, რომელიც ვარსკვლავებს შორის შეინიშნება, ამ ვარსკვლავებისაგან არის წარმოშობილი. ყოველ შემთხვევაში, გაზის ღრუბელი ჩვენს დროშიც იქმნება. ვარსკვლავთ სამყარო სიკვდილისათვის განწირული უმოქმედო გროვა როდია, ეს „ქარხანაა“, რომელიც შეუჩერებლივ უშვებს „პროდუქციას“ გაზის სახით, ეს გაზი კი ხელშემწყობ პირობებში მტვრად მჭიდროვდება და შემდგომ გარდაიქმნება.

არის მტვრისა და გაზის ღრუბლები, რომლებიც ძალიან დიდი ხნის წინათ წარმოიშვნენ, მაგრამ არის ისეთებიც, რომლებიც ახლაც წარმოიშვებიან. აკადემიკოსმა ვ. ამბარცუმიანმა და სხვა საბჭოთა მეცნიერებმა 1945 — 1947 წწ. ფაქტობრივი მონაცემებიდან გამოიტანეს დასკვნა, რომ ვარსკვლავებს სხვადასხვა ასაკი აქვთ. მაშასადამე, გვაქვს საფუძველი ვიფიქროთ, რომ ისინი დღესაც წარმოიშვებიან. ვარსკვლავები უმთავრესად ჯგუფებად ჩნდებიან როგორც გიგანტების, ასევე ჯუჯების სახით.

შესაძლოა ჩვენი მზეც რომელიმე ნისლეულში წარმოიშვა, ხოლო მასთან ერთად წარმოშობილი მისი „ძმები“ და „დები“ უკვე შორს, სამყაროში, გაიფანტნენ.

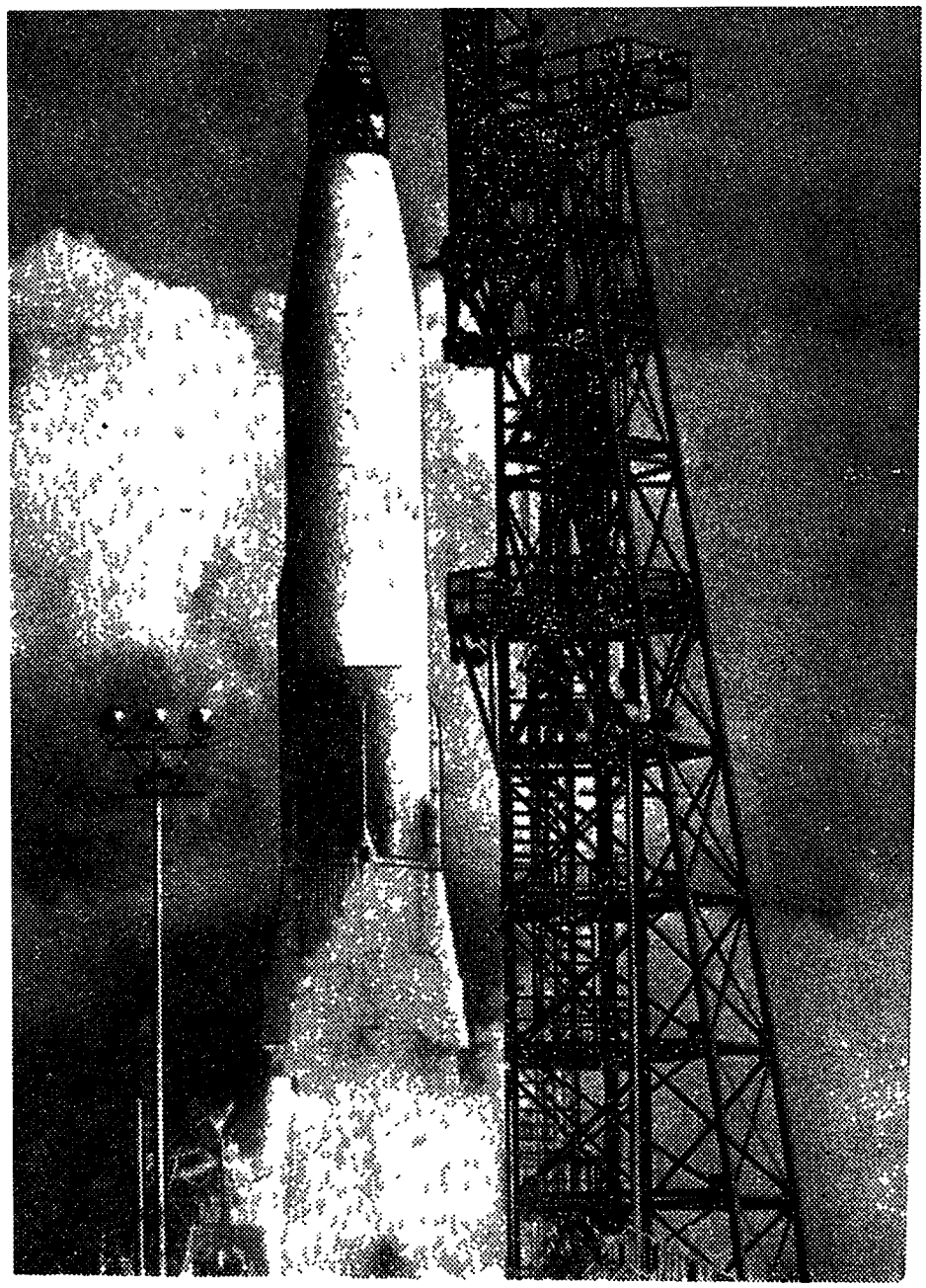
ვ. ფესენკოვის მოსაზრებისა და გამოანგარიშების მიხედვით მზე ადრე უფრო დიდი და ცხელი იყო, ვიდრე ახლაა, და მეტ ნივთიერებასაც შეიცავდა. თანდათანობით ნივთიერების დაკარგვასთან, ე. ი. თავის ზედაპირიდან გაზის ამოფრქვევასთან ერთად მზე ცივდებოდა, ნაკლებად კაშკაშა ხდებოდა. ეს ცვლილებები დროთა ვითარებაში სულ ნელ-ნელა მიმდინარეობდა. ამჟამად მზის სითბური ენერგიის წყარო მის წიაღში წყალბადის ჰელიუმად გარდაქმნაა. ამ პროცესის დროს უზარმაზარი ენერგია გამოიყოფა და ეს თითქმის არ აძლევს მას გაცივების საშუალებას. მზე კიდევ მილიარდი წლების განმავლობაში გაათბობს და გაანათებს დედამიწას, ისევე, როგორც ახლა; დედამიწაზე პირველყოფილი ადამიანის გაჩენიდან დღემდე განვლილი დრო გაცილებით ნაკლებია იმ დროზე, რომელიც წინ უძევს ჩვენს კაცობრიობას.

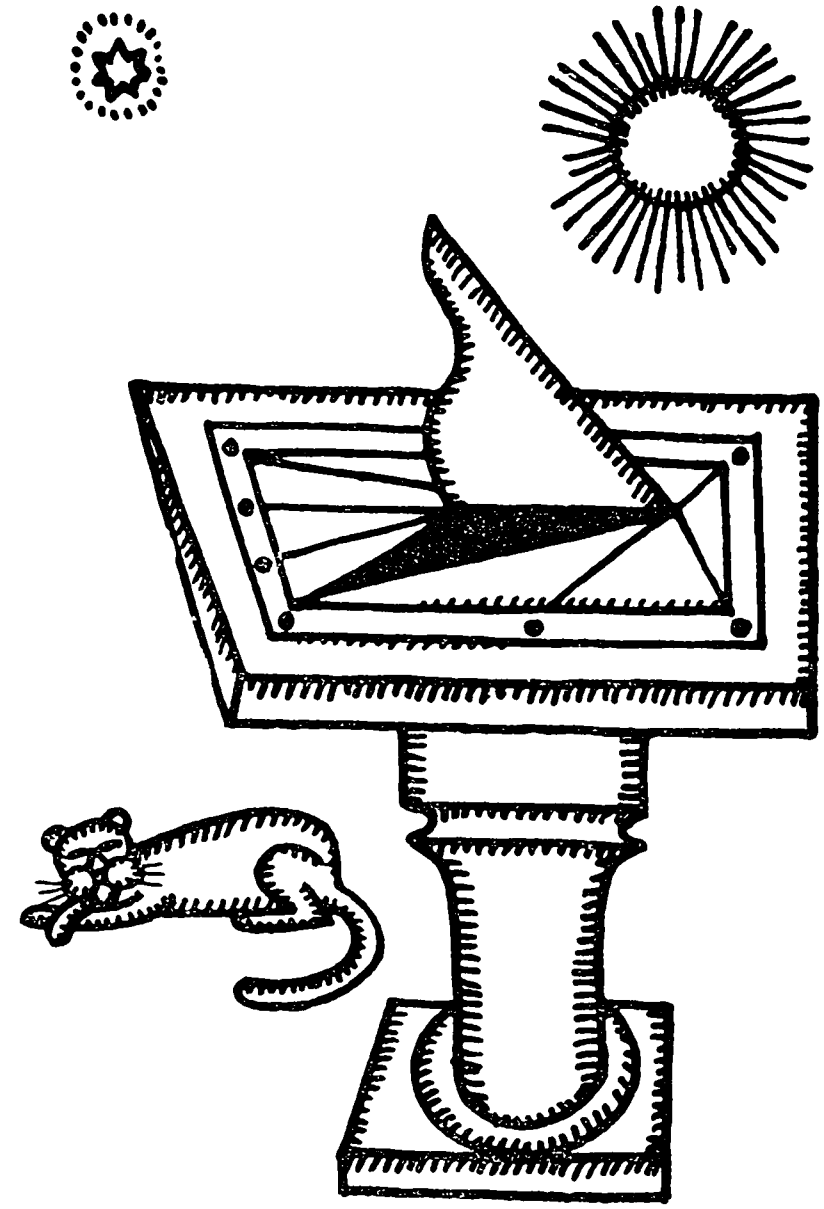
სამყაროში ნივთიერება მუდმივ ცვლილებასა და მოძრაობას განიცდის. გაზოვან-მტვეროვანი გარემოდან წარმოიშვება ვარსკვლავები და მათ გარშემო პლანეტური სისტემები. ვარსკვლავთ განვითარებას თან სდევს გაზების ამოფრქვევა. ამგვარად, ნივთიერება ისევ იმ ფორმას ღებულობს,

რომლისგანაც კვლავ შეიძლება წარმოიშვას მკვრივი სხეულები. მაგრამ ამ უსასრულო გარდაქმნების დროს იცვლება ციურ სხეულთა წარმოშობის პირობები, იცვლება მათი შედგენილობა. ბუნება არაფერს არ იმეორებს და არ ბაძავს თავის თავს: წარმოშობილი ციური სხეულების ნაირსახეობა უსასრულოდ დიდია. ასევე თვით დედამიწაზე ისპობა და ჩნდება მცენარეთა და ცხოველთა ესა თუ ის სახეობა და ამასთან მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროც განუწყვეტლივ იცვლება.

ბუნების გარდაქმნაში დიდი ღვაწლი მიუძღვის ადამიანს, რომლის ზემოქმედება ბუნებაზე დაფუძნებულია მისი კანონების შესწავლასა და გამოყენებაზე.

ადამიანი, რომლის სიცოცხლის ხანგრძლიობა წამია ციური სხეულების ასაკთან შედარებით, სწვდება ციურ სხეულთა წარმოშობის საიდუმლოებას და სახეს უცვლის თავის პლანეტას — დედამიწას. ძნელია ვიწინასწარმეტყველოთ, რა შესაძლებლობები შეექმნება კაცობრიობას მეცნიერებაზე დაყრდნობისა და ბუნების სულ უფრო და უფრო ღრმად შეცნობის საფუძველზე.





როგორ ეხმარება ასტრონომია ადამიანს

ასტრონომია ჩვენი ქვეყნის სახალხო მეურნეობაში

კაცობრიობის განვითარების მთელი ისტორიის ვანძილზე ასტრონომია, როგორც პრაქტიკული მეცნიერება, აუცილებელი იყო ადამიანისათვის. მაგრამ განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ამ მეცნიერებას დღევანდელი სახალხო მეურნეობისათვის.

ასტრონომიის პრაქტიკული გამოყენების ერთერთი ძირითადი ამოცანაა დედამიწის ზედაპირზე ადგილთა გეოგრაფიული კოორდინატების დადგენა. კოორდინატების ცოდნის გარეშე შეუძლებელია გეოგრაფიული რუკების შედგენა. ასევე შეუძლებელია გემის სწორი კურსით ტარება ღია ზღვაში, რადგან სწორი კურსის დასაცავად საჭიროა პერიოდულად, როგორც ამის საშუალებას მეტეოროლოგიური პირობები მოგვცემს, გემის ადგილმდებარეობის გრძედისა და განედის განსაზღვრა.

როგორ შეიძლება, მაგალითად, მოსკოვსა და

იაკუტსკს შორის უმოკლესი მანძილის დადგენა? საზომი ზონრით მისი გაზომვა შეუძლებელია. ამ მანძილის დადგენა მხოლოდ ასტრონომიული საშუალებით შეიძლება. ამისათვის პირველ რიგში საჭიროა დაკვირვებებით ამ ადგილების კოორდინატების, ე. ი. მოსკოვისა და იაკუტსკის განედისა და გრძედის მიღება.

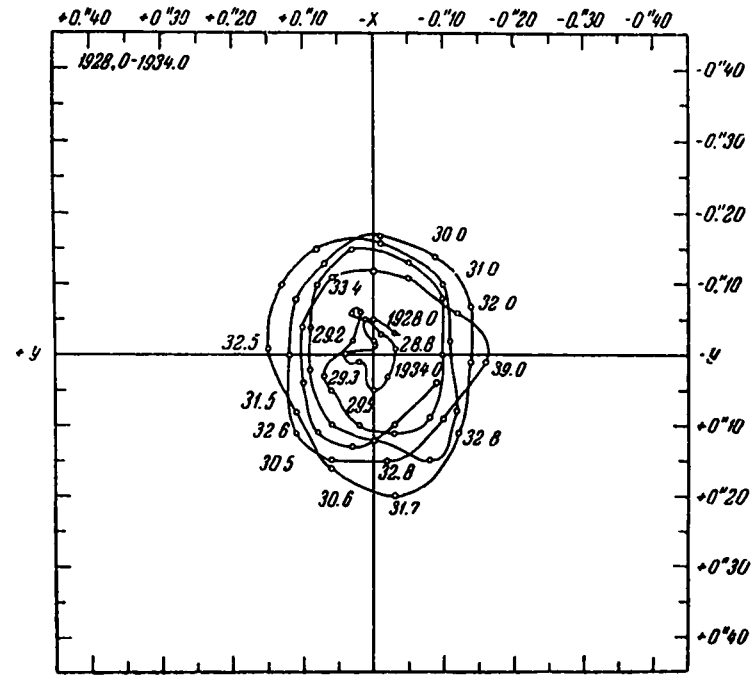
შეუძლებელია სწორად გავიყვანოთ დიდი სარკინიგზო მაგისტრალი, თუ არ დავადგინეთ ამ მაგისტრალის გზაზე მდებარე ზოგიერთი ადგილის კოორდინატები.

ძნელია დავასახელოთ ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიის დაგეგმვასთან, მსხვილ ენერგეტიკულ და სამრეწველო საწარმოთა განლაგებასთან, კარტოგრაფიული ხასიათის სამუშაოებთან დაკავშირებული ისეთი ღონისძიება, სადაც საჭირო არ იყოს ამა თუ იმ პუნქტის კოორდინატების ცოდნა.

პრაქტიკაში ხშირადაა საჭირო რომელიმე მ ი მ ა რ თ უ ლ ე ბ ი ს დადგენა, მაგალითად, სამხრეთის წერტილის მიმართ. ამ ამოცანას მიწიერი საგნის აზიმუტის გამოთვლა ეწოდება და ასტრონომიული მეთოდებით ამოიხსნება. აზიმუტის გამოთვლა აუცილებელია საწარმოების, სამეცნიერო და საზოგადოებრივი დაწესებულებების (ობსერვატორიების კოშკები და პავილიონები, რადიოსადგურების ანტენები, სტადიონები) აგებისას. აზიმუტებს იყენებენ საკონტინენტთაშორისო რაკეტების ფრენის მიმართულების დასაზუსტებლად და ა. შ.

მაგრამ დედამიწის ზედაპირზე ადგილთა კოორდინატები უცვლელი არ რჩება. ისინი, მართალია, მცირედ, მაგრამ მაინც განუწყვეტლივ იცვლება. ეს იმიტომ ხდება, რომ თვით დედამიწაც მცირე საზღვრებში ადგილს ინაცვლებს თავისი ღერძის მიმართ, და ამიტომ ღერძსაც უცვლელი მდებარეობა არ უჭირავს დედამიწის სხეულში. ამის შედეგად დედამიწის ბრუნვის ღერძის გადაკვეთის წერტილები მის ზედაპირთან, ე. ი. გეოგრაფიული პოლუსები, განუწყვეტლივ ინაცვლებენ ადგილს. დედამიწის პოლუსების ეს ადგილმონაცვლეობა მის ზედაპირზე უმნიშვნელოა. ჩრდილოეთი პოლუსი მოძრაობს საათის ისრის საწინააღმდეგოდ რთულ სპირალისებურ მრუდზე, რომელიც ხან ჩაიხვევა და ხან ამოიხვევა, თანაც 26 მ გვერდიანი კვადრატიდან არ გამოდის.

პოლუსების გადაადგილების შედეგად გადაადგილდება დედამიწის ეკვატორიც, რადგან ბრუნვის ღერძი პერპენდიკულარულია ეკვატორის სიბრტყისა. იცვლება აგრეთვე დაკვირვების ნებისმიერი ადგილის მერიდიანი. ეს ადგილგადანაცვლება იწვევს კოორდინატების, ე. ი. გრძედებისა და განედების შეცვლასაც. რაოდენ მცირეც არ უნდა იყოს ეს ცვლილება, მაინც უნდა გავითვალისწინოთ და შევასწოროთ კოორდინატები პოლუსთა მოძრაობის მიხედვით. პოლუსების მოძრაობის გა-



დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსის მოძრაობის მრუდი. დადგენილია 1928 — 1934 წწ. სხვადასხვა ობსერვატორიებში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე.

თვალისწინებით დედამიწის პუნქტების კოორდინატების შესწორებებს ღებულობენ მრავალი ობსერვატორიის მიერ წარმოებული დაკვირვებების შედეგად. ამ დაკვირვებებს ატარებს საგანგებო ორგანიზაცია, რომელსაც პოლუსთა მოძრაობის სამსახური ეწოდება. ეს შესწორებები აუცილებელია არა მარტო ასტრონომიისათვის, არამედ გეოდეზიის, გეოფიზიკის, კარტოგრაფიის და სხვა მეცნიერებებისათვის.

ცნობილია, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს მთელ ჩვენს საქმიანობაში ზუსტ დროს. მისი განსაზღვრა, დაცვა და გადაცემა ძალზე მნიშვნელოვანი ასტრონომიული ამოცანაა. ზუსტი დროის გარეშე ნორმალურად ვერ იმუშავებენ ფაბრიკები და ქარხნები, სახელმწიფო და სასწავლო დაწესებულებები, რკინიგზისა და წყლის ტრანსპორტი, ავიაცია და ა. შ. ყველა ამ ორგანიზაციისა და საბ-

ჭოთა კავშირის მთელი მოსახლეობისათვის მოსკოვიდან მოსკოვის დროით ყოველ საათში გადაიცემა ექვსი მოკლე ხმოვანი სიგნალი. ბოლო სიგნალის დასაწყისი მოცემული საათის დასასრულსა და მომდევნო საათის დასაწყისს შეესაბამება.

სპეციალური სამეცნიერო დაწესებულებებისათვის, ობსერვატორიებისათვის, რომლებიც ასტრონომიულ დაკვირვებებს აწარმოებენ, ჩვენი თვალუწვდენი სამშობლოს ყველა რაიონში მომუშავე მრავალრიცხოვანი გეოგრაფიული, გეოდეზიური, გეოლოგიური, გრავიმეტრიული და სხვა ექსპედიციებისთვის, გემების შტურმანებისათვის დღე-ღამის განმავლობაში რამდენჯერმე გადაიცემა უფრო ზუსტი დროის აღმნიშვნელი საგანგებო სიგნალები.

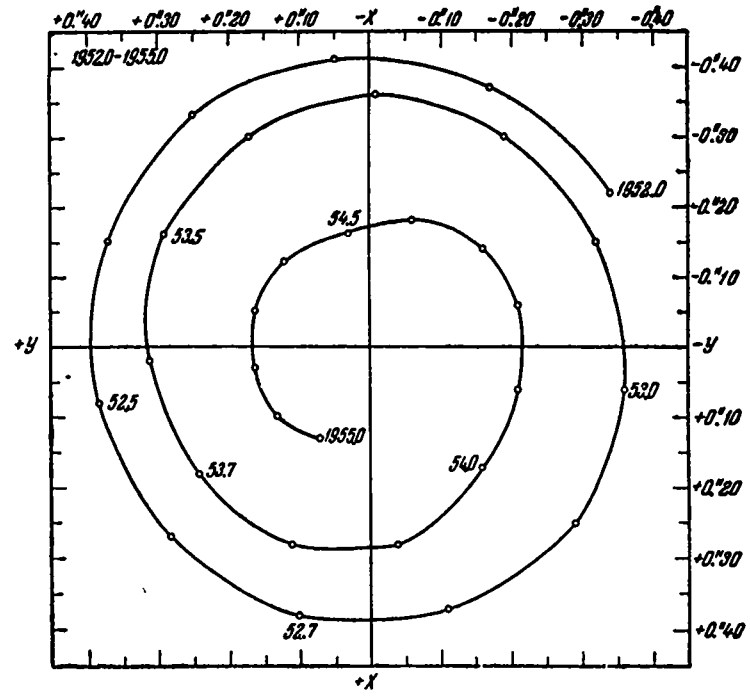
ზუსტ დროს ასტრონომიულ ობსერვატორიებში ვარსკვლავებზე დაკვირვების გზით გამოითვლიან, რისთვისაც თანამედროვე უზუსტეს ასტრონომიულ ხელსაწყოებს იყენებენ.

იმისათვის, რომ ყოველთვის ვიცოდეთ ზუსტი დრო, არსებობს დროის ხელსაწყო-შემნახველები ანუ, უბრალოდ რომ ვთქვათ, უზუსტესი საათები, რომლებიც ვარსკვლავებზე დაკვირვებებით სწორდება.

დედამიწის ზედაპირზე რაიმე პუნქტისათვის კოორდინატების, ე. ი. განედებისა და გრძედების დასადგენად, ზუსტი დროის განსასაზღვრავად და სხვა მრავალი ამოცანის გადასაწყვეტად, რომლის შესახებაც ქვემოთ გვექნება საუბარი, უნდა ვიცოდეთ ცაზე მზის, მთვარის, პლანეტებისა და მრავალი ვარსკვლავის ზუსტი ადგილმდებარეობა, ე. ი. უნდა ვიცოდეთ მათი ციური კოორდინატები. ეს კოორდინატები გამოითვლება მრავალი ობსერვატორიის დაკვირვებათა საფუძველზე და ისინი შეაქვთ საგანგებო სიებში ან ცხრილებში, რომლებსაც ასტრონომიული ყოველწლიურები ეწოდება.

ჩვენს ქვეყანაში ყოველი წლისთვის წინასწარ გამოიცემა საბჭოთა კავშირის ასტრონომიული ყოველწლიური; მასში მოცემულია მზის, მთვარის, პლანეტების, მრავალი ვარსკვლავის კოორდინატები და მოყვანილია მთელი რიგი სხვა აუცილებელი ცნობები.

ასტრონომიული გამოთვლებით წინასწარ ადგენენ მზის ამოსვლისა და ჩასვლის დროს. 21 მარტსა და 23 სექტემბერს მზე აღმოსავლეთის წერტილიდან ამოდის და დასავლეთის წერტილში ჩადის. ზამთარში დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მზე აღმოსავლეთის წერტილის სამხრეთით ამოდის და დასავლეთის წერტილის სამხრეთით ჩადის, ზაფხულში კი, პირიქით, აღმოსავლეთის წერტილის ჩრდილოეთით ამოდის და დასავლეთის წერტილის ჩრდილოეთით ჩადის. მთვარის ამოსვლა და ჩასვლა დღე-ღამის სხვადასხვა საათს ემთხვევა. ახალმთვარეობისას მთვარე დაახლოებით მზესთან ერთად ამოდის და ჩადის. სრულმთვარეობისას კი მთვარე მზის ჩასვლისას ამოდის და მზის ამოსვლისას ჩადის.



დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსის მოძრაობის მრუდი. დადგენილია 1952 — 1955 წწ. სხვადასხვა ობსერვატორიებში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე.

მზის ამოსვლისა და ჩასვლის დროის გამოთვლას და დღის სიდიდის დადგენას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. მონაცემები სხვადასხვა განედებზე დღისა და ბინდის ხანგრძლიობის შესახებ საჭიროა საწარმოების, ქუჩების განათებისა და სხვა მიზნებისათვის აუცილებელი ელექტროენერგიის დასაანგარიშებლად.

იშვიათად, რომ საბჭოთა კავშირის მოქალაქე მოსახევი კალენდრის მონაცემებით არ სარგებლობდეს. ამ კალენდარში წლის ყოველი დღისთვის, ე. ი. ყოველ ფურცელზე მოყვანილია მზის ამოსვლისა და ჩასვლის დრო. მოსახევ კალენდარში აღნიშნულია აგრეთვე დღის ხანგრძლიობა, მთვარის ამოსვლის, ჩასვლის დრო და მისი ფაზები.

დიდი მნიშვნელობა აქვს სახალხო მეურნეობაში გეოგრაფიულ რუკებს. რაიონის, მხარის ან მთელი სახელმწიფოს რუკის შესადგენად მოცემულ ადგილზე ასტრო-გეოდეზიურ სამუშაოებს ატარებენ. უნდა გამოვითვალოთ მთელი რიგი ადგილების ე. წ. საყრდენი პუნქტების, რომლებიც თანაბრადაა განლაგებული რუკაზე გადასაღებ ფართობზე (რაიონი, მხარე, სახელმწიფო და ა. შ.), განედები, გრძედები, აზიმუტები. საჭიროა ზღვის დონიდან საყრდენი პუნქტების სიმაღლის დადგენა. ამის გარეშე რუკის შედგენა შეუძლებელია. ასეთი პუნქტების სიხშირე დამოკიდებულია რუკის სიზუსტეზე, ადგილის რელიეფზე, რომლიდანაც რუკა გადაიღება, დასახლებული პუნქტების რაოდენობაზე, ნიადაგ-მცენარეული საფარის ხასიათსა და სხვ. რუკების საშუალებით შევისწავლით ბუნებრივი სიმდიდრეების განლაგებას, ვეძებთ მათი რაციონალური გამოყენების საშუალებებს, ვატარებთ სახალხო მეურნეობის მთელ რიგ ღონისძიებებს. ისინი აუცილებელია მრეწველობისათვის, ყოველგვარი ძიებების, ჩვენს ტერიტორიაზე ქარხნებისა და ფაბრიკების სწორი განლაგებისათვის, სოფლის მეურნეობის, ტრანსპორტისა და ჩვენი მრავალმხრივი სახალხო მეურნეობის სხვა დანარჩენი დარგებისათვის. რუკები სჭირდება არმიას, სახელმწიფო და სასწავლო დაწესებულებებს და ა. შ.

არანაკლები მნიშვნელობა აქვს მოქცევებისა და უკუქცევების წინასწარგათვლას.

ზღვაოსნობის, სანაპიროებზე ყოველგვარი მშენებლობის, სხვადასხვა საზღვაო გამოკვლევების ჩატარების, უსაფრთხოებისა და სხვა მიზნებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ მოქცევის სიმაღლე მოცემულ ადგილზე დღე-ღამის ყოველი საათისათვის. ეს ამოცანა ასტრონომიული საშუალებებით გადაიჭრება.

დედამიწა ჰაერის გარსით—ატმოსფეროთია გარემოცული. ჩვენ მის ყველაზე მკვრივ, ქვედა ფენაში ვცხოვრობთ. ამიტომ დედამიწის ატმოსფეროს ყოველმხრივი შესწავლა ძალზე მნიშვნელოვანი ცხოვრებისეული ამოცანაა. დედამიწის ზედაპირსა და მცირე სიმაღლეზე შეიძლება ლაბორატორიული საშუალებებით შევისწავლოთ ატმოსფეროს ქიმიური შემადგენლობა, სიმკვრივე, ტენიანობა და სხვა თვისებები. მაგრამ დიდ სიმაღლეზე ატმოსფეროს ამგვარად შესწავლა შეუძლებელია. ამაში ჩვენ დედამიწის ატმოსფეროში შემოჭრილი მეტეორები გვშველიან.

მეტეორების შესწავლა საშუალებას გვაძლევს გამოვიკვლიოთ დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენების ფიზიკური თვისებები, დავადგინოთ ჰაერის დინებათა გადაადგილების მიმართულება და სიჩქარე. მეტეორებზე დაკვირვებების საფუძველზე პირველად დაადგინეს, რომ ატმოსფერო ქიმიურად ერთგვაროვანია და 80 — 110 კმ სიმაღლეზე იგივე შემადგენლობა აქვს, როგორიც ზღვის დონეზე. დაადგინეს აგრეთვე ამ სიმაღლეებზე ჭარბების სიჩქარე და ტემპერატურა. უკანასკნელ წლებში ატმოსფეროს ზედა ფენების შესწავლას დიდად შეუწყო ხელი რაკეტებმა და დედამიწის ხელოვნურმა თანამგზავრებმა.

დედამიწაზე სიცოცხლე მზისგან მიღებული სინათლისა და სითბოს წყალობით არსებობს. მზე ჩვენი მზის სისტემის ცენტრალური სხეულია. იგი წარმოადგენს გავარვარებულ, გაზოვან, თვითმნათ სფეროს, რომლის ზედაპირის ტემპერატურა 6000° უდრის. ასეთი ტემპერატურის დროს ყველა ნივთიერება, რომლებისგანაც მზე შედგება, მხოლოდ გაზობრივ მდგომარეობაში შეიძლება იყოს.

გეოლოგიური მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ მზე დღეს ისეთივეა, როგორიც ასობით მილიონი და მილიარდობით წლის წინათ იყო. საინტერესოა ვიცოდეთ, საიდან იღებს მზე ენერგიის იმ უზარმაზარ რაოდენობას, რომელსაც სითბოსა და სინათლის სახით გამოასხივებს? ეს ენერგია გამომუშავდება მზის წიაღში, სადაც, ასტრონომების გამოთვლით, უზარმაზარი ტემპერატურის დროს, რომელიც 15 — 20 მლნ გრადუსს აღწევს, ერთი ელემენტების ბირთვები სხვა ელემენტების ბირთვებად გადაიქცევიან, ე. ი. ხდება ე. წ. თერმობირთვული რეაქციები. მსგავსი რეაქციები ხდება მხოლოდ უმსუბუქესი ელემენტების ბირთვებს შორის, როგორიცაა, მაგალითად, წყალბადი, ჰელიუმი, ლითიუმი და სხვ. ამან დააჩქარა ელემენტთა გარდაქმნის განხორციელება, ატომური ენერგიის გამოყენება და მიგვაახლოვა მართული თერმობირთვული რეაქციების განხორციელებასთან, რაც ადამიანს ენერგიის კოლოსალურ წყაროებს მისცემს.

დედამიწაზე მზის გავლენა უსაზღვროა. მისი ზემოქმედების შედეგად წარმოიშვება პოლარული ნათებები, მაგნიტური ქარიშხლები, ირღვევა ნორ-

მალური რადიოკავშირი. ყველა ეს მოვლენა მოითხოვს მზესა და მის ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების შესწავლას და დედამიწასა და მის ატმოსფეროზე მათი გავლენის გამოკვლევას.

ჩვენს დროში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში მზის ენერგიის უშუალო გამოყენებას. მაგრამ მზე დედამიწას ერთნაირად როდი ათბობს. მზე თავის სითბოს განსაკუთრებით ტროპიკულ და ზომიერ სარტყელებში აგზავნის, თუმცა ტროპიკული სარტყელი ნაკლებ გამოსაყენებელია ხშირი ღრუბლიანობის გამო.

არსებობს მზის სხივების ენერგიის გამოყენების მრავალი საშუალება. მაგალითად, საბჭოთა კავშირის სამხრეთ რაიონებში არის მზის დანადგარები, რომლებიც საკონსერვო ქარხნებს, აბანოებსა და სამზარეულოებს ცხელ წყალსა და ორთქლს აწვდიან, აგრეთვე იყენებენ შენობათა გასათბობად. ტაშკენტში აგებულია მზის დანადგარი, რომელიც 80 მ² ზედაპირის მქონე ბეტონის პარაბოლოიდისაგან შედგება. ამ პარაბოლოიდში ჩასმულია მომცრო მოვერცხლილი სარკეები. ამ სარკეებიდან არეკვლისას მზის სხივები ერთ ადგილას (ფოკუსში) გროვდება და აცხელებს ქვაბს, რომელიც მაცივარი მანქანისათვის ორთქლს იძლევა. მსგავსი დანადგარები ახლა უკვე ძალზე ბევრია. საბჭოთა მეცნიერები მუშაობენ მზის ენერგიის გამოსაყენებლად მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა დარგში. ამუშავებენ ფოტოქიმიური რეაქციების მეშვეობითა და ფოტოსინთეზის გზით მისი გამოყენებისა და მზის ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის საკითხებს.

ასტრონომიაში დამუშავებულ მეთოდებს წარმატებით იყენებენ მეცნიერებისა და პრაქტიკის სხვა დარგებში. ხშირად წმინდა თეორიული ასტრონომიული გამოკვლევები მათი შემდგომი განვითარებისას დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენენ. ამის მაგალითად შეიძლება სპექტრული ანალიზი დავასახელოთ. ნიუტონმა 1666 წ. შუშის პრიზმის დახმარებით მზის თეთრი სინათლე შვიდ ძირითად, ცისარტყელას მსგავს ფერად, ანუ, როგორც ამბობენ, სპექტრად დაშალა. განა მაშინ ვინმეს აზრად მოუვიდოდა, რომ ორი-სამი საუკუნის შემდეგ ამ ფერადი ნახატის საფუძველზე შეიქმნებოდა ახალი, ახლა უკვე ბუნების შემსწავლელი ტექნიკური მეცნიერების ვრცელი ნაწილი — სპექტრული ანალიზი.

მეთოდები, რომლებსაც ასტრონომები სპექტრული ანალიზის დახმარებით მზისა და ვარსკვლავების ქიმიური შედგენილობის შესწავლისას იყენებენ, დღეს ფართოდაა გავრცელებული მეტალურგიაში. სხვადასხვა ლითონის გამოდნობისას საჭირო ხარისხის ლითონის მისაღებად შენადნობში ათეულობით ქიმიურ ელემენტს უმატებენ. ამიტომ მაღალხარისხოვანი ფოლადისა და ფერადი ლითონების შენადნობების მისაღებად სხვადასხვა შენადნობებისა და მზა ნაწარმის დახარისხების დროსაც კი ფართოდ იყენებენ ხარისხობრივი და რაოდენობრივი სპექტრული ანალიზის მეთოდებს. ამ მეთოდებით სარგებლობენ მედიცინის მუშაკები ავადმყოფის სისხლში ჟანგბადის პროცენტის დასადგენად, მათი დახმარებით არკვევენ ქიმიკოსები პოლიმერების შედგენილობას და ა. შ.

ხშირად თეორიულ გამოკვლევებს მივყავართ მნიშვნელოვან პრაქტიკულ შედეგამდე. ამის მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ ელემენტ ჰელიუმის აღმოჩენა. 1868 წ. მზის პროტუბერანცზე დაკვირვებისას, ასტრონომებმა მის სპექტრში კაშკაშა ყვითელი ხაზი აღმოაჩინეს. იგი იმ დროს ცნობილი არც ერთი ელემენტის სპექტრში არ შეინიშნებოდა. მზის გაზს, რომელსაც ეს ყვითელი ხაზი ეკუთვნის, ჰელიუმი ეწოდა, რაც „მზიურს“ ნიშნავს. ბერძნულად მზეს „ჰელიოსი“ ჰქვია.

25 წლის შემდეგ დედამიწაზე ეს „მზიური“ გაზი ქიმიკოსებმა მინერალ კლევეიტიდან გამოყვეს. ჰელიუმი წყალბადის შემდეგ ყველაზე მსუბუქი გაზია. მას ფართოდ იყენებენ მეცნიერებასა და ტექნიკაში. ჰელიუმით ივსება დირიჟაბლები, ვარვარ-ნათურები და რადიოლამპები; ჰელიუმი ამკობს მოვარდისფრო-ყვითელი ფერის შუქით ჩვენი მაღაზიების ვიტრინებს. ჰელიუმს იყენებენ მეტალურგიაში გამდნარი ლითონების გამოქრევისა და დნობის წარმართვისათვის. დღეს ჰელიუმი ძირითადად მიწისქვეშა გაზოვანი შეჯგუფებებიდან მიიღება.

დიდია ასტრონომიის როლი კოსმონავტიკაში. კოსმოსის შესწავლაში ბევრი რამ მნიშვნელოვანი მოგვცა რაკეტებმა, რომლებსაც რამდენიმე ასეული კილომეტრის სიმაღლეზე აჰქონდა სამეცნიერო ხელსაწყოები და აჰყავდა საცდელი ცხოველები. კიდევ უფრო მეტი მოგვცა კოსმოსურ სივრ-

ცეში ჩვენი სახელოვანი კოსმონავტების გაფრენამ.

კოსმოსური გაფრენების თეორია უშუალოდ ციური სხეულების მოძრაობის თეორიიდან გამომდინარეობს. მომავალი საპლანეტათშორისო ხომალდების პილოტები ორიენტირებისა და გამოთვლის ასტრონომიულ საშუალებებს გამოიყენებენ.

უახლოეს მომავალში ადამიანი გაფრინდება მთვარისა და დედამიწის ახლოს მდებარე პლანეტების — მარსისა და ვენერასაკენ. მთვარე დედამიწასთან ყველაზე ახლოს მყოფი კოსმოსური სხეულია, და ეჭვი არაა, რომ ადამიანიც პირველად მთვარეზე დაადგამს ფეხს. კოსმონავტისთვის, უფრო სწორად იმ კოსმონავტებისათვის, რომლებიც მთვარეზე დაეშვებიან, კარგად უნდა იყოს ცნობილი იქაური გარემო, რადგან სწორედ ამაზე იქნება დამოკიდებული მთვარის ზედაპირზე დაშვება, მთვარეზე ყოფნის ხანგრძლიობა და დედამიწაზე დაბრუნება. ასტრონომების ამოცანაა მთვარისა და სხვა პლანეტების ფიზიკურ ბუნებასთან დაკავშირებული ყველა საკითხის გარკვევა.

დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობის მქონე მრავალი სხვა საკითხიც ასტრონომიის დახმარებით წყდება.

დრო და კალენდარი

ძნელი ამოცანა

ვერავინ ქვეყნად ვერ ამოხსნის ასეთ უბრალო ამოცანას: ვანომ გაიარა სამი კმ, ხოლო პეტრემ — ოთხი კმ; ვინ უფრო სწრაფად იარა? აქ ხომ გადასაწყვეტიც არაფერია თითქოს: ნათელია, რომ პეტრემ. მაგრამ არა, ეს ამოცანა არც ისეთი მარტივია. ამოცანის პირობაში აღნიშნული არ არის, რა დროში გაიარა ვანომ სამი კმ და პეტრემ ოთხი კმ. თუ პეტრემ თავის მოგზაურობას ერთი საათი მოანდომა, ხოლო ვანომ — ნახევარი საათი, მაშინ რა თქმა უნდა, ვანოს უფრო სწრაფად უვლია.

ჩვენ ხშირად მანძილს დროთი ვზომავთ: „სულ ახლოს არის — რაღაც ხუთი წუთის სავალია“. თვითმფრინავთა მიმოსვლის განრიგში აღნიშნავენ, რამდენ საათსა და წუთს გრძელდება თვითმფრინავის რეისი ამა თუ იმ ხაზზე. ასტრონომები მანძილებს ვარსკვლავებამდე სინათლის წლებით ზომავენ.

სივრცე და დრო ყველგან და ყოველთვის განუყრელადაა ერთმანეთთან დაკავშირებული: ყველაფერი ხომ ს ა დ ღ ა ც და რ ო დ ი ს ღ ა ც ხდება.

დრო არასოდეს არ ჩერდება, ის ყოველთვის უცვლელი სიჩქარით მიდის და ყველაფერი სამყაროში დროთა მსვლელობაში იცვლება. არ შეიძლება დავიბრუნოთ წარსული, ან დავიახლოვოთ მომავალი, მაგრამ ეს სრულებით არ ნიშნავს იმას, რომ მომავალი ჩვენ არ გვექვემდებარება, პირიქით, რაც დრო გადის, სულ უფრო ვუმორჩილებთ მას ჩვენს ნებას.

მთელი ჩვენი ფაბრიკები და ქარხნები, კოლმეურნეობები და საბჭოთა მეურნეობები, დაწესებულებები და სკოლები მკაცრი განრიგით — გეგმით მუშაობენ. სწორედ ეს გვაძლევს მომავალზე მბრძანებლობის უფლებას. ჩვენ ვიცით, როდის დავაგვირგვინებთ დიად გეგმას, რომელიც ჩვენი პარტიის პროგრამით არის დასახული, როდის ავაშენებთ კომუნიზმს. ჩვენ შეგვიძლია ეს მიზანი დავიახლოვოთ, თუ უფრო სწრაფად ვივლით, ესე იგი, უკეთ ვიმუშავებთ და ვისწავლით.

თვითეულ ჩვენგანს აქვს თავისი უახლოესი და შორეული მიზნები—ამოცანები. ჩვენ ვსახავთ გეგმებს, ვაზუსტებთ ამ ამოცანების შესრულების ვადას. არც ერთი დავალება, არავითარი გეგმა არ შეიძლება განხორციელდეს დროის ზუსტი გაზომვისა და აღრიცხვის გარეშე, უკალენდროდ და უსაათოდ.

ჩვეულებრივ, ის საათი ითვლება ზუსტ საათად, რომელიც კვირის მანძილზე მხოლოდ ერთი წუთით მიდის წინ, ან ჩამორჩება. საუკეთესო ასტრონომიული საათები სულ ახლახან უჩვენებდა დროს კვირაში წამის მეათედ ნაწილამდე სიზუსტით.

თანამედროვე ატომური საათები კი 100 წელიწადში მხოლოდ 0,1 წამით ცდება. ეს სიზუსტის საოცარი მაგალითია.

კალენდარს თითქოს ცოტა რამ მოეთხოვება: მან უნდა აწარმოოს დღე-ღამეთა სწორი აღრიცხვა — ესაა და ეს. მაგრამ არც ეს ყოფილა იოლი.

ოთახის სიგრძის გაზომვა შეიძლება მეტრებით ან ფუტებით. მოსავალს ვსაზღვრავთ ტონობით ან ფუთობით. ყველა ეს საზომი პირობითია და მათი შეცვლა შეიძლება სხვა საზომი ერთეულებით.

დროის ძირითადი საზომები ბუნებამ თვითონ მოგვცა და ჩვენს ნებას მათ ვერ დავუმორჩილებთ. დედამიწა დღე-ღამეში ერთ შემოვლას ასრულებს თავისი ღერძის გარშემო, ხოლო წლის მანძილზე ასევე ერთ შემოვლას — მზის გარშემო. სწორედ აქ წამოიჭრა მეტად რთული ამოცანა.

კარგი იქნებოდა წელიწადში დღე-ღამის მთელი რიცხვი—სულ ერთია რამდენი—365 ან 563 ყოფილიყო. მაშინ შევძლებდით ზუსტი და მოხერხებული კალენდრის შედგენას. წელიწადი რომ თუნდაც $365\frac{1}{2}$ ან $365\frac{1}{8}$ დღე-ღამეს შეიცავდეს, ამ ნახევარი ან მერვედი ნაწილებიდანაც ადვილად შევძლებდით მთელი დღე-ღამის შედგენას.

მაგრამ წელიწადი 365 + 0,24219... დღე-ღამეს გრძელდება. ეს მეტისმეტად მოუხერხებელი და შეუწყობელი წილადია და მისი ბოლო ციფრი — კიდევ არ არის ბოლო ციფრი. ეს უსასრულო წილადია. უფრო ნაკლები სიზუსტით და შედარებით მარტივად ასე შეგვიძლია ჩავწეროთ წელიწადის ხანგრძლიობა: 365 დღე-ღამე + 5 საათი, 48 წუთი და 46 წამი.

როგორც არ უნდა ეცადოთ, ამ „დამატებიდან“ მთელ დღე-ღამეს ვერ შეადგენთ. წელიწადი და დღე-ღამე, მათემატიკური ენით რომ ვთქვათ, უთანაზომო სიდიდეებია. მოცემულ შემთხვევაში შეუძლებელია დიდი რიცხვი გავყოთ მცირეზე უნაშთოდ. სწორედ ამიტომ ვიღებთ უსასრულო წილადს.

ნებსით თუ უნებლიეთ გვიხდება არსებულთან შეგუება. თუკი წელიწადი დღე-ღამეებთან უთანაზომოა, მაშასადამე, შეუძლებელია შევქმნათ იდეალურად ზუსტი კალენდარი. ეს მარტო რთული კი არა, გადაუწყვეტელი ამოცანაა. მაგრამ კალენდარი ჩვენ მაინც გვაქვს და წარმოუდგენელია კაცობრიობის არსებობა მის გარეშე. საინტერესოა, როგორ შეადგინეს პირველი კალენდარი.

კალენდრის წინაპრები

რა სახის კალენდარი არ ჰქონდათ წინათ ცალკეულ ტომებსა და ხალხებს! წყნარი ოკეანის კუნძულ სამოას მცხოვრებნი წლის დასაწყისად თვლიდნენ იმ დროს, როცა ზღვაში ხშირ გუნდებად მოდიოდა თევზი, სხვა ტომებისათვის წელიწადი იწყებოდა ფრინველების მოფრენით, კურდღლებისა და სხვა ცხოველების გამოჩენით.

ამგვარი ნიშნების მიხედვით დროს ცალკეულ პერიოდებად ჯერ კიდევ ქვის ხანაში ყოფდნენ პირველყოფილი მონადირეები და მეთევზეები. როცა ადამიანის ძირითად საარსებო საშუალებად მიწათმოქმედება და მეცხოველეობა გადაიქცა, ასეთ „კალენდარს“ აღარ შეეძლო ადამიანების დაკმაყოფილება: ის მხოლოდ მიუთითებდა გაზაფხულის ან ზაფხულის დადგომას, მაგრამ არ წინასწარმეტყველებდა მათ მოახლოებას, არ ეხმარებოდა დროულად გაეთვალისწინებინათ გაზაფხულის მოსვლა მიწათმოქმედებს, რათა მომზადებულიყვნენ მიწის დასამუშავებლად და სათესად. თუმცა, ჯერ კიდევ ძველ მიწათმოქმედებს ესმოდათ, რომ მოსავლის ბედი მზეზე იყო დამოკიდებული და თაყვანს სცემდნენ მას, როგორც სინათლის, სითბოსა და თვით სიცოცხლის შემქმნელ ღმერთს.

„ღვთიური“ მნათობის გზა წელიწადის სხვადასხვა დროს სხვადასხვანაირია: ზაფხულში მზე უფრო მაღლა იწევს, ვიდრე გაზაფხულზე, ხოლო ზამთარში ჰორიზონტის ხაზთან უფრო ახლოს გაივლის, ვიდრე შემოდგომაზე.

ძნელი არ იყო მზის ამ „მიმოქცევის“ შემჩნევა. მაგრამ ერთია — შეამჩნიო და სულ სხვაა — დაიმახსოვრო: მაშინ ხომ დამწერლობაც არ იყო. დღის მნათობის ხილული გზა მთელი წლის მანძილზე იცვლება ნელა და თანდათანობით, ხოლო რამდენ ხანს გრძელდებოდა წელიწადი, არავინ იცოდა.

უფრო ადვილია თვალყური ვადევნოთ ვარსკვლავთ მწყობრ მოძრაობას. არც ერთი მათგანი არ უსწრებს და არც ჩამორჩება მეზობელს. ჯერ კიდევ პირველყოფილმა მწყემსთა ტომებმა შეამჩნიეს თანავარსკვლავედთა უცვლელი მოხაზულობა ცაზე და ვარსკვლავების მიხედვით იკვლევდნენ გზას სადგომისაკენ. მიწათმოქმედები ცის მეგზურების საშუალებით იგებდნენ წელიწადის დროთა

დადგომას. თანავარსკვლავედთა ერთი ჯგუფი, მაგალითად დიდი და პატარა დათვის თანავარსკვლავედები ჩვენგან ყოველღამე ჩანან საღამო ხანიდან გათენებამდე, მეორენი, მაგალითად, მერწყული, თითქოს იმალებიან ზამთრის თვეებში. წელიწადის ამ დროს ისინი მზის ამოსვლის შემდეგ ამოდიან და მის სხივებში იძირებიან, ამიტომ მათი დანახვა მხოლოდ გაზაფხულიდან შეიძლება.

ძველ ჩინეთში გაზაფხულის მოახლოებას დიდი დათვის თანავარსკვლავედი, ციური ჩამჩა, მოასწავებდა. ამ დროს ჩამჩის სახელური მზის ჩასვლისას აღმოსავლეთს „უმზერდა“. ძველი ბერძნების „სასიგნალო“ ვარსკვლავები პლეადები (ხომლი) იყო, რომლებიც ექვსი კვირის მანძილზე არ ჩანდნენ. როგორც კი ისინი მიიმალებოდნენ, თესვის დრო დგებოდა.

ცის ასეთი მანიშნებლები სხვა ხალხებსაც ჰქონდათ, მაგრამ ეს ნიშნები ჯერ კიდევ კალენდარი როდი იყო. თითქოს ადვილი იყო დაეთვალათ რამდენი დღე გადიოდა ერთი გაზაფხულიდან მომავალ გაზაფხულამდე, და სამკითხაოც აღარ იქნებოდა, როდის დაეწყოთ მინდვრის სამუშაოები. მაგრამ უძველეს დროში ანგარიში ურთულესი ხელოვნება იყო. თანაც საგნების დათვლა უფრო ადვილია, ვიდრე დღეებისა: საგნები ადგილზეა, დღეები კი უკვალოდ ქრება.

არ ვიცით, სად და როდის დაიწყეს პირველად თითებზე დღეების თვლა. თავიდან საკმარისი იყო ერთი ან ორი ხელი: ასე გაჩნდა ხუთდღიანი და ათდღიანი კვირები. მაგრამ როცა მეურნეობა გართულდა და საჭირო შეიქნა უფრო შორეული ძომავლის განჭვრეტა, დასახმარებლად „ციური აღმრიცხველი“ — მთვარე გაჩნდა.

ცვალებადია მთვარის ხილული მოხაზულობა: ზოგჯერ, თითქოს მოჩვენებააო, ისე გამოჩნდება ძლივს შესამჩნევი მკრთალი ნამგალი ჩამავალი მზის სხივებში. ხან ვერცხლისფრად ანათებს ნახევარმთვარე, ხან კი მთელი ბრწყინვალებით კაშკაშებს ვეება დისკო. ხან ქრობას იწყებს. მერე კვლავ ვიწრო ნამგლად გადაიქცევა, სანამ მთლად არ გაქრება 2 — 3 დღით. შემდეგ ისევ გამოჩნდება „ახლადშობილი“ მნათობის ვიწრო ნამგალი.

მთვარის ფაზები ყოველთვის ერთი და იმავე წესით იცვლება. მისი იდუმალი სახეცვლილება და მკრთალი, შემპარავი შუქი, რომელიც ღამის სიბნელეს ამარცხებს, მზისტოლი მნათობი—ღმერთის საოცარი ძალების რწმენას ბადებდა და ხალხიც ეთაყვანებოდა მთვარეს, ხოლო ღვთისმსახურმა ქურუმებმა გამოითვალეს, რომ „ღამის მზის“ დაბადებიდან მეორე დაბადებამდე გადის დაახლოებით 30 დღე-ღამე. მთვარე გახდა უკვალოდ დაკარგული დღეების საიმედო მრიცხველი...

ყველაზე შორეულმა წინაპრებმაც კი იცოდნენ, რომ ნათელ დღეს ბნელი ღამე მოსდევს. კაცობრიობის ისტორიის გარიჟრაჟზე უკვე ცნობილი იყო დროის პირველი ბუნებრივი საზომი — დ ღ ე-ღ ა მ ე. გავიდა მრავალი ათასი წელი, ვიდრე დროის მეორე საზომს — თ ვ ე ს შემოიღებდნენ. დღემდე მრავალ ენაზე თვეს მთვარესაც უწოდებენ და დროის საზომსაც.

ზამთარში დღე მოკლეა, ხოლო ზაფხულში გრძელი, მაგრამ წელიწადის ყოველი დროისათვის დღე-ღამეთა ხანგრძლიობა ერთნაირია და მათი აღრიცხვა შეიძლება მთვარის მიხედვით ვაწარმოოთ. დღე-ღამე და თვე გახდა დროის ძირითადი საზომები. მათი მიხედვით შეიქმნა პირველი კალენდრებიც.

რვაწლიანი და ცხრამეტწლიანი

5000 წლის წინათ სამხრეთ მესოპოტამიაში, სადაც ახლა ერაყის სახელმწიფო მდებარეობს, მი-, წათმოქმედი ხალხი — შუმერები ცხოვრობდნენ. ზაფხულში აქ აუტანელი სიცხეები იცის, 50°-მდე, ზამთრობით წვიმს, ხოლო გაზაფხულზე ნაპირებიდან გადმოდის მდინარეები: ტიგროსი და ევფრატი. ყოველწლიურად წყლით ფარავდნენ ისინი შომიჯნავე მინდვრებს და აპოხიერებდნენ მათ ნოყიერი შლამით. ყველა სიკეთეზე უფრო ძვირად ფასობდა აქ წყალი და ხალხიც მომჭირნედ იმარაგებდა მას წყალდიდობის დროს ზაფხულის სიცხეებში მზის მცხუნვარე სხივებით გადარუჯული მიწების მოსარწყავად.

თუკი დროულად იყო მომზადებული არხები და წყალსაცავები, არნახულ მოსავალს იძლეოდა აქ მიწა, რამდენიმე ათეულჯერ მეტს, ვიდრე თესდნენ. მაგრამ, როგორ უნდა გაეგოთ წინასწარ, როდის დაიწყებოდა მდინარის ადიდება? როგორ შეედგინათ სამიწათმოქმედო სამუშაოებისათვის უაღრესად საჭირო კალენდარი? ამ ამოცანის გადაწყვეტაში ადამიანებს მთვარე დაეხმარა.

ყოველი თვე იწყებოდა სინის—მთვარის ღმერთის დაბადების დღის ზეიმით. ეს იმ ღამეს ხდებოდა, როდესაც უმთვარო ღამეების შემდეგ ქურუმი-ასტრონომები პირველად შეამჩნევდნენ მთვარის ვიწრო ნამგალს. განსაკუთრებული ზეიმით აღინიშნებოდა წლის დასაწყისი — გაზაფხულის პირველი ახალმთვარეობა [1].

სწორედ ამ დროს (დაახლოებით მარტის შუა რიცხვებში) იწყებდა წყალი მომატებას მდინარე ტიგროსში, ხოლო ორი კვირის შემდეგ — ევფრატში.

მთვარე თვითონ მიუთითებდა, როგორ გაზომილიყო დრო: ორ ახალ მთვარეს შორის 29 ან 30 დღეა, ხოლო ორ ახალ წელს შორის — თორმეტი „მთვარე". ამ „მთვარეთა" მიხედვით შეიძლებოდა წინასწარ განსაზღვრულიყო, როდის დაიწყებოდა მდინარეთა ადიდება. მართლაც, ქურუმებმა შეადგინეს თორმეტი თვისაგან შემდგარი კალენდარი. თვითეულ თვეში 29 და 30 დღე-ღამე იყო. მთლიანად მთვარის ამ კალენდარში იყო 354 დღე, ნაცვლად 365-ისა.

მაშინ ჯერ კიდევ ზუსტად არ იყო ცნობილი წლიწადის ხანგრძლიობა, მაგრამ თვით ცხოვრება, განსაკუთრებით სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოები, უჩვენებდა ხალხს, რომ მთვარის ღმერთის — სინის ნდობა არ შეიძლებოდა. ის ურცხვად ატყუებდა მიწათმოქმედებს; კალენდრის მიხედვით ახალი წელი კარგა ხნის დაწყებული იყო, ტიგროსში კი წყალი არ მატულობდა. ირღვეოდა კალენდრული ვადები სხვა სამუშაოებისთვისაც: სოფლის მეურნეობა ხომ განუყრელადაა დაკავშირებული წლიწადის დროებთან, ხოლო მათი მონაცვლეობა დამოკიდებულია არა მთვარეზე, არამედ მზეზე.

ქურუმები მიხვდნენ, რომ მათ მიერ შედგენილი მთვარის კალენდარი ძალიან მოკლე იყო, და დაიწყეს დროდადრო კიდევ ერთი, მეცამეტე თვის მიმატება. ამ ხერხით ქურუმები ძლივძლივობით ახერხებდნენ გაეგრძელებინათ ახალი წელი მდინარეთა ადიდების დაწყებამდე, მაგრამ ეს ხშირად არევ-დარევას იწვევდა.

მრავალი საუკუნის შემდეგ მესოპოტამიაში ბაბილონელთა უძლიერესი სამეფო ჩამოყალიბდა.

VI ს. ძვ. წ. ბაბილონის ქურუმმა-ასტრონომებმა უკვე საკმაო სიზუსტით განსაზღვრეს, რომ წელიწადში 365 1/4 დღეა, ხოლო თორმეტ მთვარისმიერ თვეში მხოლოდ 354, ანუ 11 1/4 დღე-ღამით ნაკლები. რვა წლის მანძილზე ეს სხვაობა 90 დღე-ღამეს აღწევდა (11 1/4 × 8) — ზუსტად სამ ოცდაათდღიან თვეს.

ქურუმებმა იფიქრეს, რომ ამ შეუთანხმებლობას თავიდან აიცილებდნენ და კალენდარსაც ადვილად მოაწესრიგებდნენ, თუ რვა წლის მანძილზე თორმეტ თვეს სამჯერ დაუმატებდნენ მეცამეტე თვეს. მაშინ დღეების ანგარიში მთვარისა და მზის მიხედვით ერთმანეთს დაემთხვეოდა. ამრიგად, მთვარის კალენდარი მთვარისა და მზის კალენდრად გადაიქცა. რთული ამოცანა გადაწყდა ძალიან მარტივად, მაგრამ არცთუ ისე ზუსტად.

კალენდრის მიხედვით მთვარისმიერ თვეში საშუალოდ 29,5 დღე-ღამე იყო, სინამდვილეში კი ოდნავ მეტია — 29,53 [1]. განსხვავება არცთუ ისე დიდია, მაგრამ ამ სამი მეასედიდან რვა წლის მანძილზე სამ დღეზე მეტი გროვდებოდა.

ჩინელი ასტრონომები სხვაგვარი კალენდრით სარგებლობდნენ. მათ ჯერ კიდევ VI ს. ძვ. წ. გამოითვალეს, რომ ცხრამეტი მზისმიერი წელი შეიცავს დაახლოებით იმდენსავე დღეს, რამდენსაც 235 მთვარისმიერი თვე. თუ წელიწადში მხოლოდ თორმეტი მთვარისმიერი თვე იქნება, მაშინ ცხრამეტ წელიწადში (12 × 19 = 228) შვიდი თვე დააკლდება. მაშასადამე, იმისათვის, რომ დროის მთვარისმიერი ანგარიში შეეთანხმებინათ მზისმიერ ანგარიშთან, საჭირო იყო ყოველი ცხრამეტი წლის ბანძილზე შვიდი წლისათვის მიემატებინათ თითო-თითო, მეცამეტე თვე.

ამასთანავე, ცამეტთვიან წლებში მუდამ 384 დღე-ღამე იყო, დანარჩენებში კი მხოლოდ 354. ეს მეტად მოუხერხებელი იყო, მაგრამ სხვა გამოსავალი არ ჩანდა. ასეთივე კალენდარი გამოიგონა ბერძენმა ასტრონომმა მეტონმაც 432 წ. ძვ. წ., თუმცა მრავალი საუკუნით ადრე უფრო სრულყოფილი კალენდარიც არსებობდა.

---

[1] სინამდვილეში ახალმთვარეობისას ნამგალი არ ჩანს. ამ დროს დედამიწისკენ მოქცეული მთვარის მხარე მზით არ არის განათებული. მაგრამ ძველად ახალმთვარეობას უწოდებდნენ მთვარის ნამგლის პირველ გამოჩენას.

[1] მთვარის ერთი ბრუნი დედამიწის გარშემო — მთვარისმიერი თვე — გრძელდება საშუალოდ 29,53059 დღე-ღამეს, ან 29 დღეს, 12 საათს, 44 წუთსა და 2,8 წამს. ეს რიცხვი, როგორც დღე-ღამე, წელიწადის ხანგრძლიობასთან უთანაზომოა.

ყველაზე მარტივი და მოსახერხებელი

ძველი მსოფლიოს არც ერთ ქვეყანაში არ იყო ისეთი ოსტატური სარწყავი სისტემა, როგორიც ეგვიპტეში. მთელ სამიწათმოქმედო სამუშაოებს აქ ქურუმები განაგებდნენ.

მრავალი ღმერთი ჰყავდათ ძველ ეგვიპტელებს, მაგრამ ყველაზე უფრო მეტად ისინი მზის ღმერთს — ამონს, „ყველაფრის უფალს“ ოსირისსა და მის მეუღლეს ისიდას ეთაყვანებოდნენ. ესენი იყვნენ ნაყოფიერების ღმერთები. ისინი თაყვანს სცემდნენ აგრეთვე „ხალხის მარჩენალს“ ხაპის — მდინარე ნილოსის ღვთაებას.

წყალდიდობის დროს, ივლისიდან ოქტომბრამდე, მდინარე ნილოსი ძალზე დიდდება და მიწდვრებზე ტოვებს ფხვიერ, ნოყიერ შლამს, რომელიც მიწას ანოყიერებს. მაგრამ ხდებოდა ისეც, რომ მძლავრი მდინარის მღვრიე წყალს თან მიჰქონდა საცხოვრებელი სახლები და ხალხი.

აი, რატომ იყო საჭირო რთული სარწყავი სისტემის სრულ წესრიგში მოყვანა, რატომ იყო საჭირო ნილოსის ამ სასურველი, მაგრამ ამავე დროს სახიფათო ადიდების დაწყებისათვის წინასწარ მომზადება. ამაზე იყო დამოკიდებული მოსავლის ბედი და ეგვიპტელთა ცხოვრება. მაგრამ, როგორ ედევნებინათ თვალი მდინარის ადიდების დაწყებისათვის?

არავის არ შეეძლო განეჭვრიტა, როდის დაიწყებოდა დაუდგრომელი წყალდიდობა. დედამიწაზე არავითარი ნიშანწყალი არ არსებობდა იმისა, თუ როდის ადიდდებოდა ნილოსი[1]. ქურუმმა-ასტრონომებმა გამოძებნეს ასეთი უტყუარი მინიშნებანი ცაზე სირიუსის მიხედვით.

ეგვიპტეში ეს ვარსკვლავი ადრე გაზაფხულზე მხოლოდ საღამოს საათებში ჩანს დასავლეთით და დღითი დღე სულ უფრო და უფრო უახლოვდება ჰორიზონტს, ვიდრე მთლად არ დაიმალება: სინამდვილეში ამ დროს სირიუსი მზის ამოსვლის შემდეგ ამოდის და ამიტომაც არის ის უხილავი. დაახლოებით ორ-ნახევარი თვის შემდეგ ვარსკვლავი კვლავ გამოჩნდება აღმოსავლეთით, ჯერ მცირე ხნით ოდნავ გაიკიაფებს ალმასივით უკვე შევარდისფერებულ განთიადისწინა ცაზე, და მალევე ქრება აისის სხივებში. სწორედ მაშინ — სირიუსის პირველი გამოჩენის დროს — იწყებოდა მდინარე ნილოსში წყლის მომატებაც.

სირიუსის გამოჩენის ეს თანმიმდევრობა ქურუმებმა სასწაულებრივ ღვთიურ მანიშნებლად ჩათვალეს, ხოლო სირიუსი, რომელიც გზას უხსნიდა ნილოსის წყალს — წმიდა ვარსკვლავად, ქალღმერთ ისიდას განსახიერებად გამოაცხადეს. ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავის მოძრაობაზე დაკვირვებით ქურუმებს შეეძლოთ დაბეჯითებით ეწინასწარმეტყველათ, როდის დაიწყებოდა ბარაქიანი წყალდიდობა და ეს წინასწართქმანი ყოველთვის უტყუარი იყო. ქურუმები თავიანთ გამოანგარიშებებს არავის უმხელდნენ. მხოლოდ ისინი აწარმოებდნენ ასტრონომიულ დაკვირვებებს, სწვდებოდნენ ციური სამყაროს საიდუმლოებებს და მხოლოდ მათ შეეძლოთ ყოფილიყვნენ „წინასწარმეტყველნი“. ამის წყალობით კიდევ უფრო გაიზარდა ქურუმების ძალაუფლება და გავლენა. მათ ხალხი ბრმა მორჩილებაში ჰყავდათ.

სირიუსსა და მზეზე დაკვირვებების შედეგად ქურუმებმა გამოიანგარიშეს, რომ წელიწადში 365 დღე-ღამეა და შეადგინეს კალენდარი. კალენდარში შედიოდა ოცდაათდღიანი ან სამი ათდღიანი თორმეტი თვე, ხოლო წლის ბოლოს, „ღმერთების“ დაბადების დღეთა აღსანიშნავად, ემატებოდა კიდევ ხუთი დღე. მთვარისმიერ თვეებს უკვე მნიშვნელობა აღარ ჰქონდა. ეს იყო კაცობრიობის ისტორიაში მ ზ ი ს პირველი კალენდარი, მეტად მარტივი და მოხერხებული, მაგრამ მასაც ერთი ნაკლი ჰქონდა.

ახალი წლის საზეიმო დღესასწაული დაუკავშირეს სირიუსის პირველ „გამოჩენასა“ და ნილოსის ადიდების დაწყებას. ეგვიპტური კალენდრის პირველ თვეს ერთ-ერთი ღმერთის პატივსაცემად ტოტი უწოდეს. მაგრამ შეხეთ საოცრებას: თუ ამ წელს წმიდა ვარსკვლავი ტოტის პირველ რიცხვში დილის რიჟრაჟის წინ ჩანს, ოთხი წლის შემდეგ ის შეიძლება შევამჩნიოთ ამ თვის მხოლოდ ორ რიცხვში. რატომ ცდება სირიუსი და ყოველ ოთხ წელიწადში მთელი დღე-ღამით აგვიანებს გამოჩენას?

მოგვიანებით ეს საიდუმლოებაც ამოხსნეს: წე-

[1] მხოლოდ ასი წლის წინ, 1863 წ. დაადგინეს, რომ ნილოსის ყოველწლიური ადიდება გამოწვეულია ზაფხულის ძლიერი კოკისპირული წვიმებით მდინარის სათავეებთან, აბისინიის პლატოზე.

ლიწადი ზუსტად 365 დღე-ღამეს კი არ შეიცავს, არამედ თითქმის $365\frac{1}{4}$. ეს „ზედმეტი“ მეოთხედი ოთხ წელიწადში მთელ დღე-ღამეს შეადგენს, რომელიც არ ჩანს კალენდარში. გამოდის, რომ ვარსკვლავი კი არ აგვიანებს ამოსვლას, კალენდარი ჩქარობს, წინ უსწრებს ბუნებას ოთხ წელიწადში ერთი დღე-ღამით.

მაგრამ ქურუმები კიდევ დიდხანს ფიქრობდნენ, რომ წელიწადში ზუსტად 365 დღეა და, ახალი წლის დასაწყისი ინაცვლებდა კალენდრის ყველა დღეზე. ჩვენთვის უაზრო იქნებოდა, შევხვედროდით ახალ წელს ხან ორ იანვარს, ხან სამში და კიდევ უფრო გვიან, ან გვედღესასწაულა პირველი მაისი ივნისში, შემდეგ აგვისტოში, შემოდგომაზე, ზამთარში...

მაგრამ ეგვიპტელები შეეგუენ მოხეტიალე ახალ წელს, ქურუმებს კი ეს სულაც არ ადარდებდათ: ისინი განგებ არ ასწორებდნენ შეცდომებს რელიგიური ცრურწმენის დასაცავად და გარდა იმ პირთა, რომელთაც იცოდნენ გამოანგარიშების საიდუმლოება, არავის არ შეეძლო გარკვეულიყო რთულ კალენდრულ გაანგარიშებაში.

მართალია, ძველი ეგვიპტის ერთ-ერთი მეფე პტოლემე III ევერგეტი 238 წ. ძვ. წ. ცდილობდა გამოესწორებინა ეს ნაკლი და წამოაყენა წინადადება — ოთხ წელიწადში ერთხელ დაემატებინათ კიდევ ერთი, 366-ე დღე. მაგრამ ქურუმებმა გადაჭრით უარყვეს ეს წინადადება და უძველესი კალენდარი კვლავ დიდხანს დარჩა მოხეტიალე.

მხოლოდ 26 წ. ძვ. წ. (ეგვიპტე ამ დროისათვის რომაელებს ჰქონდათ დაპყრობილი) რომის იმპერატორმა ავგუსტუსმა ეგვიპტის მაშინდელ დედაქალაქ ალექსანდრიაში შემოიღო კალენდარი ევერგეტის შესწორებებით. სწორედ ეს მარტივი და მოხერხებული ალექსანდრიული კალენდარი არსებობს აქამდე ეთიოპიაში.

ამგვარი კალენდარი 1793 წ. შემოიღეს რესპუბლიკურ საფრანგეთში. ამ მეცნიერულ კალენდარში იყო თორმეტი თვე, თვითეულ თვეში — 30 დღე ან სამი ათდღიური. წლის ბოლოს ემატებოდა კიდევ ხუთი სადღესასწაულო დღე, როცა ქება-დიდებას ასხამდნენ საუკეთესო გამოგონებებს, შრომის გმირებს, ვაჟკაცობისა და მამაცობის გამოვლინებებს, ხოლო ოთხ წელიწადში ერთხელ, მეექვსე დამატებით დღეს ეწყობოდა სპორტული თამაშობანი და შეჯიბრებები. ამ რესპუბლიკურმა კალენდარმა არცთუ ისე დიდხანს იარსება, ის 1806 წ. გააუქმეს.

თანამედროვე კალენდრებიდან ყველაზე საუკეთესო მაინც ალექსანდრიული კალენდარია. სამწუხაროდ, ჩვენი კალენდარი გადმოღებულია არა ეგვიპტელებისაგან, არამედ რომაელებისაგან.

იულიუსის კალენდარი

უცნაური კალენდარი დამკვიდრდა რომში 2500-ზე მეტი წლის წინათ. წელიწადი იწყებოდა მარტიდან და შედგებოდა თორმეტი თვისაგან: ოთხი თვე 31 დღიანი იყო, შვიდი თვე — 29 დღიანი, ხოლო თებერვალი 28 დღიანი. არსებითად ეს იყო მთვარის დამახინჯებული კალენდარი. თვეები ამ კალენდარში არ ეთანხმებოდა ახალმთვარეობას, ხოლო წელიწადში იყო 355 დღე-ღამე, ე. ი. აკლდა $10\frac{1}{4}$ დღე-ღამე. ეს სხვაობა წლითი წლობით იზრდებოდა და მოკლე კალენდარიც სულ უფრო და უფრო მირბოდა წინ — ზამთრიდან გაზაფხულისაკენ, გაზაფხულიდან ზაფხულისაკენ.

კალენდარი მოითხოვდა მეცამეტე თვის დამატებას, მაგრამ ამას სასტიკად კრძალავდა რელიგიური რწმენა. ცრურწმენის ერთგულმა დამცველებმა — ქურუმებმა, რომლებიც განაგებდნენ კალენდარს, მოხერხებული გამოსავალი იპოვეს: მათ დაუმალეს ღმერთებს დამატებითი თვე და როგორღაც ჩაჩხირეს ის თებერვლის თვეში. ამას ასე აკეთებდნენ: ორ წელიწადში ერთხელ 23 თებერვლის შემდეგ ქურუმები უმატებდნენ რაღაც მოკლე თვეს (მერცედონიას), რომელიც ხან 22, ხან 23 დღე-ღამისაგან შედგებოდა, ყოველივე ამის შემდეგ, ვითომც არაფერი მომხდარიყოს, განაგრძობდნენ თვლას 24 თებერვალი, 25, 26 და ა. შ.

ამ ხერხით ქურუმებმა თითქოს მოატყუეს ღმერთები და გადაწყვიტეს, რომ უკვე ყველაფერი მოგვარებული იყო, მაგრამ მათ კალენდარში აღმოჩნდა ერთი ზედმეტი დღე. ყოველ ოთხ წელიწადში ერთხელ ხომ ორ — 22 და 23 დღეღამიან მერცედონიას — სულ 45 დღეს უმატებდნენ. შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ კალენდარს წელიწადში საშუალოდ ემატებოდა $11\frac{1}{4}$ (45 : 4) დღე-ღამე, სინამდვილეში კი კალენდარს აკლდა მხოლოდ $10\frac{1}{4}$ დღე-ღამე. აი, რატომ გაჩნდა ზედმეტი დღე.

ადრე კალენდარი მეტისმეტად მოკლე და ჩქა-

რი იყო, ახლა ის ზედმეტად ხანგრძლივი და ზანტი გახდა და სულ უფრო მეტად ჩამორჩებოდა წელიწადის დროებს. თითქოს არაფერს ნიშნავდა ერთი დღე, მაგრამ 30 წლის მანძილზე ერთი დღე ერთ თვემდე, შემდეგ ორ და უფრო მეტ თვემდეც იზრდებოდა, ისე რომ, ხშირად მინდვრებზე უკვე მოსავალს იღებდნენ, კალენდარი კი გაზაფხულის თვეებს უჩვენებდა.

ამასთან ქურუმები ხშირად ანგარებით იყენებდნენ კალენდარს. როცა მათ ადრიანად სურდათ გადასახადის აკრეფა, მოკლე თვეს აღარ ურთავდნენ კალენდარს, ხოლო თუ ხელსაყრელი იყო მათთვის წელიწადის გაგრძელება, მაშინ დამატებით თვეს იყენებდნენ. ასე აირია საბოლოოდ თვეთა ანგარიში. საჭირო იყო არეულ-დარეული კალენდრის წელიწადის დროებთან შეთანხმება და ღვთისმსახურების მიერ მისი ბოროტად გამოყენების აკრძალვა. ეს რეფორმა გაატარა რომის იმპერატორმა იულიუს კეისარმა 46 წ. ძვ. წ.

ალექსანდრიელი ასტრონომის, სოზიგენის, რჩევით კეისარმა წელიწადის თვეთა რიცხვიდან გამორიცხა მოუხერხებელი მოკლე თვე და დღეთა რიცხვი ხელახლა გაანაწილა თვეების მიხედვით: შვიდი თვე გახდა 31 დღიანი, ოთხი თვე — 30, ხოლო თებერვალში დარჩა 28 დღე. ამრიგად, წელიწადი ახლა შეიცავდა 365 დღეს, უნდა ყოფილიყო $365\frac{1}{4}$, ამ მეოთხედი ნაწილებისაგან ოთხი წლის მანძილზე მთელი დღე-ღამე დგება და გადაწყდა, რომ ეს ერთი დღე-ღამე დაემატებინათ ყოველი მეოთხე წლისათვის და გაეგრძელებინათ თებერვალი. ასეთი კალენდრით ვსარგებლობთ ახლაც. ამ კალენდრის მიხედვით ნაკიანია, ესე იგი 366 დღისაგან შედგება წელიწადი, რომლის რიცხვი იყოფა 4-ზე, მაგალითად 1960, 1964, 1968...

წლის დასაწყისი კეისარმა გადაიტანა 1 მარტიდან 1 იანვრისათვის. ამ დღიდან იწყებდნენ თავიანთი მოვალეობის შესრულებას სახელმწიფო მოხელენი, მაგრამ თვეთა ადრინდელი სახელწოდებანი კალენდარს შემორჩა და ამან სასაცილო გაუგებრობა გამოიწვია.

ადრე კალენდრის პირველი თვე იწოდებოდა მარტიუსად — ღმერთ მარსის სახელის მიხედვით, მეორე თვე — აპრილისად, მესამე და მეოთხე ქალღმერთების მაიასა და იუნონას სახელებს მიეძღვნათ — მაიუსი და იუნიუსი. შემდეგი თვეები იწოდებოდა ლათინური რიცხვების მიხედვით: მეხუთე — კვინტილის (ივლისი), მეექვსე — სექსტილის (აგვისტო), მეშვიდე — სეპტემბერ (სექტემბერი), მერვე—ოქტობერ (ოქტომბერი), მეცხრე—ნოვემბერ (ნოემბერი) და მეათე თვე — დეცემბერ (დეკემბერი). ბოლო ორ თვეს ღმერთების: იანუსისა და ფებრუოსის სახელები — იანუარიუს (იანვარი) და ფებრუარიუს (თებერვალი)—ეწოდათ.

როცა ამ ორმა ბოლო თვემ წლის დასაწყისში გადმოინაცვლა, ყველა დანარჩენმაც შეიცვალა თავისი ადგილი: სექტემბერი უკვე მეშვიდე კი აღარ იყო, არამედ მეცხრე, ოქტომბერი — არა მერვე, არამედ მეათე და ა. შ. თუმცა ეს ცხადი უაზრობა იყო. მხოლოდ მეხუთე თვე კვინტილისს (ივლისი) იულიუს კეისრის პატივსაცემად დაერქვა ივლისი, ხოლო უფრო გვიან, მეექვსე თვეს სექსტილისს — აგვისტო, რომის პირველი იმპერატორის ავგუსტუსის პატივსაცემად.

იმ დროიდან შემორჩა სწორედ ჩვენს კალენდარს თვეთა სახელწოდებანი რომაული ღმერთების, ქალღმერთებისა და უმაღლეს მმართველთა სახელების, აგრეთვე ლათინური რიცხვითი სახელების მიხედვით, რომლებიც აზრობრივად უკვე აღარ შეესატყვისებოდნენ ერთმანეთს. შემორჩენილია აგრეთვე დროის მეტისმეტად უხეირო საზომი — კვირაც, რომელიც ჯერ კიდევ ბაბილონელმა ქურუმმა ასტრონომებმა მოიგონეს. მათთვის მხოლოდ ხუთი პლანეტა იყო ცნობილი, უმატებდნენ კიდევ მზესა და მთვარეს. ეს შვიდი მნათობი ძველი ბაბილონური რელიგიური რწმენით ღმერთების სამყოფელად ითვლებოდა და თვითეული ღმერთი „თავის“ დღეს განაგებდა.

შვიდდღიანი კვირა აღმოსავლეთის რელიგიასთან ერთად შემოვიდა იულიუსის კალენდარში (როგორც მას იულიუს კეისრის სახელის მიხედვით დაერქვა). კვირის თვითეული დღე ეძღვნებოდა ერთ-ერთ ციურ მნათობს: მზეს, მთვარეს და პლანეტებს, რომელთაც რომაელი ღმერთების სახელების მიხედვით დაერქვათ — მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი. ქრისტიანულმა ეკლესიამ მიიღო იულიუსის კალენდარი და შეინარჩუნა კვირა, მაგრამ აღჭურვა ის ახალი რელიგიური ცრურწმენებით. კვირა დღემდე შემოგვრჩა.

იულიუსის კალენდარი, რომელიც ქრისტიანულმა ეკლესიამ მიიღო, ევროპის ყველა ხალხში გავრცელდა და 1600 წელი იარსება. რატომღა გახდა საჭირო მისი შესწორება?

ახალი სტილი

იულიუსის კალენდრის მიხედვით წელიწადი გრძელდება საშუალოდ 365 დღე-ღამესა და ექვს საათს — თერთმეტი წუთითა და თოთხმეტი წამით, ანუ დღე-ღამის $^{1}/_{128}$-ით უფრო მეტ ხანს, ვიდრე დედამიწის ერთი შემოვლა სრულდება მზის გარშემო. ასეთი ყოველწლიური შეცდომებით 128 წლის მანძილზე გროვდებოდა ზედმეტი დღე-ღამე: მაგალითად, უნდა ყოფილიყო პირველი იანვარი, ხოლო კალენდარი ჯერ კიდევ შარშანდელი წლის 31 დეკემბერს უჩვენებდა. დროთა განმავლობაში კალენდარი სულ უფრო და უფრო უკან რჩებოდა.

325 წელს ქრისტიანული დღესასწაულები იულიუსის კალენდრის მიხედვით იყო მონიშნული. ამავე დროს აღდგომის მოსვლა უნდა გამოთვლილიყო გაზაფხულის პირველი სრულმთვარეობის მიხედვით, ხოლო გაზაფხულის დასაწყისად ითვლებოდა 21 მარტი, როცა დღე ღამის ტოლია. მაგრამ გაზაფხულის ბუნიობა (დღეღამტოლობა) კალენდრის მიხედვით ყოველ 128 წელიწადში ერთი დღით უკან იწევდა და XVI ს. უკვე 11 მარტისათვის შემდეგ ანგარიშში გამოეტოვებინათ ათი დღე და ხუთი ოქტომბერი თხუთმეტ ოქტომბრად — პარასკევად ჩაეთვალათ, მომავალში კი დაეცვათ „ნაკიანი წლების წესი“, რომელიც კომისიამ წამოაყენა. ეს კალენდარი, რომელსაც გრიგორიუსის, ანუ ახალი სტილის კალენდარი ეწოდა, თანდათანობით დამკვიდრდა ევროპის ქვეყნებში.

მაგრამ რუსეთში რევოლუციამდე მართლმადიდებელი ეკლესია გადაჭრით უარყოფდა ამ რეფორმას. ჩვენში მხოლოდ ვ. ი. ლენინის წინადადებით შემოიღეს 1918 წ. თოთხმეტ თებერვალს ახალი სტილის კალენდარი.

გრიგორიუსის კალენდარი იულიუსის კალენდარზე უფრო ზუსტია და წინ უსწრებს მზის წელიწადს საშუალოდ სულ 26 წამით. ზედმეტი დღე-ღამე დაგროვდება მხოლოდ ჩვენი წელთაღრიცხვის 49-ე საუკუნეში. პრაქტიკული საჭიროებისათვის ეს სიზუსტე სავსებით საკმარისია — კალენდარი ხომ საათი არ არის. მაგრამ არის თუ არა საკმაოდ მარტივი და მოხერხებული ახლანდელი კალენდარი?

კარგია თუ არა ჩვენი კალენდარი?

კალენდარი შექმნილია იმისათვის, რომ ვაწარმოოთ დღეთა სწორი აღრიცხვა და ყოველ დღეს, როგორც წიგნის გვერდს, ჰქონდეს თავისი რიგითი ნომერი: 10 იანვარი — ეს არის დღე № 10, ხოლო 10 თებერვალი — № 41. ასევე ზუსტად, რიგის მიხედვით უნდა იყოს დანომრილი წლებიც რომელიმე საწყისი თარიღიდან.

ძველად ეგვიპტელები წელთაღრიცხვას აწარმოებდნენ ფარაონთა დინასტიების მიხედვით, ჩინელები — მეფობის ხანის მიხედვით, ბერძნები — ოლიმპიადების მიხედვით, რომაელები — რომის დაარსებიდან, სხვა ხალხები — „სამყაროს მითიური წარმოქმნიდან“ ან „ქრისტეს დაბადებიდან“. ბოლო ორი ერა ღვთისმსახურებმა მოიგონეს სამყაროს ზღაპრული შემქმნელის ან მისი მხსნელის შესახებ რწმენის გასაძლიერებლად.

ძველ რუსეთში წელიწადი წარმართული ჩვეულების თანახმად გაზაფხულზე დგებოდა, მარტის თბილ დღეებში, როდესაც მინდვრის სამუშაოებს

იწყებდნენ. ქრისტიანობის შემოღების შემდეგ მართლმადიდებელმა ეკლესიამ მიიღო იულიუსის კალენდარი და წელთაღრიცხვა დაიწყო „სამყაროს შექმნიდან“ [1], ხოლო წლის დასაწყისი 1 სექტემბრისათვის გადაიტანა.

ძველი ჩვეულების მიხედვით პეტრე I ახალ — 1700 წელს ახ. წ., ანუ 7208 წელს „სამყაროს შექმნიდან“ პირველ სექტემბერს შეხვდა. მაგრამ მოულოდნელად მაცნეებმა გამოაცხადეს მეფის ბრძანება: „მომავალში წელთაღრიცხვას დავიწყებთ არა პირველი სექტემბრიდან, არამედ პირველი იანვრიდან და არა „სამყაროს შექმნიდან“, არამედ „ქრისტეს დაბადებიდან“. საახალწლო დღესასწაული ექვს დღეს გრძელდებოდა და დიდხანს ახსოვდათ ის მოსკოველებს. მაგრამ სამღვდელოებას, ბოიარებსა და ძველის სხვა მომხრეებს არ მოსწონდათ „წელთაღრიცხვის გადატრიალება“ და ფარულად გამოთქვამდნენ უკმაყოფილებას.

წელთაღრიცხვა მითიური ქრისტეს დაბადებიდან ამჟამად მთელ რიგ კულტურულ სახელმწიფოებშია მიღებული და „ჩვენი ერა“ ეწოდება.

კალენდრის სიზუსტე, რა თქმა უნდა, დამოკიდებული არ არის იმაზე, რომელი დღიდან დაიწყება წელი და რომელი თარიღიდან იწარმოებს წელთაღრიცხვა — რომელიმე ისტორიული თუ ღვთისმსახურების მიერ გამოგონებული მოვლენიდან. მაგრამ რელიგიური ცრურწმენა ხელს უშლის არსებული — გაუმართავი, არამყარი, არათანაბარზომიერი კალენდრის გაუმჯობესებას.

მართლაც, ერთი და იგივე რიცხვები კვირის სხვადასხვა დღეებზე მოდის და ყოველი წელი ერთი ან ორი დღით იწევს წინ. ეს იმიტომ ხდება, რომ წელიწადი ზუსტად 52 კვირას, ესე იგი 364 დღეს კი არ შეიცავს, არამედ 365 ან 366 დღეს.

ძლიერ მოუხერხებელია ისიც, რომ თვეებში დღეთა რაოდენობა განსხვავებულია — 28-დან 31 დღემდე, კვარტალებში 90-დან 92 დღემდე, წლის პირველ ნახევარში — ხან 181 და ხან 182 დღეა, ხოლო მეორე ნახევარში — 184 დღე. ჩვენ უკვე შევეგუეთ კალენდრის ასეთ ნაკლოვან მხარეებს, თუმცა ისინი ართულებენ გაანგარიშებას. ალრიცხვა გამარტივდებოდა, რომ არსებობდეს „მუდმივი“, წლიდან წლამდე უცვლელი კალენდარი,



მსოფლიო კალენდრის ემბლემა.

სადაც ყოველ თვეში სამუშაო დღეთა რაოდენობა ერთი და იგივე იქნებოდა.

საკითხი თანამედროვე კალენდრის რეფორმის შესახებ დაახლოებით ასი წლის წინათ წამოიჭრა. მას შემდეგ შემუშავდა ასობით პროექტი. ერთერთი პროექტი წამოაყენა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციასთან არსებულმა მსოფლიო კალენდრის საერთაშორისო ასოციაციამ. როგორია ეს პროექტი? ამ პროექტის მიხედვით წელიწადი შედგება ოთხი თანაბარი კვარტალისაგან. თვითეულ კვარტალში ცამეტი კვირა ანუ 91 დღეა. კვარტალის პირველ თვეში (იანვარი, აპრილი, ივლისი, ოქტომბერი) 31 დღეა და ხუთი კვირა დღე, ყველა დანარჩენში კი 30 დღეა და ოთხი კვირა. გამოდის, რომ ყოველი თვე 26 სამუშაო დღეს შეიცავს. ყოველი წელი და ყოველი კვარტალი კვირადღით იწყება.

ამ კალენდარში ზუსტად 52 კვირა ან 364 დღეღამეა. 365-ე დღე, რომელიც დღეთა რაოდენობას აკლია წელიწადში, გამორიცხულია კვირათა ანგარიშიდან და რიცხვი არა აქვს. მას წლის ბოლოს ჩაურთავენ როგორც მშვიდობისა და ხალხთა მეგობრობის დღესასწაულს. ნაკიან წლებში 366-ე დღეს აგრეთვე არ გააჩნია არც რიცხვი და არც დღე. ის 30 ივნისსა და პირველ ივლისს შორის ჩაემატება (იხ. კალენდრის პროექტი).

ეს პროექტი მოიწონა საბჭოთა კავშირმა,

[1] სამყაროს შექმნა ქრისტიანულმა ეკლესიამ დაუკავშირა 5508 წ. „ქრისტეს დაბადებამდე“.

საერთაშორისო კალენდრის პროექტი

პირველი კვარტალი

იანვარი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

თებერვალი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

მარტი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

მეორე კვარტალი

აპრილი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

მაისი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

ივნისი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

ნდ

მესამე კვარტალი

ივლისი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

აგვისტო						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

სექტემბერი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

მეოთხე კვარტალი

ოქტომბერი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ნოემბერი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

დეკემბერი						
კ	ო	ს	ო	ხ	პ	შ
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

მდ

ნდ. ნიშნავს „ნაკიან დღეს“. ეს დღე რიცხვის აღნიშვნის გარეშე ჩაერთვება მხოლოდ ნაკიან წლებში. **მდ.** „მშვიდობის დღე“ (აგრეთვე ურიცხვოდ); ის დაასრულებს ყოველ წელს.

ინდოეთმა, საფრანგეთმა, იუგოსლავიამ და სხვა სახელმწიფოებმა, მაგრამ ის აქამდე განუხორციელებელია. რატომ? ახალი კალენდრის შემოღება შეიძლება მხოლოდ საერთაშორისო შეთანხმების საფუძველზე, მაგრამ ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და ინგლისს ეს პროექტი არ მოეწონათ „რელიგიური მოსაზრებების გამო“.

კალენდარში თუნდაც ერთი დღე რომ იყოს გამორიცხული კვირის ანგარიშიდან, მაშინ მომდევნო კვირა დღეც ერთი დღით წინ გადაინაცვლებს, რის შედეგადაც მივიღებთ, რომ ქრისტე კვირა დღეს კი არ „აღდგა“, არამედ ორშაბათს, ძველებური აღრიცხვის მიხედვით. ზუსტად ასევე გადაინაცვლებენ წინ სხვა ქრისტიანული დღესასწაულები და არ მოხვდებიან „თავიანთ“ დღეებზე. ამის წინააღმდეგია ეკლესია და დაბეჯითებითაც მოითხოვს ძველი კალენდრის დატოვებას. ამიტომაც ფერხდება კალენდრის რეფორმა.

ყოველგვარი რელიგია მეცნიერების მტერია და კალენდრის მთელი ისტორია ყველაზე მარტივი, ნათელი მაგალითია იმისა, თუ როგორ უშლიან ხელს პროგრესს რელიგიური ცრურწმენანი.

დღეთა მეტად მოხერხებული აღრიცხვა მოიგონეს ძველმა ეგვიპტელმა ქურუმებმა, მაგრამ თვითონვე დაუკარგეს კალენდარს წელიწადის დროებთან კავშირი: ყოველი თვე ყველა სეზონში შეიძლებოდა მოხვედრილიყო. თავიანთი ეშმაკობით ქურუმებმა საბოლოოდ აურ-დაურიეს კალენდარი. კარგი იყო საფრანგეთის რესპუბლიკური კალენდარი, რომელიც სანიმუშოდ შეიძლებოდა გამოგვეყენებინა ყველა დროისა და ხალხებისათვის, მაგრამ ის გააუქმეს კათოლიკური ეკლესიის დაჟინებული მოთხოვნით. რელიგიური რწმენანი ახლაც უშლიან ხელს კალენდრის გაუმჯობესებას, თუმცა ამის საჭიროება დიდი ხანია მომწიფდა, რასაც აღიარებენ მთელი რიგი ქვეყნების ხალხები.

რომელი საათია?

ამ ჩვეულ კითხვაზე პასუხის გაცემა არცთუ ისე ადვილია, როგორც გვეჩვენება. ამასთან დაკავშირებით 450-ზე მეტი წლის წინათ სამწუხარო და ამავე დროს სასაცილო ამბავი მოხდა...

თითქმის სამი წელი (ორი კვირით ნაკლები) მოგზაურობდა ზღვებსა და ოკეანეებში მსოფლიოში პირველი ექსპედიცია დედამიწის გარშემო, რომელსაც მაგელანი ხელმძღვანელობდა. თვითონ მაგელანი გზაში დაიღუპა, ხოლო ხუთი ხომალდიდან სამშობლოში, სევილიაში, 1522 წ. 6 სექტემბერს დაბრუნდა მხოლოდ ერთი ძველი ხომალდი „ვიქტორია“. ამ „მცურავ კუბოზე“ ექსპედიციის 265 კაციდან დარჩა მხოლოდ ღონემიხდილი და ჩონჩხადქცეული 18 კაცი.

როგორც კი ხალხმა გადატანილი გაჭირვების შემდეგ მოიკეთა, სისუსტისაგან აკანკალებულ ხელებში ანთებული სანთლები ჩაბღუჯეს და ტაძრისაკენ გაეშურნენ უნებლიე ცოდვის მოსანანიებლად, რომელიც ხანგრძლივი მოგზაურობის დროს ჩაიდინეს. რა ცოდვა იყო ეს?

ჯერ კიდევ გზაში, მწვანე კონცხის კუნძულებთან, „ვიქტორიიდან“ ნაპირზე კარჭაპით გაეშურნენ სანოვაგისა და სასმელი წყლისათვის. უკან დაბრუნებისას მეზღვაურებმა აღნიშნეს, ნაპირზე ამ დღეს რატომღაც ხუთშაბათად თვლიანო, ხოლო ხომალდზე გემის ჟურნალის მიხედვით აღინიშნებოდა ოთხშაბათი. როცა „ვიქტორია“ სევილიაში დაბრუნდა, უკვე საეჭვო აღარ იყო, რომ დღე-ღამეთა სახომალდო ანგარიშში ერთი დღე იყო გამორჩენილი.

ყველაფერზე მეტად მეზღვაურები შეაშფოთა და დააღონა იმ ამბავმა, რომ ისინი ყველა რელიგიურ დღესასწაულს ერთი დღით ადრე აღნიშნავდნენ, ვიდრე ეს კალენდრის მიხედვით იყო გათვალისწინებული. აი, რას ინანიებდნენ ისინი ტაძარში. როგორ გამოეპარათ ექსპედიციის მონაწილეებს ეს ნავსი დღე? სად და როდის დაეკარგათ ის?

ყველაზე საინტერესო ამ უცნაურ შემთხვევაში ის იყო, რომ მცირე შეცდომაც არ დაუშვიათ მეზღვაურებს დღეთა აღრიცხვაში. მაშ, სად იმალება საიდუმლოება?

დედამიწის სფერო ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ და დღე-ღამეში ერთ სრულ შემოვლას აკეთებს. მაგელანის ექსპედიცია მიემართებოდა საწინააღმდეგო მიმართულებით — აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ. დედამიწის გარშემო სამი წლის მოგზაურობის მანძილზე ექსპედიციამაც შეასრულა ერთი სრული შემოვლა დედამიწის ღერძის გარშემო, მაგრამ ჩვენი პლანეტის ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულე-

ბით. და აი, გამოვიდა ისე, რომ მოგზაურებმა დედამიწას შემოუარეს ერთი დღით ნაკლებ დროში, ვიდრე მთელმა კაცობრიობამ და არსებითად, კი არ დაუკარგავთ, მოიგეს ერთი დღე. ექსპედიცია აღმოსავლეთის მიმართულებით რომ გამგზავრებულიყო, მაშინ ერთი დღით ზედმეტს მოითვლიდნენ.

ჯერ კიდევ მაგელანის თანამგზავრი ანტონიო პიგაფეტა მიხვდა, რომ დედამიწის ცალკეულ ადგილებში ერთსა და იმავე მომენტში სხვადასხვა დროა. ეს ასეც უნდა იყოს; მზე ხომ ერთდროულად არ ამოდის მთელი ჩვენი პლანეტისათვის. ყოველ მერიდიანზე თავისი, ადგილობრივი დროა, ხოლო 15° გრძედის მანძილზე დროში სხვაობა ზუსტად ერთ საათს შეადგენს. როცა ვლადივოსტოკში შუადღეა, თბილისელებს ჯერ კიდევ მშვიდად სძინავთ. აქ მხოლოდ დილის ექვსი საათია.

მცირე განსხვავება დროში უხერხულობას არ ქმნის. მაგრამ ჯერ კიდევ გასულ საუკუნეში დროში ასეთი სხვაობა სერიოზულ უხერხულობას იწვევდა. წარმოიდგინეთ, რომ ვლადივოსტოკიდან თბილისში ზუსტად 31 დეკემბერს შუაღამისას გაგზავნეს დეპეშა. ორი საათის შემდეგ ის აღნიშნულ მისამართზე მივა, თბილისში კი ამ დროს მხოლოდ 31 დეკემბრის რვა საათია. გამოდის, რომ დეპეშა მიღებულია გამოგზავნამდე.

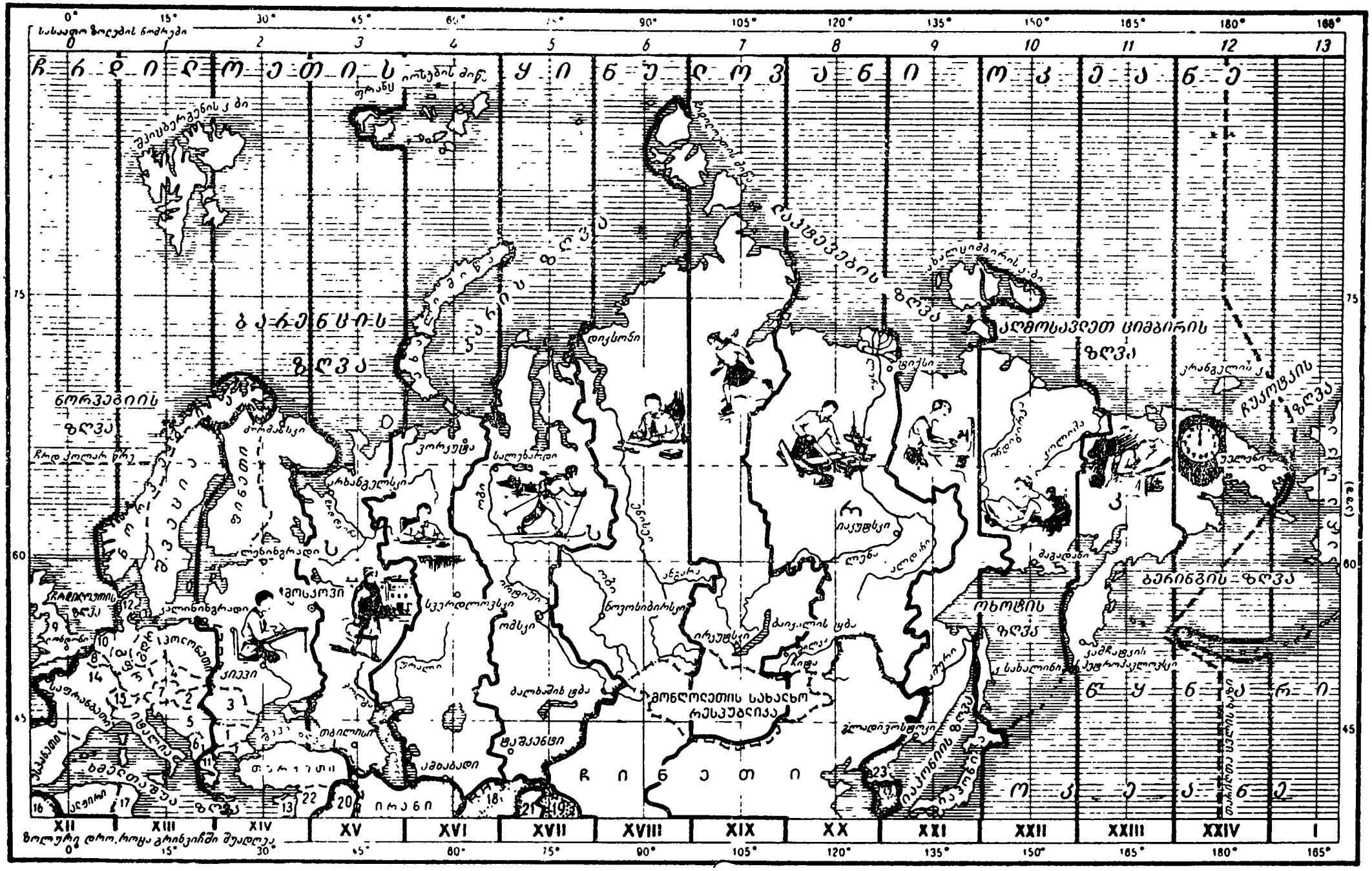
ასეთ სასეირო „მოგზაურობებს წარსულში“ დიდი არეულობა შეჰქონდა ტელეგრაფისა და განსაკუთრებით რკინიგზის ტრანსპორტის მუშაობაში. მატარებლები თავის დროზე უნდა მივიდნენ დანიშნულ ადგილზე, მაგრამ რომელი დროით დავგეგმოთ მათი მოძრაობა? ძალიან რთულია განრიგის შედგენა ყველა სადგურის ადგილობრივი დროის მიხედვით, რომელთაც თავიანთ გზებზე გაივლიან მატარებლები.

ამიტომ თვითეულ სახელმწიფოში შემოიღეს ერთიანი დრო: რუსეთში — პეტერბურგის, პულკოვოს ობსერვატორიის მიხედვით, საფრანგეთში — პარიზის, ინგლისში — გრინვიჩის (ლონდონის ახლოს). მაგრამ ყოველ ქალაქში მაინც რჩებოდა თავისი, ადგილობრივი დრო: როცა მოსკოვში, მაგალითად შუადღე დგება, ირკუტსკში უკვე ოთხი საათი, 26 წუთი და 49 წამია. სხვადასხვა ქალაქში ციფერბლატზე ერთსა და იმავე მომენტში არა მარტო საათის ისარი, არამედ წუთისა და წამის ისრები თავისებურად განლაგდებიან. ამ შეუთანხმებლობას ბოლო მოეღო ზოლური დროის შემოღების შემდეგ.

დედამიწის სფეროს ზედაპირი დღე-ღამეში საათების რიცხვის მიხედვით ერთმანეთისაგან 15°-ით დაშორებული მერიდიანებით დაყოფილი იყო 24 ნაწილად, 24 ზოლად. ყოველი ზოლის შიგნით ყველა პუნქტისათვის დადგენილია ერთიანი დრო, კერძოდ კი იმ მერიდიანის ადგილობრივი დრო. რომელიც ამ ზოლის შუაგულში გადის.

შეთანხმდნენ, საწყის ან ნულოვან ზოლად ჩაეთვალათ ის ზოლი, რომლის შუაში გადის ნულოვანი — გრინვიჩის მერიდიანი. ამ ზოლს აღმოსავლეთიდან ეკვრის პირველი ზოლი, სადაც ყველა საათი უჩვენებს ზუსტად ერთი საათით მეტს, შემდეგ მეორე ზოლი — ორი საათით, მესამე — სამი საათით მეტს და ა. შ. თვითეული ზოლის დრო მეზობელი ზოლისაგან განსხვავდება მხოლოდ ერთი საათით, ხოლო წუთები და წამები ყველა ზოლში ერთი და იგივეა: როცა მოსკოვში, მაგალითად, შვიდი საათი, ათი წუთი და ცამეტი წამია, პარიზში და ლონდონში (ისინი ერთ ზოლში იმყოფებიან) — ხუთი საათი, ათი წუთი და ცამეტი წამია, ვლადივოსტოკში — თოთხმეტი საათი, ათი წუთი და ცამეტი წამი და ა. შ. ნაცვლად მრავალი ადგილობრივი დროისა, რაც ადრე ჰქონდათ შემოღებული ყველა სახელმწიფოში, ამჟამად მთელს დედამიწაზე მხოლოდ 24 ადგილობრივი დროა.

სსრ კავშირში ზოლური დრო 1919 წ. პირველი ივლისიდან შემოიღეს. ამავე დროს ზოლების საზღვრები მოხერხებულობისათვის დადგენილია არა ზუსტად მერიდიანების მიხედვით, არამედ მდინარეთა გასწვრივ ან რკინიგზის ხაზების, ანდა ოლქების საზღვრების მიხედვით. მოსკოვი მესამე ზოლში უნდა იყოს, მაგრამ ჩართულია მეორეში, როგორც ლენინგრადი. ჩვენი სამშობლოს ჩრდილო-აღმოსავლეთი განაპირა მხარე—ჩუკოტკის ნახევარკუნძული მთლიანად შედის მეთორმეტე ზოლში, რომლის საზღვარი ემთხვევა სსრ კავშირის სახელმწიფო საზღვარს. აქ „იბადება“ ყოველი დღე და თვის რიცხვი — ახალი თარიღი მთელი მსოფლიოსათვის. როცა ნულოვან-გრინვიჩის ზოლში, მაგალითად, 31 დეკემბრის შუადღეა, ჩუკოტკაზე შუაღამეა, ესე იგი დგება პირველი იანვარი — ახალი წელი. ხოლო ბერინგის სრუტის, რომელიც სსრ კავშირს გამოყოფს ამერიკის შეერთებული შტატებისაგან, მოპირდაპირე მხარეს ამ მომენტში



ტერიტორიები, სადაც მიღებული დრო განსხვავდება ზოლურისაგან.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა. შპიცბერგენისათვის ზოლური დრო დაკანონებული არ არის.

1 — ბულგარეთი 2 — უნგრეთი 3 — რუმინეთი 4 — ჩეხოსლოვაკია 5 — იუგოსლავია 6 — ალბანეთი 7 — ავსტრია 8 — ბელგია 9 — დიდი ბრიტანეთი 10 — ნიდერლანდი 11 — საბერძნეთი 12 — დანია 13 — კვიპროსი 14 — ლუქსემბურგი 15 — შვეიცარია 16 — მაროკო 17 — ტუნისი 18 — ავღანეთი 19 — ინდოეთი 20 — ერაყი 21 — პაკისტანი 22 — სიორია 23 — კორეა.

მხოლოდ 31 დეკემბრის ღამის პირველი საათია. (იხ. სასაათო ზოლების რუკა).

ბერინგის სრუტეში ჩუკოტკასა და ალასკას შორის არის დიომიდეს ორი კლდოვანი კუნძული. მათგან უდიდესზე, რომელიც დედამიწის გარშემო ი. კრუზენშტერნის ხელმძღვანელობით მოწყობილი პირველი რუსული ექსპედიციის მონაწილის რატმანოვის სახელს ატარებს, სსრ კავშირის წითელი დროშა ფრიალებს, მეორე — პატარა, კრუზენშტერნის კუნძულზე ამერიკის შეერთებული შტატების სახელმწიფო დროშაა აღმართული. თუ გადაფრინდებით ან გადაცურავთ რამდენიმე კილომეტრს საბჭოთა კუნძულიდან ამერიკის კუნძულამდე, შეიძლება მოხვდეთ... გასულ დღეში.

ბერინგის სრუტიდან შორს, სამხრეთით, ანტარქტიდამდე გადის თარიღთა ცვლის საერთაშორისო საზღვარი, რომელიც ყოფს წყნარი ოკეანის სივრცეებს. ეს პირობითი ხაზი დადგენილია იმისათვის, რომ არ განმეორდეს მაგელანის ექსპედიციიდან დაბრუნებული მეზღვაურების შეცდომა და იმისთვისაც, რომ არ იყოს კალენდრული რიცხვებისა და კვირის დღეების ანგარიშში არევ-დარევა.

ამჟამად გემებზე, რომლებიც წყნარ ოკეანეს გადაცურავენ აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ (ამერიკიდან აზიისაკენ), კალენდარში ერთ დღეს გამოტოვებენ და, მაგალითად, 31 დეკემბრის ორშაბათის შემდეგ 2 იანვრის ოთხშაბათს ჩათვლიან. ხოლო მოპირდაპირე მიმართულებით მიმავალი გემები, პირიქით, ერთსა და იმავე დღეს ორჯერ გაიმეორებენ.

ზოლური დრო მეტად მოხერხებულია. ამასთანავე რკინიგზის, წყლის, საჰაერო ტრანსპორტის განრიგსა და დეპეშებში საათები ჩვენში აღინიშნება მოსკოვის დროით, ცენტრალური ევროპის ქვეყნებში — ეგრეთ წოდებული შუაევროპის დროით, ინგლისში — გრინვიჩის მიხედვით.

მაგრამ სსრ კავშირში ელექტროენერგიის ეკონომიის მიზნით ზოლური დრო ყველგან ერთი საათით წინაა გადაწეული.

დროის ასეთი ანგარიში ჩვენში შემოღებულია საბჭოთა მთავრობის დეკრეტის (დადგენილების) მიხედვით 1930 წლიდან და ეწოდება დეკრეტული დრო. მოსკოვი, მაგალითად, განეკუთვნება მეორე ზოლს, მაგრამ მესამე ზოლის მიხედვით აღრიცხავს დროს. ამის გამო მატარებლების მოძრაობა, აგრეთვე, სსრ კავშირის მთელი ტერიტორიის მიხედვით საათებისა და წუთების აღნიშვნა სატელეგრაფო ბლანკებში მოსკოვის დეკრეტული დროის მიხედვით წარმოებს.

როცა ვპასუხობთ შეკითხვაზე — „რომელი საათია?“ მხედველობაში გვაქვს დეკრეტული დრო. მაგრამ არ უნდა დავივიწყოთ დროის ორი სხვა „სახეობაც“ — ზოლური და ადგილობრივი.

ადამიანი კოსმოსს ეწვია

პირველი ხელოვნური ციური სხეულები

ვინ იცის, ეგებ მრავალი ათასეული წლის წინ, როცა ადამიანი ვარსკვლავებით მოჭედილ ცას ‘მეჰყურებდა, უკვე ოცნებობდა ვარსკვლავეთში გაფრენაზე. უთვალავი მოციმციმე ღამის მნათობი მის გონებას ქვეყნიერების უსაზღვრო სივრცეებში მიაფრენდა, ათასგვარ წარმოდგენებს უქმნიდა და სამყაროს საიდუმლოებაზე აფიქრებდა. გადიოდა საუკუნეები, ადამიანი სულ უფრო და უფრო მეტად იმორჩილებდა ბუნებას, მაგრამ ვარსკვლავეთში გაფრენა ისევ აუხდენელ ოცნებად რჩებოდა, როგორც ათასეული წლების წინათ. ყველა ხალხების ლეგენდები და მითები სავსეა მთვარეზე, მზეზე და ვარსკვლავებზე გაფრენის ამბებით. ხალხის ფანტაზია ასეთი გაფრენისათვის გვთავაზობდა არწივებშებმულ ეტლს, ფრთებს, რომელსაც ადამიანი ხელებზე იმაგრებდა და სხვ.

XVII საუკუნეში ფრანგმა მწერალმა სირანო დე ბერჟერაკმა დაწერა ფანტასტიკური მოთხრობა მთვარეზე გაფრენის შესახებ. ამ მოთხრობის გმირი მთვარეზე რკინის ოთხთვალათი ავიდა. ის გამუდმებით მაღლა ისროდა მძლავრ მაგნიტს. მაგნიტი ოთხთვალას იზიდავდა და ოთხთვალა თანდათან დედამიწიდან მაღლა მიიწევდა მანამდე, სანამ მთვარეს არ მიაღწია. „ქვემეხიდან მთვარეზე“ გაემგზავრნენ ჟიულ ვერნის გმირები. ცნობილმა

ინგლისელმა მწერალმა ჰერბერტ უელსმა ასევე აღწერა მთვარისაკენ ფანტასტიკური მოგზაურობა ჭურვით. ჭურვის კორპუსი გაკეთებული იყო ისეთი მასალისაგან, რომელიც მიზიდულების ძალას არ ემორჩილებოდა.

კოსმოსური გაფრენის განსახორციელებლად ერავალნაირი წინადადება წამოაყენეს. ზოგიერთი მწერალი რაკეტებსაც იხსენიებდა, თუმცა ეს რაკეტები ტექნიკურად დაუსაბუთებელ ოცნებას წარმოადგენდა. ვერც ერთმა მეცნიერმა მრავალი საუკუნის მანძილზე ვერ მიაგნო იმ ერთადერთ საშუალებას, რომელიც ადამიანს ხელთა ჰქონდა და რომლის შემწეობითაც შეიძლებოდა დედამიწის მძლავრი მიზიდულობის ძალის გადალახვა და საპლანეტათშორისო სივრცეში განავარდება. ადამიანისათვის ვარსკვლავეთისაკენ მიმავალი გზის აღმოჩენის პატივი წილად ხვდა დიდ რუს მეცნიერს კონსტანტინე ედუარდის ძე ციოლკოვსკის.

უბრალო კალუგელმა მასწავლებელმა შეძლო ყველასთვის ცნობილი დენთის რაკეტაში მომავალი მძლავრი კოსმოსური ხომალდების პირველი სახე დაენახა. მისი იდეები კიდევ დიდხანს იქნება ადამიანის მიერ კოსმოსური სივრცის ათვისების საქმის საფუძველი.

მრავალი საუკუნე გავიდა მას შემდეგ, რაც დენთი გამოიგონეს და დაამზადეს პირველი რაკეტები, რომლებსაც დიდ სადღესასწაულო დღეებში გასართობად იყენებდნენ. მაგრამ მხოლოდ ციოლკოვსკიმ დაამტკიცა, რომ ერთადერთი მფრინავი აპარატი, რომელსაც უნარი შესწევს გასცდეს ატმოსფეროს, ამასთან სამუდამოდაც მოსცილდეს დედამიწას, რაკეტაა.

1911 წელს ციოლკოვსკიმ გამოთქვა ბრძნული აზრი: „კაცობრიობა სამუდამოდ არ დარჩება დედამიწაზე. მაგრამ სინათლისა და სივრცის დაპყრობით გატაცებული, ჯერ მოკრძალებულად გასცდება ატმოსფეროს საზღვრებს, შემდეგ კი მთლიანად დაიპყრობს მზის მახლობელ სივრცეს“.

ახლა ჩვენ მოწმენი ვხდებით, როგორ თანდათან ახდა მისი დიადი წინასწარმეტყველება. ადამიანის კოსმოსში შეჭრას დასაბამი მიეცა 1957 წლის ოთხ ოქტომბერს. ამ ღირსსახსოვარ დღეს ორბიტაზე გავიდა საბჭოთა კავშირში გაშვებული, კაცობრიობის ისტორიაში დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრი. თანამგზავრი 83,6 კგ იწონიდა. პირველმა კოსმოსურმა მერცხალმა დედამიწის ატმოსფერო გაარღვია და მზის მახლობელ სივრცეში სამეცნიერო მოწყობილობანი და რადიოგადამცემები გაიტანა. მათ დედამიწაზე გადმოსცეს პირველი მეცნიერული ინფორმაცია კოსმოსური სივრცის შესახებ.

პირველმა თანამგზავრმა დედამიწის გარშემოვლა ელიფსურ ორბიტაზე დაიწყო. დედამიწიდან მისი დაშორების უკიდურესი წერტილები შემდეგი იყო: უდიდესი (აპოგეუმი) — 947 კმ სიმაღლეზე და უმცირესი (პერიგეუმი) — 228 კმ სიმაღლეზე. ორბიტის სიბრტყის დახრა ეკვატორის მიმართ 65°-ს უდრიდა. პირველი ბრუნი თანამგზავრმა ერთ საათსა და 36,2 წუთში დაამთავრა. იგი დედამიწის გარშემო დღე-ღამეში თხუთმეტ ბრუნზე ოდნავ ნაკლებს ასრულებდა.

დედამიწიდან ორბიტის პერიგეუმის შედარებით მცირე დაშორება ატმოსფეროს გაიშვიათებულ ფენებში თანამგზავრის დამუხრუჭებასა და დღე-ღამეში ბრუნვის პერიოდის 2,94 წამით შემცირებას იწვევდა. ბრუნვის პერიოდის ასეთი უმნიშვნელო შემცირება იმაზე მეტყველებს, რომ თანამგზავრი ძალზე ნელა ეშვებოდა დაბლა, ამასთან, ჯერ მცირდებოდა მისი ორბიტის მაქსიმალური სიმაღლე (აპოგეუმი), თვითონ ორბიტა კი თანდათან წრეს ემსგავსებოდა.

გაშვებიდან ოცი დღის შემდეგ კოსმოსური მერცხალი დადუმდა — მისი რადიოგადამცემების მკვებავი ბატარეები დაიცალა. მზისაგან გავარვარებული და დედამიწის ჩრდილში გათოშილი თანამგზავრი მდუმარედ უვლიდა გარს თავის წარმგზავნელ პლანეტას, ირეკლავდა მზის სხივებს და რადიოლოკატორების იმპულსებს. ის თანდათან ეშვებოდა ძირს, კიდევ ორთვე-ნახევარი იარსება და ატმოსფეროს ქვედა, უფრო მკვრივ ფენებში დაიწვა.

პირველი თანამგზავრის ფრენამ უძვირფასესი ცნობები მოგვცა. ატმოსფეროში დამუხრუჭების გავლენით ორბიტის თანდათანობითი შემცირების შესწავლის შედეგად მეცნიერებმა შეძლეს გამოეანგარიშებინათ ატმოსფეროს სიმკვრივე ყველა სიმაღლეზე, სადაც თანამგზავრმა გაიარა, და ამ მონაცემების საფუძველზე უფრო ზუსტად გაეთვალისწინებინათ შემდგომი თანამგზავრების ორბიტათა ცვლა.

ხელოვნური თანამგზავრის ზუსტი ტრაექტორიის განსაზღვრამ ხელი შეუწყო მთელ რიგ გეო-

ფიზიკურ გამოკვლევათა ჩატარებას, დედამიწის ფორმის დაზუსტებას, დედამიწის შებრტყელების უფრო ზუსტ შესწავლას, რაც უფრო ზუსტი გეოგრაფიული რუკების შედგენის საშუალებას იძლევა.

თანამგზავრის ნამდვილი ტრაექტორიის გადახრები წინასწარ გამოთვლილი ტრაექტორიიდან აგრეთვე მეტყველებს დედამიწის მიზიდულობის ველის უთანაბრობაზე, რაზეც გავლენას ახდენს მასების განაწილება დედამიწის შიგნით და მის ქერქში. ამგვარად, თანამგზავრის მოძრაობის შესწავლის შედეგად მეცნიერებმა დააზუსტეს მონაცემები დედამიწის მიზიდულობის ველისა და დედამიწის ქერქის აღნაგობის შესახებ.

ასეთ გამოთვლებს ადრეც ახორციელებდნენ მთვარის მოძრაობის შესწავლის საფუძველზე. ოღონდ თანამგზავრი, რომელიც მხოლოდ რამდენიმე ასეული კილომეტრის სიმაღლეზე მიჭროდა დედამიწიდან, უფრო მეტ რეაგირებას ახდენდა მის მაგნიტურ ველზე, ვიდრე მთვარე, რომელიც თითქმის ოთხასი ათასი კილომეტრითაა დაშორებული.

ძალიან დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა იონოსფეროში, ანუ დედამიწის ატმოსფეროს დაელექტროებულ ზედა ფენებში, რადიოტალღების გავლის შესწავლას. თანამგზავრიდან გამოშვებული რადიოტალღები თითქოს მთლიანად კვეთდნენ, სინჯავდნენ იონოსფეროს. ამ შედეგების ანალიზმა მეცნიერებს საშუალება მისცა, არსებითად დაეზუსტებინათ დედამიწის გაზოვანი გარსის აღნაგობა.

1957 წლის სამ ნოემბერს მეორე საბჭოთა თანამგზავრი გაყვანილ იქნა უფრო წაგრძელებულ ორბიტაზე. თუ პირველი თანამგზავრის რაკეტას შეეძლო იგი 947 კმ სიმაღლეზე (აპოგეუმი) აეყვანა, მეორე თანამგზავრის რაკეტა უფრო მძლავრი იყო. თითქმის ისეთივე უმცირესი სიმაღლისას (პერიგეუმი) ორბიტის აპოგეუმმა 1671 კმ სიმაღლეს მიაღწია. თვით თანამგზავრი პირველ თანამგზავრზე გაცილებით მეტს, 508,3 კგ იწონიდა.

მესამე თანამგზავრი უფრო მაღლა, 1880 კილომეტრზე ავიდა და უფრო მძიმე იყო — 1327 კგ იწონიდა.

საბჭოთა თანამგზავრთა კვალდაკვალ ორბიტებზე გავიდნენ ამერიკული თანამგზავრები. რაკეტულ კვლევათა თავიანთი პროგრამის პრაქტიკული განხორციელება, რომელიც საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის გეგმით იყო გათვალისწინებული, ამერიკელებმა გვიან დაიწყეს. მათ მხოლოდ 1958 წლის 31 იანვარს, რამდენიმე უშედეგო ცდის შემდეგ, შეძლეს ორბიტაზე გაეყვანათ დედამიწის თავიანთი პირველი ხელოვნური თანამგზავრი „ექსპლორერ-1“ („მკვლევარი-1“). ეს თანამგზავრი იწონიდა 13,96 კილოგრამს და აღჭურვილი იყო აპარატურით, რომელსაც დაკვირვება უნდა მოეხდინა კოსმოსურ სხივებზე, მიკრომეტეორებზე, აგრეთვე გაეზომა თანამგზავრის გარსისა და თანამგზავრის შიგნით მოთავსებული გაზის ტემპერატურა.

ამერიკელთა შემდეგი თანამგზავრი „ავანგარდი“ 1,5 კგ იწონიდა. მას არ ჰქონდა არავითარი სამეცნიერო აპარატურა და მხოლოდ რადიოგადამცემებისა და მზის ბატარეების გამოსაცდელად იყო განკუთვნილი.

ამ ორი ამერიკული თანამგზავრის შედარებაც კი არ შეიძლება პირველ საბჭოთა თანამგზავრებთან.

მოგვიანებით ამერიკელებმა ორბიტებზე გაიყვანეს რამდენიმე ათეული თანამგზავრი, რომელთა წონა რამდენიმე ათეული კილოგრამიდან რამდენიმე ასეულ კილოგრამამდე მერყეობდა. მათი დახმარებით ამერიკელმა მეცნიერებმა მიიღეს მთელი რიგი მნიშვნელოვანი მონაცემები ატმოსფეროს ზედა ფენებისა და დედამიწის მახლობელი სივრცის შესახებ. ეს შედეგები ბევრად უფრო მნიშვნელოვანი იქნებოდა, ყველა ამერიკული თანამგზავრი კოსმოსის შესწავლის მიზნით რომ ყოფილიყო გაშვებული. ბევრი მათგანის გაშვება სამხედრო მიზნებს ისახავდა.

ყოველწლიურად იზრდება საბჭოთა და ამერიკელ მეცნიერთა მიერ გაშვებული თანამგზავრების რაოდენობა. უფრო რთული და მრავალფეროვანი ხდება სამეცნიერო აპარატურაც — კოსმოსში მთელი ლაბორატორიები იგზავნება.

თანამგზავრთა ორბიტები დედამიწის სფეროს სალტეებივით ერტყმის გარს ყველა მიმართულებით — ეკვატორული ორბიტებიდან (ეკვატორის პარალელური ორბიტებიდან) პოლარულ ორბიტებამდე (დედამიწის პოლუსებზე გამავალ ორბიტებამდე). მეცნიერები გულმოდგინედ სწავლობენ ყოველი განედიდან და ყოველი სიმაღლიდან მოსულ მეცნიერულ ინფორმაციებს (თანამგზავრებზე დად-

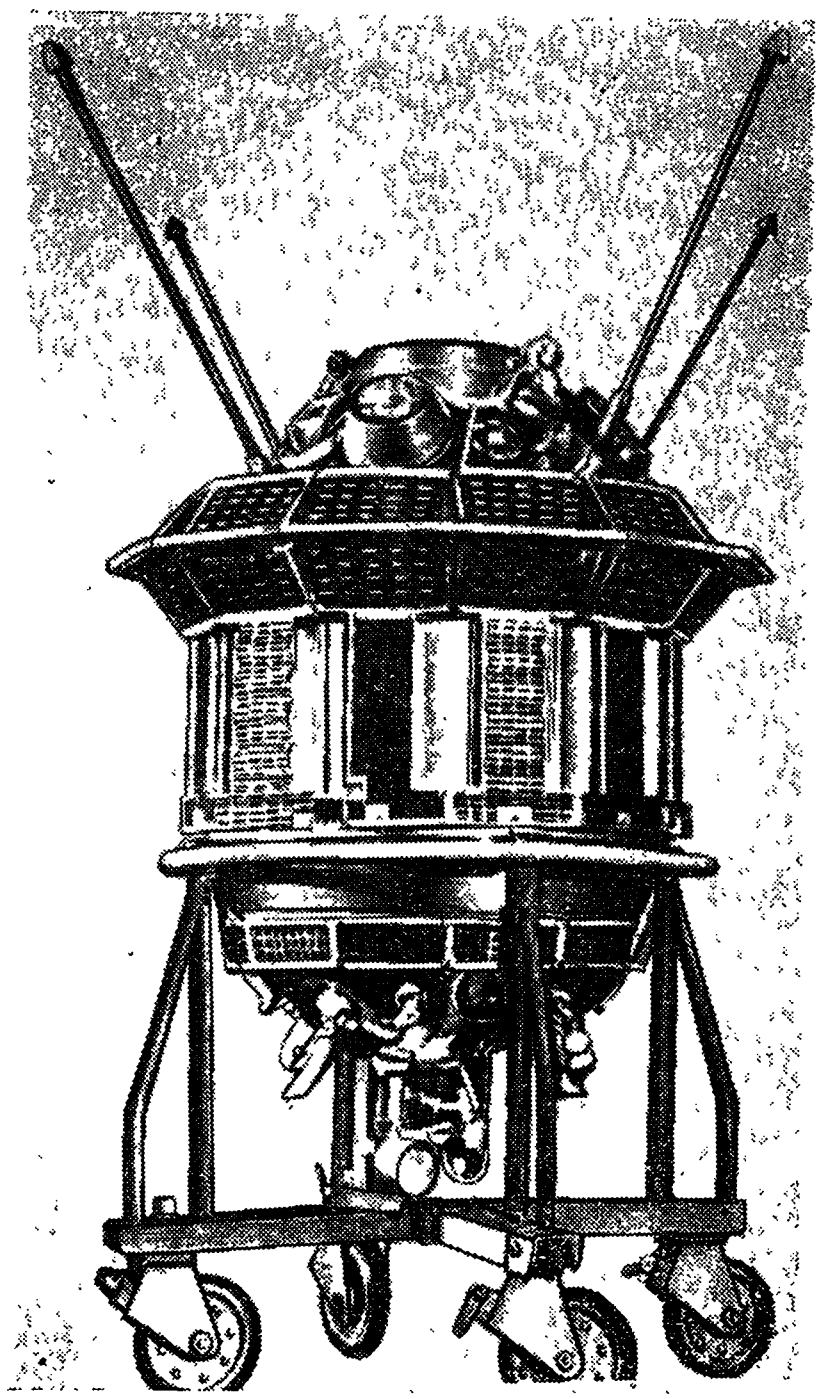
გმული ხელსაწყოების მიერ გადმოცემულ ცნობებს).

1959 წლის ორ იანვარს მთვარისაკენ გაემართა და მზის ირგვლივ ორბიტაზე გავიდა საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა „მთვარე-1“. ეს რაკეტა მზის თანამგზავრი გახდა. ამ რაკეტის მეშვეობით გამოიკვლიეს მთელი სისქე დედამიწის მახლობელი კოსმოსური სივრცისა. 34 საათში რაკეტამ გაიარა 370 ათასი კილომეტრი.. გადასერა მთვარის ორბიტა და გავიდა მზის ირგვლივ სივრცეში. ამის შემდეგ დაახლოებით 30 საათის განმავლობაში კიდევ აკვირდებოდნენ რაკეტის მოძრაობას და მასზე დაყენებული ხელსაწყოებიდან უძვირფასეს მეცნიერულ ინფორმაციებს ღებულობდნენ. ადამიანის მიერ გაგზავნილი ხელსაწყოები პირველად იკვლევდა კოსმოსურ სივრცეს დედამიწიდან 500 ათას კილომეტრ მანძილზე.

ამ გაფრენისას მიღებულმა მონაცემებმა არსებითად შეავსო ჩვენი ცნობები კოსმოსური ერის პირველი წლების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი აღმოჩენის — დედამიწის ირგვლივ მდებარე რადიაციის სარტყელთა შესახებ (იხ. ქვემოთ). 500 ათას კილომეტრზე ფრენისას სხვადასხვა გაზომვათა გარდა დაკვირვება მიმდინარეობდა საპლანეტათშორისო გარემოს გაზოვან შემადგენლობაზე, მეტეორებზე, კოსმოსურ სხივებზე და სხვ.

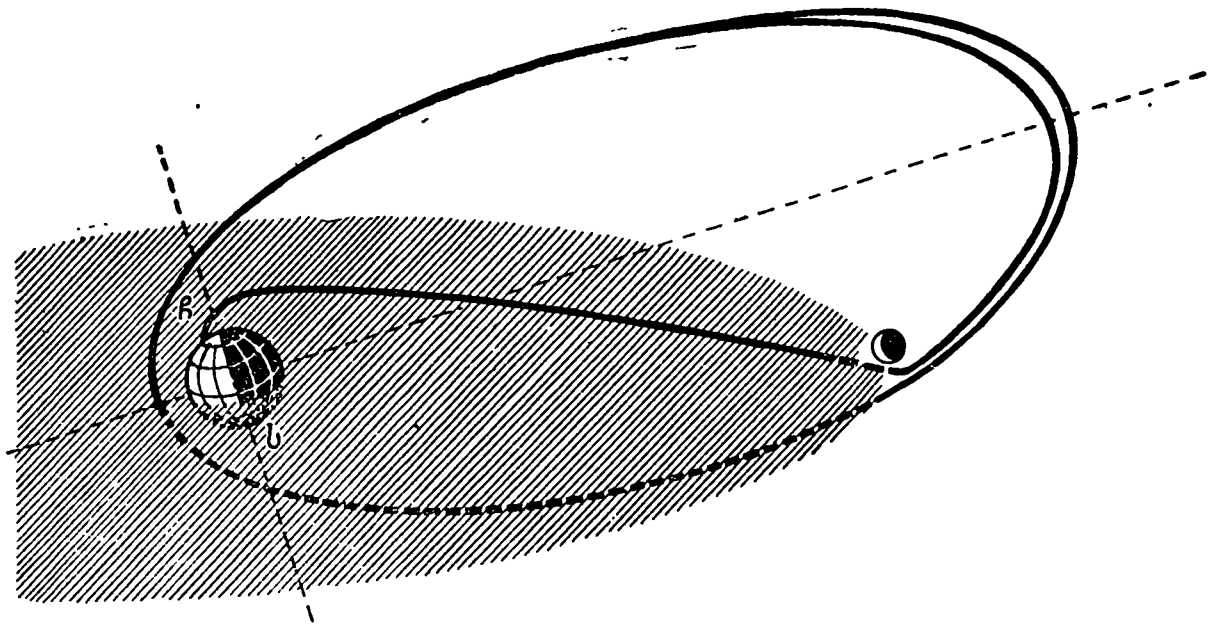
არა ნაკლებ განსაცვიფრებელი იყო მეორე საბჭოთა კოსმოსური რაკეტის „მთვარე-2“ გაფრენა. იგი გაუშვეს 1959 წლის 12 სექტემბერს. ამ რაკეტის ხელსაწყოთა კონტეინერი თოთხმეტ სექტემბერს 00 საათსა, 02 წუთსა და 24 წამზე მთვარის ზედაპირს შეეხო. ადამიანის ხელით შექმნილმა აპარატმა კაცობრიობის ისტორიაში პირველად მიაღწია სხვა ციურ სხეულს და უსიცოცხლო პლანეტაზე მიიტანა საბჭოთა ხალხის დიადი გამარჯვების ძეგლი — ვიმპელი, რომელზეც გამოსახული იყო საბჭოთა კავშირის გერბი. „მთვარე-2“-მა დაადგინა, რომ მთვარეს ხელსაწყოთა სიზუსტის საზღვრებში მაგნიტური ველი და რადიაციის სარტყელები არ გააჩნია.

ამ ამბავმა რიგიანად ვერც კი მოასწრო ადამიანთა ცნობიერებამდე მიეღწია, როცა ჩვენმა ქვეყანამ მსოფლიო ახალი საოცარი მიღწევით გაანაცვიფრა. 1959 წლის ოთხ ოქტომბერს დედამიწის პირველი საბჭოთა თანამგზავრის გაშვებიდან ზუსტად ორი წლისთავზე საბჭოთა კავშირმა გაუშვა მესამე კოსმოსური რაკეტა—„მთვარე-3“. ამ რაკეტას მოსცილდა ხელსაწყოებიანი ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური. კონტეინერი ისე იყო მიმართული, რომ მთვარეს შემოუარა და ისევ უკან, დედამიწის არეში დაბრუნდა. მასზე დადგმულმა აპარატურამ მთვარის ჩვენთვის უხილავი უკანა მხარის ფოტოსურათები გადაიღო და გამოსახულებები დედამიწაზე გადმოსცა.



საბჭოთა კავშირში გაშვებული პირველი ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგურის გარე ხედი.

ეს ბრწყინვალე სამეცნიერო ექსპერიმენტი საინტერესოა არა მარტო იმით, რომ კოსმოში ფოტოსურათების გადაღებისა და დედამიწაზე მათი



იმ საპლანეტათშორისო ავტომატური სადგურის ფრენის ტრაექტორიის სქემა, რომელმაც მთვარის უკანა მხარე გადაიღო.

გადმოცემის უმაგალითო ფაქტს წარმოადგენს, არამედ იმითაც, რომ განხორციელდა საოცრად რთული და საინტერესო ორბიტა.

„მთვარე-3“ მთვარეს უკანა მხრიდან უნდა მოქცეოდა, ორიენტაციის სისტემას კი კონტეინერი ისე უნდა შემოებრუნებინა, რომ ფოტოაპარატები მთვარისაკენ ყოფილიყო მიმართული. ამისათვის დედამიწიდან გადაცემული ბრძანებით მთელ კონტეინერს ბრუნვა დააწყებინეს. როცა კონტეინერის ქვედა ძირზე მოთავსებულ ფოტოელემენტებს ცის ნათელი სხივები მოხვდა, ამ სხივებისაგან ფოტოელემენტებში წარმოიშვა დენი, ეს დენი იყო სიგნალი, რომლის მიხედვით კონტეინერმა ბრუნვა შეწყვიტა და მოჯადოებულივით შეაჩერდა მზეს (დედამიწისა და მთვარის მიერ არეკლილი სუსტი შუქისაგან ფოტოელემენტები — მზეზე ორიენტაციის გადამწოდები — ვერ ამუშავდებოდა). კონტეინერის ზედა, მოპირდაპირე ძირზე მოთავსებული ფოტოაპარატები მთვარისაკენ აღმოჩნდა მიმართული. სამუშაოს დასაწყისში დედამიწის, მთვარისა და მზის ისეთი ურთიერთგანლაგება აირჩიეს, როცა დედამიწა მთვარისა და მზის შენაერთებელ ხაზს იყო მოშორებული. ამიტომ მთვარეზე უფრო ნათელი მნათობი — დედამიწა — არ შეიძლებოდა ობიექტივებში მოხვედრილიყო. ის მოშორებით იმყოფებოდა ცის იმ სექტორიდან, საითაც ობიექტივები იყო მიმართული.

მას შემდეგ, რაც მზისაგან განათებული მთვარის უკანა მხარე მთვარის გადამწოდების ხედვის არეში მოექცა, მზის გადამწოდები გამოირთო, სადგური უფრო ზუსტად „შემობრუნდა“ მთვარის გადამწოდებით და დაიწყო ფოტოგადაღება.

მაშასადამე, კონტეინერის მთვარესთან მისვლისას თვით კონტეინერი, მთვარე და მზე ერთ სწორ ხაზზე უნდა ყოფილიყო. ამას გარდა, მთვარის მიზიდულობას ისე უნდა გაემრუდებინა „მთვარე-3“-ის ორბიტა, რომ ის დედამიწაზე დაბრუნებულიყო ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს მხრიდან, სადაც განლაგებულია ყველა საბჭოთა სამეთვალყურო სადგური.

„მთვარე-3“-მა სტარტი აიღო ჩრდილოეთ ნახევარსფეროდან, თითქოს ჩაყვინთა მთვარის ქვეშ, შემოუარა სამხრეთი მხრიდან, შემდეგ თითქმის მის გვერდით გაიარა, გადაიხარა ზემოთ, მთლიანად შემოუარა მთვარეს და, როგორც გაანგარიშებული იყო, დედამიწაზე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს მხრიდან დაბრუნდა.

კონტეინერზე დადგმულმა ავტომატურმა დანადგარებმა ფირი კოსმოსში გაამჟღავნა და ელექტრონული ტექნიკის დახმარებით ფოტოსურათები დედამიწაზე რადიოთი გადმოსცა.

მთვარის უკანა მხარის ფოტოსურათების გადაღება პირველი აქტიური ნაბიჯია „არამიწიერი“ ასტრონომიის პრაქტიკაში. სხვა ციურ სხეულს პირველად შეისწავლიდნენ არა დედამიწიდან, არამედ ამ სხეულის ახლოს, უშუალოდ კოსმოსური სივრციდან.

საბჭოთა მეცნიერები აქტიურად შეიჭრნენ კოსმოსში. მათ ისე გაგზავნეს რაკეტა, რომ მასზე მოთავსებული ფოტოაპარატების ობიექტივები მთვარის იმ მხარისკენ ყოფილიყო მიმართული, რომლის დანახვა დედამიწიდან შეუძლებელია. ჩვენმა ასტრონომებმა მიიღეს მთვარის უკანა მხარის უნიკალური ფოტოსურათები, რომელთა მი-

ხედვითაც შეძლეს მთვარის მთებისა და „ზღვების“ ატლასის შედგენა.

ახლად აღმოჩენილი მთებისა და დაბლობებისათვის მინიჭებულმა სახელებმა სამუდამო დიდება დაუმკვიდრა პირველაღმომჩენთა ქვეყანას, რომელმაც გაგზავნა საუცხოო ავტომატური მოწყობილობა — მომავალ კოსმოსურ ობსერვატორიათა პირველსახე.

რამდენიმე უშედეგო ცდის შემდეგ ამერიკელებმა შეძლეს გადაეღოთ მთვარის ზედაპირის სურათების მთელი სერია. „რეინჯერის“ სერიის რაკეტა მიქროდა მთვარისაკენ და განუწყვეტლივ გადმოსცემდა ტელევიზიით მთვარის ზედაპირის გამოსახულებებს. გამოსახულებათა ფოტოსურათებზე, რომლებიც უმოკლესი მანძილიდან იქნა გადაღებული (უკანასკნელ მომენტში, ვიდრე კოსმოსური აპარატი მთვარის ზედაპირს დაეჯახებოდა და დაიმსხვრეოდა), შეიძლებოდა გაგვერკვია დაახლოებით 50 მ სიდიდის დეტალები.

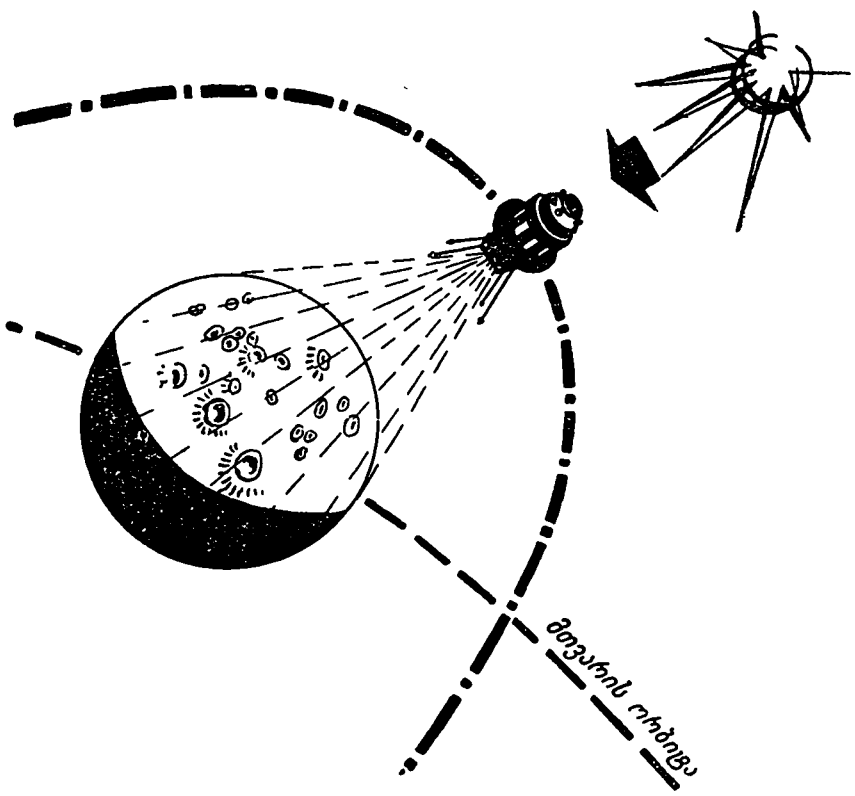
მას შემდეგ, რაც მტკიცედ აითვისეს ავტომატური საფრენი აპარატების კოსმოსში გაშვების ტექნიკა, საბჭოთა მეცნიერები და ინჟინრები შეუდგნენ კოსმოსური ხომალდის შექმნას, რომელსაც შეეძლებოდა ადამიანის საპლანეტათშორისო სივრცეში გაყვანა და დედამიწაზე უვნებლად დაბრუნება.

მეცნიერების წინაშე ათეულობით გადაუჭრელი ამოცანა იდგა. ადრე გაშვებულ ყველაზე მძიმე ხელოვნურ თანამგზავრებზე რამდენჯერმე უფრო მძიმე კოსმოსური ხომალდების ორბიტებზე გასაყვანად საჭირო იყო უფრო მძლავრი მატარებელი რაკეტების შექმნა. საჭირო იყო ისეთი საფრენი აპარატების აგება, რომლებიც არა მარტო კოსმონავტის უსაფრთხოებას უზრუნველყოფდა ფრენის ყველა ეტაპზე, არამედ მისი ცხოვრებისა და მუშაობის აუცილებელ პირობებსაც. უნდა შეემუშავებინათ სპეციალური ვარჯიშების მთელი კომპლექსი, რომელიც მომავალი კოსმონავტების ორგანიზმს საშუალებას მისცემდა წინასწარ შეგუებოდა უწონადობისა და დიდი დატვირთვის პირობებს. უნდა გადაეჭრათ კიდევ ბევრი სხვა საკითხიც.

ამ უდიდესი პრობლემის სირთულის მიუხედავად, საბჭოთა მეცნიერებამ და ტექნიკამ ბრწყინვალედ შეძლო მისი გადაჭრა.

მთელ რიგ საცდელ გაშვებათა შემდეგ, როცა თანამგზავრის კაბინაში ათავსებდნენ სხვადასხვა ცოცხალ ორგანიზმებს — დაწყებული სოკოებიდან და ბაქტერიებიდან და გათავებული საქვეყნოდ ცნობილი ბელკათი და სტრელკათი — მთლიანად დამუშავდა კოსმოსური ხომალდის კონსტრუქცია მთელი თავისი ორბიტაზე გამყვანი, ფრენის მასტაბილიზებელი და დედამიწაზე უკან დამშვები რთული სისტემებით.

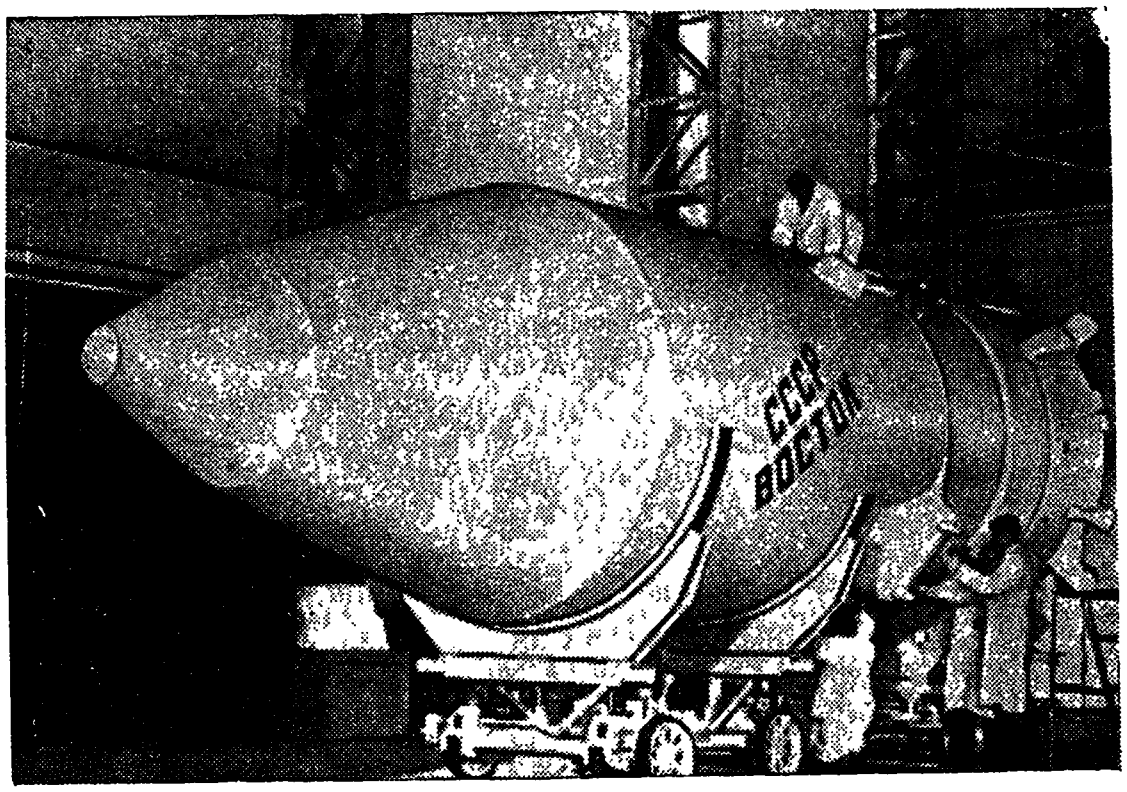
ისტორიულ დღეს — 1961 წლის თორმეტ აპრილს კოსმოსში გაიჭრა ხომალდი „აღმოსავლეთი“, რომელსაც მიჰყავდა კაცობრიობის ისტორიაში პირველი მფრინავი-კოსმონავტი, კაპიტანი იური



კოსმოსური რაკეტიდან „მთვარე-3“ მთვარის ფოტოსურათების გადაღების სქემა.

ალექსის ძე გაგარინი. ხომალდმა დედამიწის სფეროს გარს შემოუარა და საათისა და 48 წუთის შემდეგ უვნებლად დაეშვა საბჭოთა კავშირის წინასწარგათვალისწინებულ რაიონში. კოსმოსური სივრცის ათვისებაში საბჭოთა ხალხის ახალმა უმაგალითო გამარჯვებამ მთელი მსოფლიო შეძრა. ამ გამარჯვებამ ჩვენი მეგობრების სიხარული და აღფრთოვანება გამოიწვია, მტრების ბანაკში კი შური და გაბოროტება.

სულ რამდენიმე თვე გავიდა და იმავე წლის ექვს აგვისტოს სტარტი აიღო კოსმოსურმა ხომალდმა „აღმოსავლეთი-2“, რომელშიც იჯდა კოს-



1961 წლის 12 აპრილს ორბიტაზე გაყვანილი კოსმოსური ხომალდის „აღმოსავლეთის“ გარე ხედი.

მონავტი, მაიორი გერმანე სტეფანეს ძე ტიტოვი. „აღმოსავლეთ-2“-მა დედამიწას ირგვლივ 17,5-ჯერ შემოუარა და 25 საათი და 18 წუთი იფრინა.

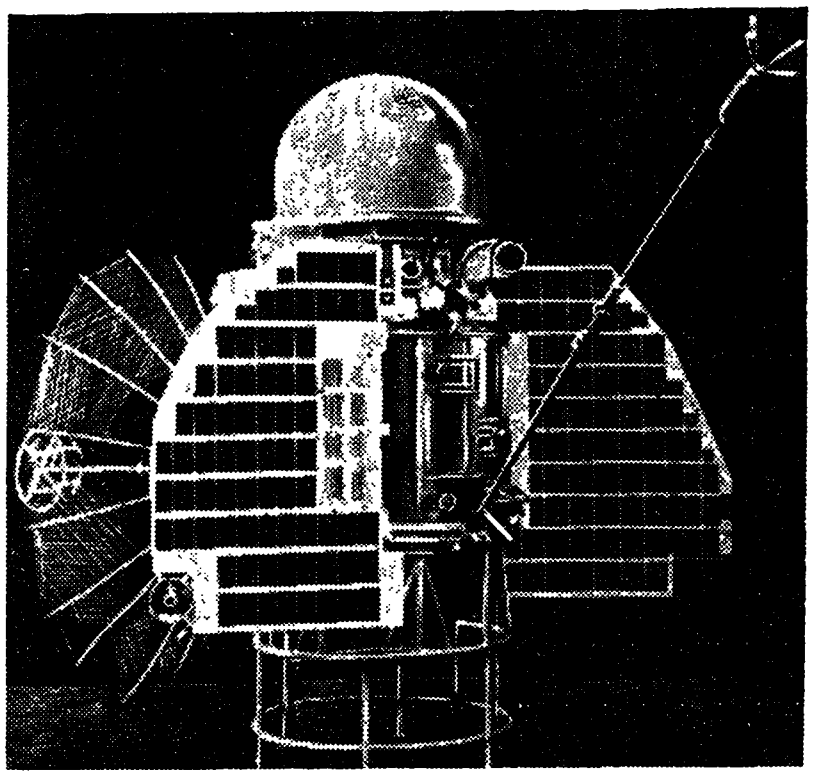
ამ ორი გაფრენის შედეგად მიღებული მეცნიერული მონაცემების გულდასმითმა შესწავლამ შესაძლებელი გახადა ერთი წლის შემდეგ—1962 წლის აგვისტოში — გადადგმულიყო კიდევ ერთი დიდი ნაბიჯი: კოსმოსურმა ხომალდებმა „აღმოსავლეთი-3“, რომელშიც იმყოფებოდა მაიორი ანდრიანე გრიგოლის ძე ნიკოლაევი, და „აღმოსავლეთი-4“, რომელშიც იმყოფებოდა პოდპოლკოვნიკი პავლე რომანის ძე პოპოვიჩი, სტარტი აიღეს ერთი მეორის მიყოლებით (ერთი დღე-ღამის ინტერვალით) და განახორციელეს პირველი ჯგუფური გაფრენა კოსმოსში.

„აღმოსავლეთ-3“-მა დედამიწას 64-ზე მეტჯერ შემოუარა და კოსმოსში იფრინა 95 საათი. „აღმოსავლეთ-4“-მა დედამიწას 48-ზე მეტჯერ შემოუარა და იფრინა 71 საათი. ამ გაფრენამ დაამტკიცა, რომ ჩვენი მეცნიერების მიერ შემუშავებული კოსმონავტთა მომზადების სისტემით კოსმონავტები ისეთ ფიზიკურ თვისებებს იძენენ, რომ ხანგრძლივი კოსმოსური ფრენის პირობებში ნორმალურ სასიცოცხლო მოქმედებას და სრულ შრომისუნარიანობას ინარჩუნებენ. ეს იყო გაფრენის მთავარი შედეგი.

ჩვენი კოსმონავტების გაფრენებს ვერაფრით ვერ შეედრება ამერიკელი კოსმონავტების შეპარდისა და გრისომის გაფრენა კოსმოსში. ერთერთი მათგანის გაფრენა კინაღამ ტრაგიკულადაც დამთავრდა. ი. გაგარინისა და გ. ტიტოვის გაფრენებთან შედარებით, მათი გაფრენები მეტად უსუსურად გამოიყურება.

გაზეთ „ნიუ-იორკ ტაიმსის“ კორესპონდენტის ცნობით, ალენ შეპარდის თხუთმეტწუთიანი ნახტომი განხორციელდა რაკეტის საშუალებით, რომლის სიმძლავრე „საბჭოთა რაკეტის სიმძლავრის მხოლოდ ერთ მეათედს შეადგენდა, ხოლო კაფსულის წონა ხომალდ „აღმოსავლეთი-1“ კაბინის წონის მხოლოდ ერთ მეხუთედს“.

მხოლოდ 1962 წლის 20 თებერვალს, მას შემდეგ, რაც „მერკურის“ პროექტით ორტონიანი კაბინებით რობოტები და მაიმუნები გაუშვეს, ამერიკელებმა შეძლეს განეხორციელებინათ ჯონ გლენის პირველი კოსმოსური გაფრენა. ეს გაფრენა მოეწყო კოსმოსური ხომალდით „ფრენდშიპ-7“, რომელიც ტონა-ნახევარს იწონიდა. ჯონ გლენმა დედამიწას სამჯერ შემოუარა და ატლანტის ოკეანეზე დაეშვა. მაგრამ მისი ფრენა არცთუ ისე მშვიდობიანად მიმდინარეობდა. ფრენის დროს გამოშჟღავნდა კოსმოსური ხომალდის ავტომატური მართვის სისტემათა მოშლილობა და პირველი ბრუნის შემდეგ გლენი იძულებული გახდა ხელით



1961 წლის 12 თებერვალს საბჭოთა კავშირში გაშვებული საპლანეტათშორისო ავტომატურ სადგურ „ვენერას“ გარე ხედი.

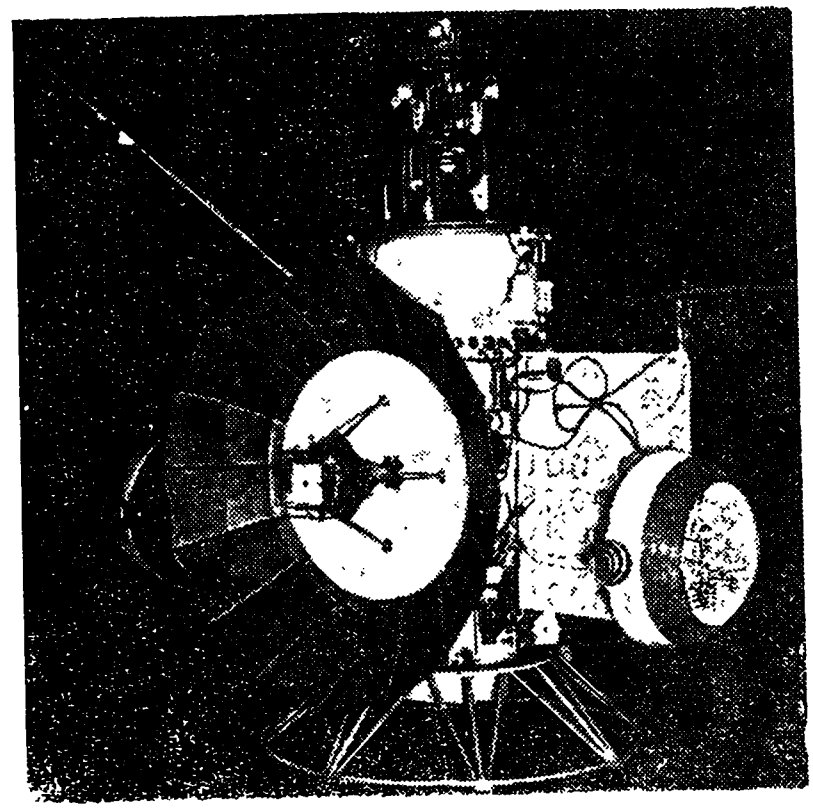
მართვაზე გადასულიყო. ერთ ხანს მუშაობა შეწყვიტა გაცივების სისტემამაც და ტემპერატურა კაბინაში ძალიან გაიზარდა, მეორე და მესამე ბრუნზე ფრენა გრძელდებოდა მხოლოდ კოსმონავტის ენთუზიაზმის, გამძლეობისა და სიმამაცის წყალობით.

ამერიკის მეორე კოსმოსურ დღეს — 1962 წლის 24 მაისს — დიდი მღელვარება გამოიწვია მეორე კოსმონავტის მალკოლმ სკოტ კარპენტერის ბედმა. კარპენტერის გაფრენა უფრო დრამატული იყო, ვიდრე ჯონ გლენისა. უწესივრობანი გამომჟღავნდა ისევ მართვის სისტემასა და კაბინისა და სკაფანდრის თერმორეგულირების სისტემებში. კოსმონავტი ატლანტის ოკეანეზე დაეშვა ხომალდის დაშვების ნავარაუდევი რაიონიდან 350 კმ-ის დაშორებით. ოცი საზღვაო ხომალდი და 70 თვითმფრინავი და ვერტმფრენი ერთი საათის განმავლობაში ეძებდა მამაც კოსმონავტს. ერთმა შვედურმა გაზეთმა ამ გაფრენას „სიკვდილ-სიცოცხლის კოსმოსური დრამა“ უწოდა.

ამერიკის მესამე კოსმოსური დღე იყო 1962 წლის სამი ოქტომბერი. ამ დღეს აშშ-ში ფლორიდის ნახევარკუნძულის კენედის კონცხიდან სტარტი აიღო ორტონიანმა კოსმოსურმა ხომალდმა-თანამგზავრმა „სიგმა-7“, რომელსაც მფრინავი-კოსმონავტი უოლტერ შირი მართავდა. კოსმოსურმა ხომალდმა დედამიწას ექვსჯერ შემოუარა და უვნებლად დაეშვა წყნარი ოკეანის ცენტრალურ ნაწილში. სკაფანდრის შიგნით ტემპერატურის მარეგულირებელი სისტემები ამ გაფრენის დროსაც მოიშალა, მაგრამ მისი მოწესრიგება სწრაფად მოხერხდა უშუალოდ ორბიტაზევე და ამის შემდეგ ფრენა მშვიდობიანად გაგრძელდა.

კოსმოსში კოსმოსური ხომალდების გაფრენასთან ერთად პლანეტებისკენ რაკეტების საცდელი გაშვებაც განხორციელდა. 1961 წლის თორმეტ თებერვალს დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ბორტიდან სტარტი აიღო და ვენერასაკენ გაემართა საბჭოთა ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური. მალე ვენერასაკენ გაემართა ამერიკული ავტომატური სადგური „მარინერ-II“.

1962 წლის პირველ ნოემბერს მარსის მიმართულებით გაიჭრა საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა „მარსი-1“. ამ რაკეტის ორბიტა ყველაზე უფრო წაგრძელებული იყო მისი წინამორბედი ყველა კოსმოსური აპარატის ორბიტებთან შედარებით. ეს ელიფსური ორბიტა მარსის ორბიტას შეეხო. შვიდთვე-ნახევარს გრძელდებოდა ფრენა მხოლოდ მარს-



1962 წლის 1 ნოემბერს საბჭოთა კავშირში გაშვებული საპლანეტათშორისო ავტომატურ სადგურ „მარსი-1“-ის გარე ხედი.

თან შეხვედრამდე: ამ ხნის განმავლობაში რაკეტამ 500 მილიონი კმ გაიარა.

დედამიწიდან მნიშვნელოვან მანძილზე შემცირდა აღრიცხული მიკრომეტეორიტების რიცხვი. მიკრომეტეორიტები, როგორც ჩანს, თავმოყრილია დედამიწის სიახლოვეს, მისი ზედაპირიდან 40 ათასი კმ მანძილზე.

ასე დასრულდა პირველი კოსმოსური ხუთწლედი. მაგრამ კოსმოსური მოვლენები კოსმოსური სისწრაფით მიჰყვება ერთიმეორეს. კოსმოსური ერის მეორე ხუთწლედი საბჭოთა ადამიანების ახალი დიადი გამარჯვებით — საბჭოთა კოსმოსური ხომალდების ჯგუფური გაფრენით აღინიშნა.

1963 წლის 14 ივნისს ორბიტაზე გავიდა კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი-5“, რომელშიც იჯდა მფრინავი-კოსმონავტი ვალერი თევდორეს ძე ბიკოვსკი. მას მიჰყვა ხომალდი-თანამგზავრი „აღმოსავლეთი-6“, რომელსაც საბჭოთა ხალხის გმირი ქალიშვილი, პირველი კოსმონავტი ქალი ვალენტინა ვლადიმერის ასული ტერეშკოვა მართავდა. ხუთი დღე-ღამე დაყო კოსმოსში ვალერი ბიკოვსკიმ და 119 საათში დედამიწას 81-ჯერ შემოუარა. მსოფლიოში პირველმა კოსმონავტმა ქალმა კოსმოსში 71 საათი დაყო და 48-ჯერ შემოუარა დედამიწას. თავისი გაფრენით მან დამაჯერებლად დაამტკიცა, რომ ქალსაც შესწევს უნარი, დაძლიოს ისეთი ძნელი და რთული საქმე, როგორიც კოსმოსის ათვისებაა.

1964 წლის 12 ოქტომბერს, 10 საათსა და 30 წუთზე მოსკოვის დროით, საბჭოთა კავშირში დედამიწის თანამგზავრის ორბიტაზე ახალი მძლავრი მატარებელი რაკეტით პირველად მსოფლიოში გაიყვანეს სამადგილიანი პილოტირებული კოსმოსური ხომალდი „აისი“.

ხომალდის ეკიპაჟში შედიოდნენ: ხომალდის მეთაური, კოსმონავტი მფრინავი, ინჟინერ-პოლკოვნიკი ვლადიმერ მიხეილის ძე კომაროვი, კოსმონავტი, მეცნიერი თანამშრომელი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი კონსტანტინე პეტრეს ძე ფეოქტისტოვი და კოსმონავტი ექიმი ბორის ბორისის ძე ეგოროვი.

ცამეტ ოქტომბერს 10 საათსა და 47 წუთზე მოსკოვის დროით, ერთი დღე-ღამის ფრენის შემდეგ, ეკიპაჟი მშვიდობიანად დაეშვა დასახულ რაიონში.

„აისის“ ეკიპაჟმა—კოსმონავტ-მკვლევარებმა—პირველად უშუალოდ განახორციელეს კოსმოსური სივრცის დაკვირვება და შესწავლა.

კოსმოსური სივრცის მშვიდობიანი კვლევის სფერო წლითი წლობით იზრდება. თავიანთ ორბიტებთან „მჭიდროდ“ დაკავშირებული თანამგზავრებისა და ავტომატური სადგურების კვალდაკვალ კოსმოსში გავიდნენ აპარატები, რომელთაც საკმაოდ ფართო მანევრირება შეეძლოთ.

საბჭოთა კოსმოსური აპარატები „გაფრენა-1“ და „გაფრენა-2“ კოსმოსში ორბიტიდან ორბიტაზე გადადიოდნენ, იცვლიდნენ არა მარტო სიმაღლეს, არამედ ორბიტის სიბრტყის დახრის კუთხესაც. ეს არის პირველი ნაბიჯები კოსმოსური ხომალდებისა უშუალოდ კოსმოსში, ორბიტაზე შეერთების გზაზე. დამხმარე რაკეტებს შეეძლებათ მიფრინდნენ ხომალდთან, ავზებში გადაუსხან საწვავი და გადატვირთონ მასზე სამშენებლო დეტალები. ორბიტაზე გატანილი კონსტრუქციებიდან კოსმონავტები ჯერ კოსმოსურ ლაბორატორიებს დაამონტაჟებენ, შემდეგ კი, ალბათ, მთელ სამეცნიერო ქალაქებს...

მშვიდობიან მიზნებს ზოგიერთი ამერიკული თანამგზავრიც წარმატებით ემსახურება. მეტეოროლოგიური თანამგზავრების საშუალებით ამერიკელებმა მოახერხეს მოსახლეობისათვის დროულად ეცნობებინათ რამდენიმე ტაიფუნის მოახლოება. ტაიფუნი მძლავრი დამანგრეველი გრიგალია, რომელიც ხშირად გადაუვლის ხოლმე ამერიკას.

თანამგზავრებმა „ტელესტარ-1“ და „ტელესტარ-2“ წარმატებით გადეს სატელევიზიო „ხიდი“ ევროპასა და ამერიკას შორის. ეს თანამგზავრები ამერიკიდან ევროპაში სატელევიზიო პროგრამებს გადასცემენ.

ჩატარდა პირველი საერთაშორისო კოსმოსური ექსპერიმენტი: ინგლისის ობსერვატორია ჯოდრელ ბენკიდან გაშვებული რადიოტალღები აირეკლა უზარმაზარი გაბერილი ლითონგადაკრული ბურთიდან — ამერიკულ თანამგზავრ „ექო-2“-დან და ეს ტალღები მიიღეს საბჭოთა კავშირში გორკის ახლოს, ზიმენკებში. გადასცეს რადიოტელეგრამები, ფოტოტელეგრამები და რადიოსატელეფონო ლაპარაკი.

1964 წლის 30 იანვარს საბჭოთა კავშირში გაუშვეს საინტერესო თანამგზავრები — „ელექ-

ტრონ-1“ და „ელექტრონ-2“. ერთი რაკეტიდან ერთბაშად ორი თანამგზავრი იქნა გაშვებული, ერთი უფრო მაღალ და მეორე უფრო დაბალ ორბიტაზე.

ასეთ გაშვებას ის მნიშვნელობა აქვს, რომ სხვადასხვა სიმაღლეზე ერთდროული გაზომვები საშუალებას იძლევა უკეთესად გამოვიკვლიოთ რადიაციის სარტყელთა სივრცული აღნაგობა და მათი ცვლა დროში.

პოლუსისკენ გაშვებული „ელექტრონ-3“ და „ელექტრონ-4“ ერთდროულად განაგრძობდა ატმოსფეროს ზედა ფენების კომპლექსურ კვლევას.

1964 წელს მრავალი უშედეგო ცდის შემდეგ ამერიკელებმა შეძლეს გაეშვათ ორი მრავალტონიანი თანამგზავრი. ეს თანამგზავრების მრავალი წლისათვის გათვალისწინებული პროგრამის პირველი წარმატებითი გაშვება იყო. პროგრამა მიზნად ისახავს ჯერ კოსმონავტთა მიერ მთვარის გარშემოვლას, ხოლო შემდეგ მათ გადასმას მთვარეზე.

ამავე მიზანს ემსახურება მთვარის მახლობელი სივრცის კვლევა, რასაც საბჭოთა კავშირი აგრძელებს. შემდეგმა სადგურმა „მთვარე-4“ ჩვენი ბუნებრივი თანამგზავრის უშუალო სიახლოვეს გაიარა.

განუწყვეტლად მიმდინარეობს შორეული კოსმოსის კვლევაც. 1964 წლის 2 აპრილს კოსმოსის სიღრმისაკენ გაემართა საბჭოთა ავტომატური სადგური „ზონდი-1“. მისი ამოცანა იყო ჭრავალ მილიონ კილომეტრზე მზის მახლობელი სივრცე მოესინჯა და დედამიწაზე სამეცნიერო ინფორმაციები გადმოეცა.

1965 წლის 18 მარტს 10 საათზე მოსკოვის დროით საბჭოთა კავშირში დედამიწის თანამგზავრის ორბიტაზე მძლავრი მატარებელი რაკეტით გაყვანილ იქნა კოსმოსური თანამგზავრი ხომალდი „აისი-2“. ხომალდს მართავდა ეკიპაჟი, რომლის შემადგენლობაში შედიოდნენ ხომალდის მეთაური — კოსმონავტი მფრინავი, პოლკოვნიკი პავლე ივანეს ძე ბელიაევი და მეორე პილოტი — კოსმონავტი მფრინავი, პოდპოლკოვნიკი ალექსი არქიპოს ძე ლეონოვი. ლეონოვმა პირველად კოსმონავტიკის ისტორიაში შეასრულა რთული ექსპერიმენტი, რიც დაიწყო ახალი ერა კოსმოსის ათვისების საქმეში. მან დატოვა ხომალდი და კოსმოსურ სივრცეში გავიდა.

კოსმოსის დაპყრობა გრძელდება.

ᲮᲔᲚᲝᲕᲜᲣᲠ ᲪᲘᲣᲠ ᲡᲮᲔᲣᲚᲗᲐ ᲛᲝᲫᲠᲐᲝᲑᲘᲡ ᲙᲐᲜᲝᲜᲔᲑᲘ

XVII საუკუნის დასასრულს ისააკ ნიუტონმა ჩამოაყალიბა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი — ძირითადი კანონი, რომელსაც ყველა ციური სხეულის მოძრაობა ემორჩილება (იხ. გვ. 201). თავისუფალი ორბიტული ფრენის დროს, ანუ ძრავების გარეშე თავიანთ ორბიტებზე ფრენისას, კოსმოსური რაკეტები და თანამგზავრები მთლიანად ემორჩილებიან ცის მექანიკის[1] კანონებს. ამიტომ ხელოვნური ციური სხეულების მოძრაობის თეორია — არსებითად ცის მექანიკის ახალი ნაწილი — დიდ როლს თამაშობს კოსმოსური სივრცის ათვისების საქმეში.

გავიხსენოთ, როგორ მოძრაობს გადაგდებული სხეული დედამიწის მიზიდულობის ძალის ზეგავლენით. სხეულთა „გატყორცნის“ კანონებს სწავლობს ბალისტიკა — მეცნიერება, რომლის სახელწოდება გვახსენებს ოდესღაც მრისხანე სამხედრო სასროლ იარაღს — ბალისტას. ბალისტიკის ერთერთი ძირითადი ამოცანა ისაა, რომ მონახოს იარაღის ლულის დახრის ისეთი კუთხე, რომლის დროსაც, სხვა თანაბარ პირობებში, გასროლილი ჭურვი უშორეს მანძილს გაივლის.

კოსმოსური რაკეტების შემქმნელთა ამოცანა გაცილებით რთულია: მათ ისე უნდა გაისროლონ ჭურვი, რომ ის დედამიწაზე კი აღარ დაეცეს, არამედ ზუსტად განსაზღვრულ კოსმოსურ ორბიტაზე გავიდეს.

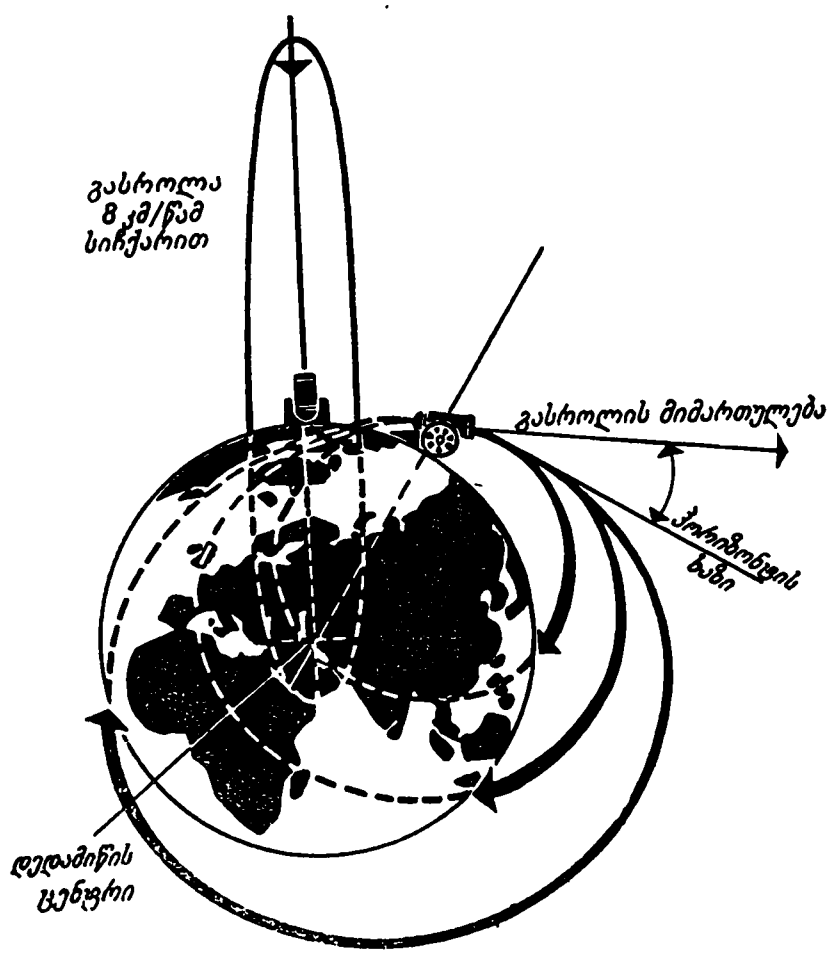
თვითეულმა ჩვენგანმა გამოცდილებით იცის, რა ემართება გასროლილ ქვას — ის ყოველთვის დედამიწაზე ეცემა დედამიწის მიზიდულობის გავლენით. მაგრამ ჭურვი რომ გავისროლოთ ქვემეხიდან, მაშინ რა მოხდება? თუ ქვემეხის ლულას დავაყენებთ ვერტიკალურად, ჭურვი მაღლა წავა,

[1] ცის მექანიკა — ასტრონომიის დარგი, რომელიც ციური სხეულების მოძრაობის კანონთა მთელ კომპლექსს შეისწავლის.

დედამიწის რადიუსის გასწვრივ, და რაც უფრო დიდი სიჩქარე ექნება, ქვემეხის ლულიდან გამოსვლისას, მით უფრო მაღლა აიჭრება. როცა გასროლის დროს მიღებული მთელი ენერგია დედამიწის მიზიდულობის გადალახვაზე დაიხარჯება, ჭურვი შეჩერდება და დაბლა ვარდნას დაიწყებს.

მაგრამ შეიძლება ჭურვი დედამიწაზე აღარ დაეცეს, თუ წინასწარ გვეცოდინება, როგორ გავისროლოთ იგი.

მოდით, დავაკვირდეთ ჰორიზონტის ხაზისადმი დახრილად გასროლილი ქვემეხის ჭურვის მოძრაობას.



თუ ჭურვს დედამიწის ზედაპირისადმი დახრილად ან ვერტიკალურად გავისვრით, ის ყოველთვის მიწაზე დაეცემა.

ცის მექანიკა ამტკიცებს, რომ მიზიდულობის ზეგავლენით ერთი სხეული მეორის მიმართ შემოწერს სამი მრუდიდან ერთ-ერთს — ელიფსს, პარაბოლას ან ჰიპერბოლას. მაგალითად, ყველა პლანეტა მზის ირგვლივ ელიფსზე მოძრაობს, ამასთან თვით მზე პლანეტის ელიფსური ორბიტის ერთ-ერთ ფოკუსშია. სწორედ ასევე, „დედამიწა — ჭურვის“ სისტემაში დედამიწის ცენტრი ყოველთვის იმ ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში იქნება, რომელზეც ჭურვი მოძრაობს. ამიტომ, თუ ჭურვს დახრილად გავისვრით, მაშინ, რაც უფრო მეტი იქნება სიჩქარე, მით უფრო შორს დაეცემა იგი. რაც უფრო მეტი იქნება ჭურვის სიჩქარე, მით უფრო დიდ ელიფსს შემოწერს სივრცეში, მაგრამ გასროლის წერტილისკენ უკან დაბრუნებისას აუცილებლად „დედამიწაში“ უნდა გაიაროს, რადგან მას მოძრაობა შეუძლია მხოლოდ ელიფსური ტრაექტორიით, რომლის ნაწილიც, როგორც ნახატიდან ჩანს, „დედამიწის შიგნით“ გადის.

მაშასადამე, დახრილად გასროლა ბევრს არაფერს მოგვცემს — ჭურვმა ყველა შემთხვევაში „დედამიწაში“ უნდა გაიაროს. ახლა ჩვენი ქვემეხი მთაზე დავაყენოთ და გასროლა ჰორიზონტალურად ვცადოთ (სიმარტივისათვის დედამიწის ატმოსფეროსა და დედამიწის ბრუნვის გავლენას ნუ გავითვალისწინებთ). მცირე სიჩქარისას ჭურვები „ელიფსს“ შემოწერს და დედამიწაზე დაეცემა. მაგრამ, რაც უფრო დიდი იქნება სიჩქარე, ელიფსი მით უფრო მეტად დაუახლოვდება წრეხაზს, რომლის ცენტრიც დედამიწის ცენტრში იქნება. თუ ჭურვს მივანიჭებთ სიჩქარეს, რომელსაც პირველ კოსმოსურ სიჩქარეს, ანუ წრიულ სიჩქარეს უწოდებენ, მაშინ ის დედამიწაზე აღარ დაეცემა, და თუ ჩვენ ქვემეხის აღებას მოვასწრებთ, ჭურვი იმავე სიჩქარით გაიქროლებს გასროლის წერტილზე და უსასრულოდ იბრუნებს დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტზე, ანუ დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრად იქცევა.

პირველი კოსმოსური სიჩქარე დედამიწის ზედაპირთან დაახლოებით 7,9 კმ/წმ შეადგენს. ასეთ დიდ სიჩქარეს ჭურვს ვერავითარი ქვემეხი ვერ მიანიჭებს — ეს მხოლოდ რაკეტას შეუძლია.

სიჩქარის შემდგომი მატება წრეს ელიფსად აქცევს, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ყოველი ელიფსის მეორე ფოკუსი დედამიწის ცენტრიდან სულ უფრო და უფრო შორს გადაინაცვლებს გასროლის ან სტარტის წერტილის მოპირდაპირე მხარეს.

11 კმ/წმ სიჩქარისას რაკეტა დედამიწას დაშორდება მთვარემდე მანძილის ნახევარზე მეტით, 11,1 კმ/წმ სიჩქარისას კი მთვარეს გარს შემოუვლის და კვლავ დედამიწაზე დაბრუნდება.

თუ სიჩქარეს 11,2 კმ/წმ-მდე გავზრდით, ელიფსური ორბიტა „გაწყდება“, გაშლილ მრუდად —

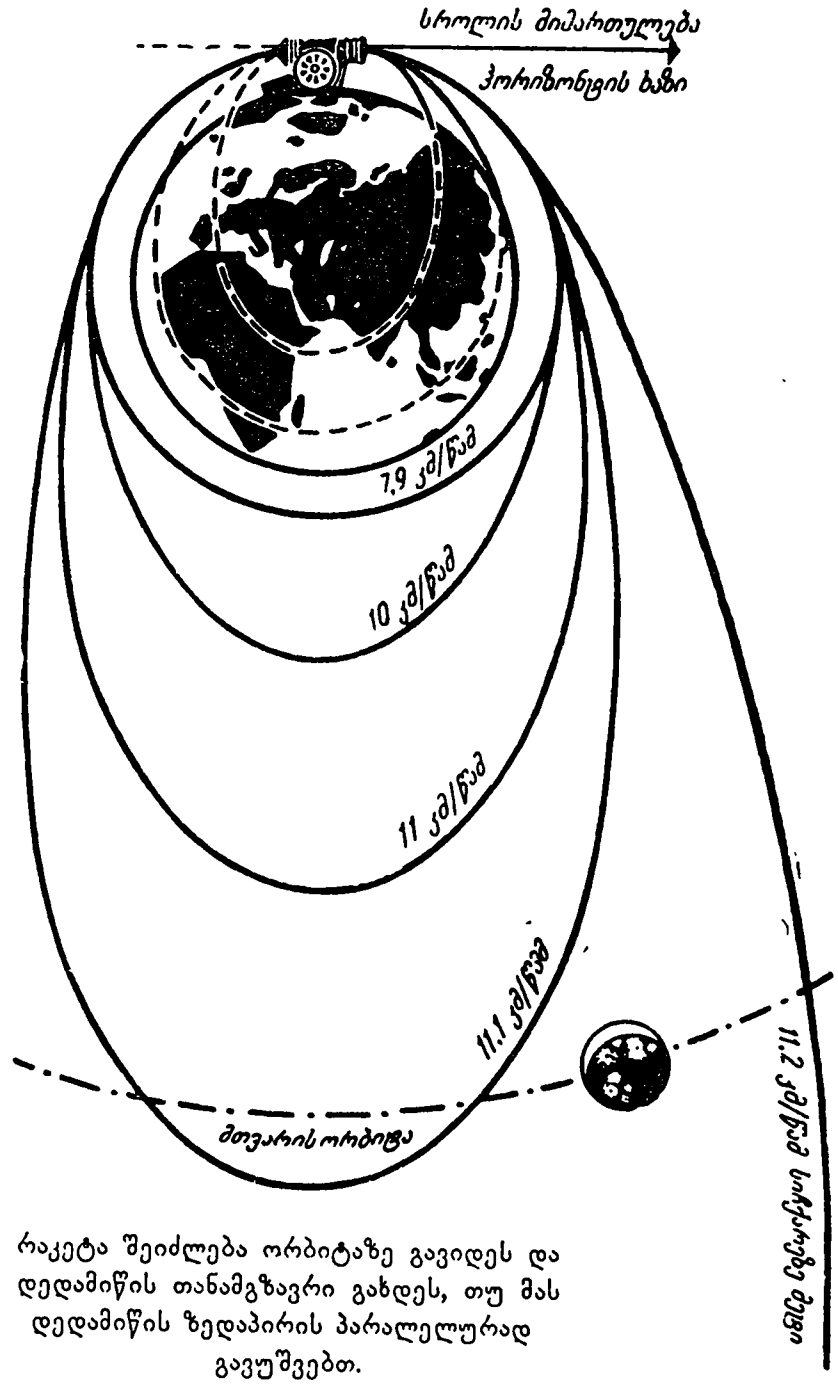
პარაბოლად გადაიქცევა და მასზე მოძრავი რაკეტა სამუდამოდ ჩამოშორდება დედამიწას. 11,2 კმ/წმ სიჩქარეს ეწოდება მეორე კოსმოსური სიჩქარე ანდა პარაბოლური სიჩქარე.

თუ რაკეტას ან ჭურვს დედამიწის ზედაპირზე ასეთ სიჩქარეს მივანიჭებთ, ის სამუდამოდ დატოვებს დედამიწას როგორც ვერტიკალური, ისე დახრილი ან ჰორიზონტალური ფრენის დროს. ასეთი სიჩქარის დროს ორბიტა არც ერთ შემთხვევაში არ იქნება ელიფსი.

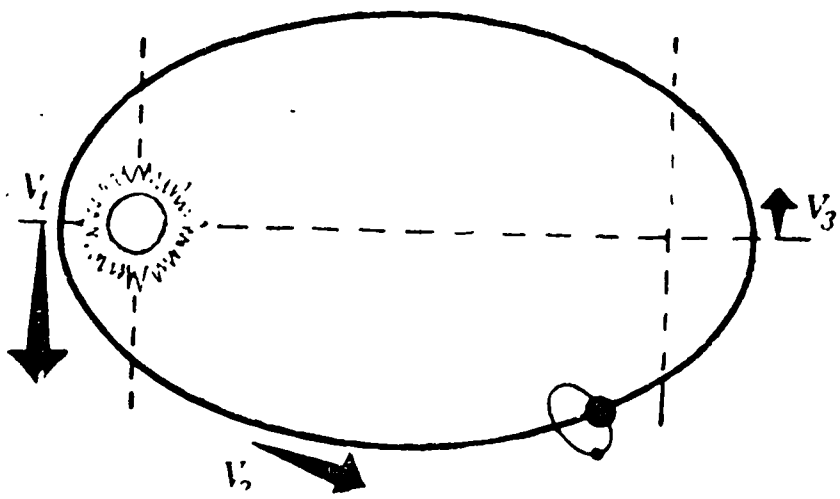
თუ უფრო მეტად გავზრდით სიჩქარეს, რაკეტა ჰიპერბოლაზე დაიწყებს ფრენას, ამასთან, რაც მეტი იქნება სიჩქარე, იმდენად მეტად „გაიშლება“ ჰიპერბოლა. მაგრამ, როცა რაკეტა მეორე კოსმოსურ სიჩქარეს გადააჭარბებს და დედამიწის მიზიდულობას გასცდება, იგი დარჩება მზის სისტემაში, გადაიქცევა მზის თანამგზავრად — ხელოვნურ პლანეტად და მის ირგვლივ ელიფსურ ორბიტაზე იბრუნებს.

მზის ასეთ პირველ თანამგზავრად იქცა საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა „მთვარე-1“, რომელმაც 1959 წლის 2 იანვარს მთვარის მიმართულებით აიღო სტარტი.

რაკეტა დედამიწიდან ჰიპერბოლური ორბიტით გაემართა, რადგან მეორე კოსმოსურ სიჩქარეს გადააჭარბა. მაგრამ 5—6 დღის შემდეგ ის დედამიწის მიზიდულობის არეს გასცდა და ამის შემდეგ მისი მოძრაობა მთლიანად მზის მიზიდულობის გავლენით წარიმართა. სიჩქარე, რომელიც რაკეტას ჰქონდა, არ კმაროდა იმისათვის, რომ მთლიანად გადაელახა მზის მიზიდულობა და რაკეტამ ამ გავარვარებული მნათობის ირგვლივ ელიფსზე დაიწყო ბრუნვა.



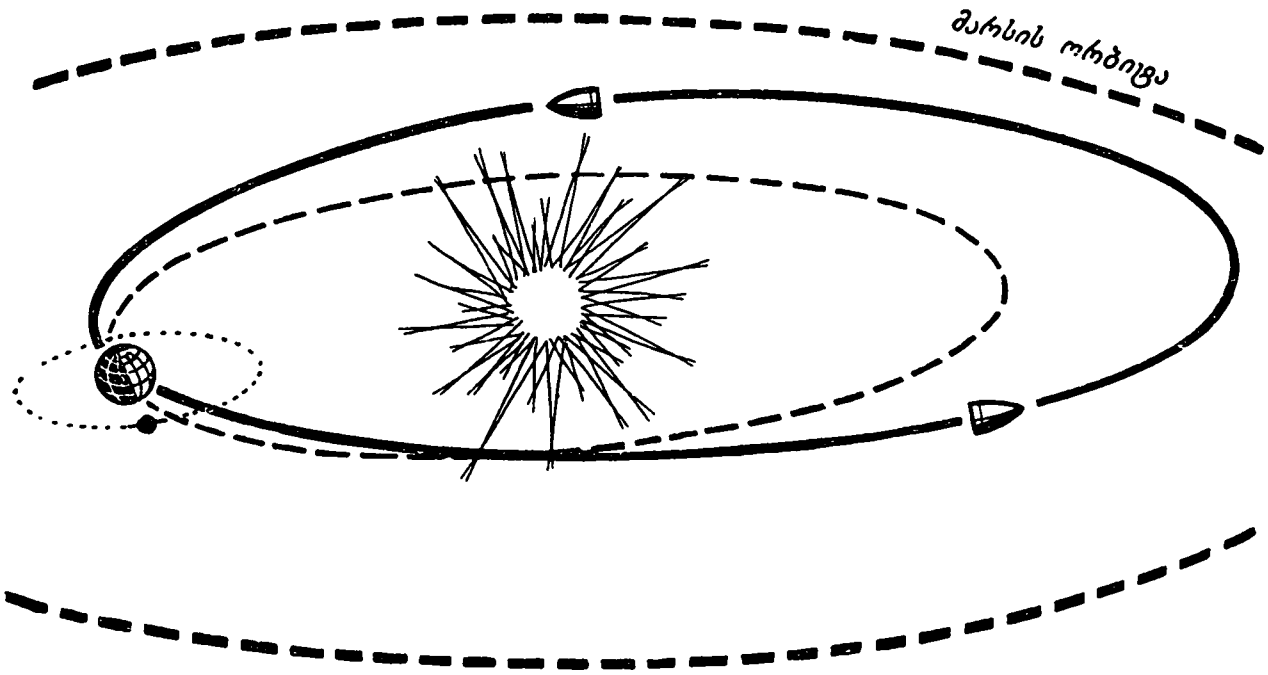
რაკეტა შეიძლება ორბიტაზე გავიდეს და დედამიწის თანამგზავრი გახდეს, თუ მას დედამიწის ზედაპირის პარალელურად გავუშვებთ.



პლანეტებს მოძრაობა შეუძლიათ მხოლოდ ელიფსზე, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში იმყოფება მზე. თავიანთ ორბიტებზე ციური სხეულები არათანაბრად მოძრაობენ. ნახატზე ისრების სიდიდეები პროპორციულია მოძრაობის სიჩქარისა ($V_1 > V_2 > V_3$).

რა ძირითადი კანონზომიერებებით ხასიათდება სხეულთა მოძრაობა ელიფსურ ორბიტებზე? ამ კითხვაზეც პასუხს გვაძლევს ცის მექანიკა.

პლანეტების მოძრაობაზე ასტრონომთა დაკვირვებამ გერმანელ მეცნიერს იოჰან კეპლერს საშუალება მისცა ჯერ კიდევ მიზიდულობის კანონის აღმოჩენამდე, XVII ს. დასაწყისში, ჩამოეყალიბებინა მზის სისტემაში სხეულთა მოძრაობის სამი ძირითადი კანონი.



მზის პირველი ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტა.

პირველი მათგანი ამტკიცებს, რომ ყოველი პლანეტა მოძრაობს ელიფსზე, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში მზე იმყოფება. მეორე კანონიდან გამომდინარეობს, რომ პლანეტები თავიანთ ელიფსურ ორბიტებზე არათანაბრად მოძრაობენ — როცა მზეს უახლოვდებიან — ჩქარა, ხოლო როცა მზეს შორდებიან — ნელა. ასევე მოძრაობენ თანამგზავრებიც დედამიწის ირგვლივ. როცა დედამიწას უახლოვდებიან, მთელი სისწრაფით მოდიან, უმცირესი სიჩქარე კი დედამიწიდან ყველაზე დაშორებულ წერტილში — აპოგეუმში აქვთ. და ბოლოს, მესამე კანონი ამყარებს კავშირს მზის გარშემო პლანეტის ბრუნვის პერიოდსა (დროსა) და მისგან საშუალო დაშორებას შორის.

კეპლერის კანონები შედეგია ბუნების უფრო ზოგადი კანონისა — მსოფლიო მიზიდულობის კანონისა, რომელიც ცის მექანიკის საფუძველს წარმოადგენს. ეს კანონები საშუალებას იძლევა მთლიანად განისაზღვროს პლანეტების მოძრაობის სურათი.

ცის მექანიკის უმარტივეს ამოცანას „ორი სხეულის ამოცანა“ ეწოდება. რის გადაწყვეტას მოითხოვს ეს ამოცანა? აი, რისა: თუ ცნობილია ორი სხეულის მასა, მათი სიჩქარე დროის რომელიმე მომენტში, აგრეთვე მათი ურთიერთგანლაგება, მაშინ უნდა მოინახოს ამ ორი სხეულის მდებარეობა სივრცეში დროის ყველა მომენტში, ანუ გამოითვალოს, როგორ იმოძრავებს ორი ასეთი სხეული სივრცეში.

ნიუტონმა გადაჭრა ეს ამოცანა. მან მათემატიკურად დაამტკიცა, რომ, თუ ნებისმიერ სხეულს (აუცილებელი არაა მზე იყოს) უძრავად მივიჩნევთ, მაშინ მეორე სხეული ურთიერთმიზიდულობის ზეგავლენით, ამოცანის საწყის მონაცემთა მიხედვით (მასები, სიჩქარეები და ურთიერთგანლაგება), პირველის მიმართ ელიფსზე (ან წრეხაზზე), პარაბოლაზე ან ჰიპერბოლაზე იმოძრავებს.

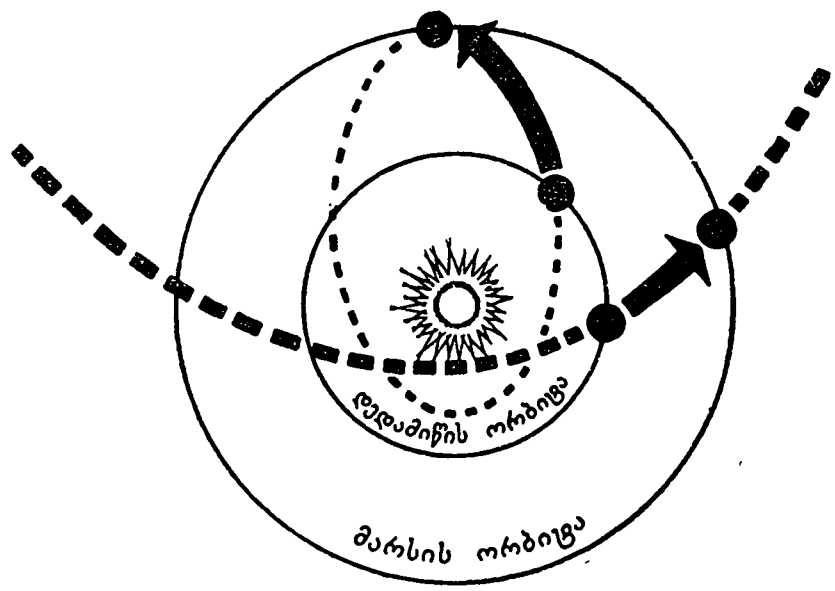
მზის სისტემაში, მაგალითად, პლანეტათა ურთიერთმიზიდულობა მზის მიზიდულობასთან შედარებით უკიდურესად მცირეა. ამიტომ შეიძლება მივიჩნიოთ, რა თქმა უნდა მიახლოებით, რომ მზის სისტემის ყოველ სხეულს მხოლოდ მზე იზიდავს და ელიფსზე ამოძრავებს. მცირეოდენი განსხვავებანი პლანეტების მოძრაობასა და ზუსტად კეპლერის კანონების მიხედვით მოძრაობას შორის, რა თქმა უნდა, არის, მაგრამ მათი გათვალისწინება ძალზე ძნელია.

რაკეტის მასა დედამიწასთან და მთვარესთან (ან მზესთან) შედარებით მეტად მცირეა და ეს საშუალებას იძლევა, მისი ორბიტა საკმაოდ ზუსტად გამოითვალოს.

თუ როგორი სახე აქვს თანამგზავრთა ორბიტებს, შეიძლება წარმოვიდგინოთ მთვარისკენ გაფრენის შესაძლო ტრასების მიხედვით (იხ. გვ. 340). ერთ-ერთ მაგალითზე ჩანს, რომ მთვარის რაიონში გაგზავნილ რაკეტას მთვარე მიიზიდავს. რაკეტა მთვარეს გარს შემოუვლის, სივრცეში უცნაურ რვიანს შემოწერს და კვლავ დედამიწაზე დაბრუნდება. ასეთი ტრაექტორიისათვის აუცილებელია, რომ, ჯერ ერთი, რაკეტამ მთვარესთან გან-

საზღვრულ, საკმაოდ ახლო მანძილზე გაიაროს და, მეორე, მთვარესთან მიახლოების მომენტში განსაზღვრული, შედარებით მცირე სიჩქარე ჰქონდეს. ოითქმის ასეთი იყო ორბიტა მესამე საბჭოთა რაკეტისა „მთვარე-3“, რომელმაც მთვარის უკანა მხარის ფოტოსურათები გადაიღო. დაახლოებით ასეთივე იქნება ორბიტები სხვა პლანეტებისკენ გაფრენის დროსაც. მაგრამ თუ, მაგალითად, მარსს ან ვენერას ისეთ მანძილზე მივუახლოვდებით, სადაც პლანეტის მიზიდულობის ძალა მხოლოდ უმნიშვნელოდ ვლინდება, მაშინ ორბიტებს ექნება ელიფსების სახე, რომელთა ზომები დედამიწიდან აფრენის სიჩქარით განისაზღვრება.

ისევე, როგორც სხვა პლანეტაზე, მარსზე გასაფრენადაც ყველაზე ხელსაყრელია ისეთი ელიფსური ტრაექტორია, რომელიც პლანეტის ორბიტის შემხები იქნება. ამ შემთხვევაში დედამიწიდან აფრენის სიჩქარე მინიმალურია (11,6 კმ/წმ), მინიმალურია ის სიჩქარეც, რომლითაც რაკეტა მარსთან მივა (5,7 კმ/წმ). ამას კი საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა ექნება მარსზე დაშვების შემთხვევაში, რადგან დასამუხრუჭებლად რაკეტის ძრავები ნაკლებ საწვავს დახარჯავენ. მაგრამ საწვავის ეკონომია გამოიწვევს დროის გაზრდას. ასეთი გაფრენა 259 დღე-ღამე, ანუ რვათვე-ნახევარი გაგრძელდება. თუ ფრენის ვადას ხუთ თვემდე შევამცირებთ, მაშინ აუცილებელი იქნება, დედამიწიდან აფრენის სიჩქარე 14,3 კმ/წმ-მდე გაიზარდოს, ოთხი თვის ფრენისას კი საწყისი სიჩქარე 15,9 კმ/წმ უნდა იყოს.



მარსზე გაფრენის შესაძლო გზები. ისრებით ნაჩვენებია ფრენის ტრაექტორიები და მათი სიგრძე, წყვეტილი ხაზებით — ორბიტის დანარჩენი ნაწილი.

უმცირესი ტრაექტორიისას ფრენა 85 დღე-ღამე გაგრძელდებოდა, მაგრამ მაშინ ხომალდს 39 კმ/წმ სიჩქარის განვითარება დასჭირდებოდა.

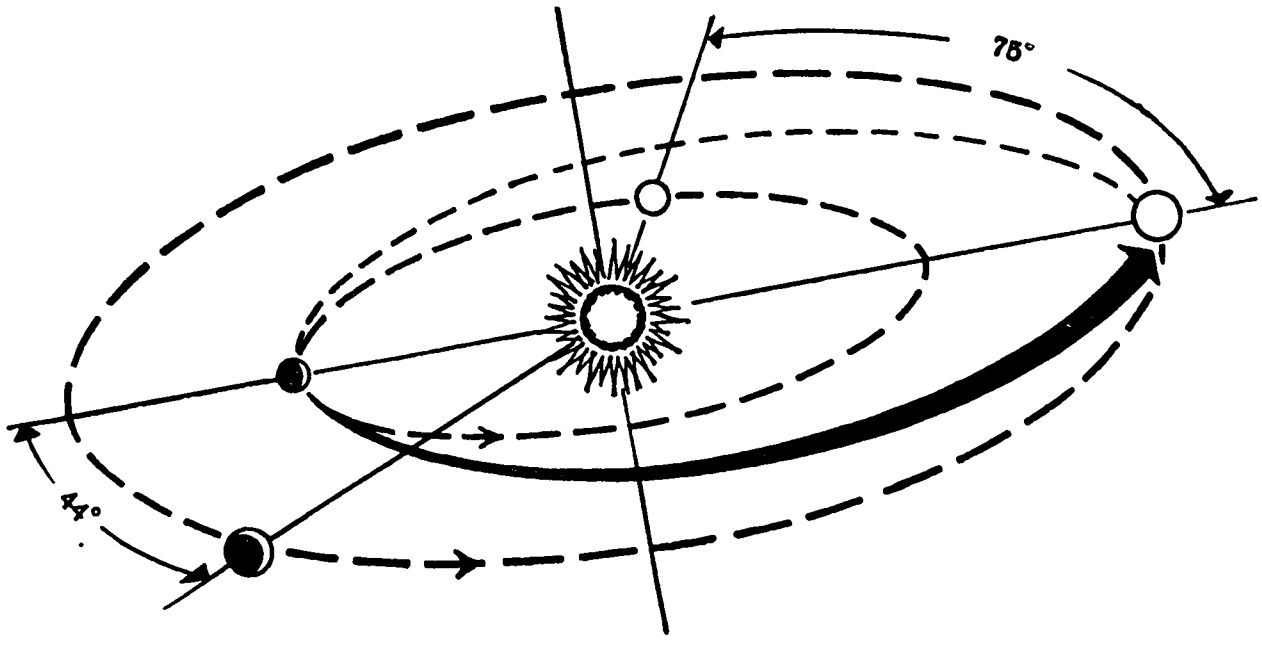
კოსმონავტთა გასაფრენად სხვა ტრაექტორიები იქნება საჭირო: ამ შემთხვევაში მარტო ის არ არის საკმარისი, რომ რაკეტამ მარსს ახლოს ჩაუქროლოს, არამედ ის უკან, დედამიწაზე, უნდა დაბრუნდეს. მაგრამ როცა რაკეტა სტარტის წერტილს დაუბრუნდება, დედამიწა იქ აღარ აღმოჩნდება — მას კარგა დიდი მანძილი ექნება გავლილი თავის ორბიტაზე. ამიტომ ყველაზე მოხერხებული ის იქნებოდა, რომ რაკეტა მარსზე, ან მარსის სიახლოვეს ორბიტაზე შეყოვნებულიყო პლანეტების ხელსაყრელ ურთიერთგანლაგებამდე და მხოლოდ შემდეგ აეღო სტარტი უკან, დედამიწისაკენ.

უკვე გამოთვლილია ბევრი ასეთი ტრაექტორია. შესაძლებელია, მარსს ორი წლის ვადაში შემოვუაროთ. ამისათვის საჭირო იქნება 12,3 კმ/წმ საწყისი სიჩქარე. ხოლო თუ რაკეტა სტარტს მძიმე თანამგზავრიდან აიღებს ისე, როგორც საბჭოთა კოსმოსური რაკეტები, მაშინ სულ 4,3 კმ/წმ საწყისი სიჩქარე დასჭირდება. თუ რაკეტა თანამგზავრიდან 8,2 კმ/წმ საწყისი სიჩქარით გაფრინდება დედამიწის ორბიტის მიმართ მნიშვნელოვანი კუთხით, მაშინ მარსის გარშემოვლის ვადა შეიძლება ერთ წლამდე შევამციროთ.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ყველაზე იოლია მარსისაკენ გაფრენა შემხებ ელიფსზე მოეწყოს, როცა პლანეტა დედამიწიდან ყველაზე მეტადაა დაშორებული. თუ ასეთი გაფრენის დროს სიჩქარეს გავზრდით 3,2%-ით, მაშინ ფრენის ხანგრძლივობა შემცირდება 42%-ით, ე. ი. სიჩქარის უმნიშვნელო ზრდა დიდ დროს მოგვაგებინებს. ეს მნიშვნელოვანი თავისებურება უფრო შესამჩნევი გახდება მაშინ, როცა რაკეტებს უფრო მეტ სიჩქარეს მიანიჭებენ.

არანაკლები მოულოდნელი თავისებურება ახასიათებს „შიგა“ მარშრუტებს — მარშრუტებს ვენერასა და მერკურისაკენ. მართლაც, ყველაზე ხელსაყრელი შემხები ელიფსური ტრაექტორიით გაფრენა ვენერასაკენ, რომელიც დედამიწასთან უფრო ახლოსაა, შედარებით დიდხანს გაგრძელდება, ვიდრე მერკურისაკენ, რომელიც უფრო შორსაა!

უცნაურია, არა? ყველაზე ხელსაყრელი ტრაექტორიაა, უფრო შორეულ მერკურისთან კი რაკეტას უფრო მალე მიიყვანს!



დედამიწიდან მარსისკენ ფრენის ტრაექტორია.

„შიგა“ ტრასებზე კიდევ ერთი საინტერესო თავისებურება ვლინდება—რაც უფრო მცირეა რაკეტის სიჩქარე, მით უფრო მალე აღწევს მიზანს. მართლაც, დედამიწის ორბიტიდან მზეს რომ მიუახლოვდეთ, დედამიწის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ უნდა გაფრინდეთ, რათა მისი ორბიტული სიჩქარე გაბათილდეს. თუ ეს სიჩქარე მთლიანად გაბათილდა, მაშინ რაკეტის სიჩქარე მზის მიმართ ნულის ტოლი იქნება და რაკეტა უმოკლესი მანძილით დაეცემა მზეზე. ამ გზის დასაფარავად უმცირეს დროს დახარჯავს. ხოლო რაც უფრო მეტი სიჩქარე ექნება რაკეტას მზის მიმართ, მით უფრო არაპირდაპირი იქნება მისი მიმართულება და გზის გავლასაც უფრო დიდხანს მოანდომებს.

მომავალ ასტრონავტებს ბევრი საინტერესო ორბიტის არჩევა შეეძლებათ, როცა ერთი გაფრენით რამდენიმე ამოცანას გადაჭრიან, მაგალითად, არის საშუალება, რომ რაკეტამ ერთ წელიწადში (ამას კი დიდი მნიშვნელობა აქვს, რათა უკან დაბრუნებისას რაკეტას დედამიწა ისევ „თავის ადგილას“ დახვდეს) გარს შემოუაროს მზეს და ამ გაფრენისას გვერდით ჩაუქროლოს მარსსაც და ვენერასაც. რა თქმა უნდა, პლანეტების ასეთი ხელსაყრელი განლაგება ყოველ წელიწადს არ არის. გამოთვლილია, რომ ასეთი მომენტი დადგება მხოლოდ 1971 წელს. ვინ იცის, იქნებ მოხერხდეს ამ იშვიათი შემთხვევის გამოყენება და ავტომატურმა სადგურმა ერთი გაფრენით დედამიწაზე გადმოსცეს ფოტორეპორტაჟი ჩვენი უახლოესი მეზობელი პლანეტებიდან.

ახლა კი მათემატიკის მოყვარულებს რამდენიმე მაგალითს შევთავაზებთ. ალბათ ყველას აინტერესებს, რატომ უნდა მივანიჭოთ სხეულს მაინცადამაინც 8 კმ/წმ სიჩქარე, რომ ის დედამიწის თანამგზავრად იქცეს. რატომ შეუძლია რაკეტას 11,2 კმ/წმ სიჩქარისას თავი დააღწიოს დედამიწის მიზიდულობის ბორკილებს?

ვნახოთ, როგორ ანგარიშობენ ამ სიჩქარეებს.

ჩვენ უკვე ვთქვით, რომ ცის მექანიკის საფუძველი ნიუტონის კანონია. მათემატიკურად ეს კანონი ასე გამოისახება:

$$F = -f\frac{m_1 m_2}{r^2},$$

სადაც m_1 და m_2 — ორი სხეულის მასაა, r — მათ შორის მანძილი, f — პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც, ჩვეულებრივ, ნიუტონის გრავიტაციული მუდმივა ეწოდება. ნიშანი „მინუსი“ გვიჩვენებს, რომ მიზიდულობის ძალა ცდილობს სხეულთა შორის მანძილი შეამციროს.

იმ შემთხვევისათვის, როცა ერთ სხეულს (რაკეტას) ცენტრალური სხეულის (დედამიწა, მზე) მასასთან შედარებით სრულიად უმნიშვნელო მასა აქვს, ჩვეულებრივ, შემოგვაქვს კოეფიციენტი $K = m_1 f$. მაშინ $F = -K\frac{m_2}{r^2}$. დედამიწისათვის მიზიდულობის ველის ეს კოეფიციენტი უდრის $K_{დ} = 3{,}9 \cdot 10^5$ კმ^3/წმ^2, მზისათვის — $K_{მზ} = 132{,}3 \cdot 10^9$ კმ^3/წმ^2.

იმისათვის, რომ რაკეტა ხელოვნურ თანამგზავ-

რად იქცეს და ძირსდაუშვებლად დედამიწის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე იბრუნოს, აუცილებელია, რომ ცენტრიდანული ძალა $F_1=\frac{m_2 v^2}{r}$ გაუტოლდეს მიზიდულობის ძალას F. მაშინ $\frac{m_2 v^2}{r}=K\text{დ}\frac{m_2}{r^2}$; თუ ტოლობის ორივე მხარეს შევკვეცავთ $\frac{m_2}{r}$-ზე, მივიღებთ: $v^2=\frac{K\text{დ}}{r}$.

ფორმულაში Kდ-სა და დედამიწის რადიუსის $r=6371$ კმ მნიშვნელობათა ჩასმით მივიღებთ წრიული სიჩქარის სიდიდეს, რომლის დროსაც სხეული წრიულ, დედამიწის მახლობელ ორბიტაზე დარჩება:

$$\text{V}_{\text{წრ}}=\sqrt{\frac{3{,}9\cdot 10^5}{6371}}=7{,}91 \text{ კმ/წმ}.$$

თუ Kდ-ს ნაცვლად Kმზ ჩავსვამთ, ხოლო r-ის ნაცვლად მანძილს დედამიწიდან მზემდე (აქ იგი 149900000 კმ-ის ტოლი იგულისხმება), მივიღებთ სიჩქარეს, რომლითაც დედამიწამ მზის ირგვლივ უნდა იბრუნოს, რომ თავის ორბიტას გაჰყვეს:

$$\text{Vდ}_{\text{წრ}}=\sqrt{\frac{132{,}3\ 10^9}{149{,}9\cdot 10^6}}\cong 30 \text{ კმ/წმ}.$$

სწორედ ასეთი სიჩქარით მოძრაობს დედამიწა მზის ირგვლივ.

პირველი კოსმოსური სიჩქარე, უფრო სწორად, მისი თეორიული მნიშვნელობა, გამოთვლილია დედამიწის ზედაპირიდან ნულის ტოლ სიმაღლეზე ფრენისათვის, ანუ პირდაპირ დედამიწის ზედაპირზე ფრენისათვის.

თუ მაგალითად, ფრენის სიმაღლე $h=500$ კმ-ს, მაშინ ფორმულაში r-ის ნაცვლად უნდა ჩავსვათ $r=r_0+h$ (სადაც r_0 — დედამიწის რადიუსია). ამ შემთხვევაში $\text{V}_{\text{წრ}}=7{,}61$ კმ/წმ.

ორბიტის სიმაღლის მომატებისას მოძრაობის სიჩქარე თანდათან კლებულობს და უსასრულობაში ნულისაკენ მიისწრაფის. 384 ათას კმ-ზე, ე. ი. მთვარის ორბიტაზე $\text{V}_{\text{წრ}}\cong 1$ კმ/წმ. სწორედ ეს არის დედამიწის გარშემო მთვარის ორბიტაზე მოძრაობის სიჩქარე.

მაგრამ იმისათვის, რომ ხელოვნური თანამგზავრი გავუშვათ, მის მაღლა ასასროლად ენერგიის დახარჯვაა საჭირო. ამას გარდა, საჭიროა, თანამგზავრს აუცილებელი წრიული სიჩქარე მიენიჭოს. მართალია, წრიული სიჩქარე სიმაღლის მატებასთან ერთად კლებულობს, მაგრამ მაღლა ატყორცნაზე დახარჯული ენერგია მატულობს. ამიტომ რაკეტის მაღლა ატყორცნაზე და სიჩქარის მინიჭებაზე დახარჯული ენერგიის საერთო ჯამი სიმაღლის მატებასთან ერთად იზრდება. ენერგიის ეს დანახარჯი განისაზღვრება ეგრეთ წოდებული მახასიათებელი სიჩქარით V, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\text{V}=\text{V}_{\text{წრ}_0}\sqrt{2-\frac{r_0}{r}},$$

სადაც $\text{V}_{\text{წრ}_0}$ არის წრიული სიჩქარე დედამიწის ზედაპირთან, r_0 — დედამიწის რადიუსი, ხოლო r — მანძილი დედამიწის ცენტრიდან დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტამდე.

V მინიმალური მნიშვნელობა აქვს მაშინ, როცა $r=r_0$. ამ დროს $\text{V}=\text{V}_{\text{წრ}_0}$, რადგან ატყორცნაზე არავითარი ენერგია არ იხარჯება. V მაქსიმალურ მნიშვნელობას ღებულობს, როცა $r=\infty$ (უსასრულობას). ამ შემთხვევაში $\text{V}=11{,}2$ კმ/წმ, ანუ სხეული, რომელიც დედამიწის ზედაპირზე ასეთ სიჩქარეს მიიღებს, დედამიწას დაშორდება უსასრულოდ დიდ მანძილზე — სამუდამოდ დატოვებს დედამიწას.

სწორედ ეს არის მეორე კოსმოსური სიჩქარე — მოწყვეტის სიჩქარე.

რეალურ პირობებში საჭიროა კიდევ დამატებითი ენერგიის დახარჯვა ჰაერის წინააღმდეგობისა და ძრავის მუშაობის პერიოდში დედამიწის მიზიდულობის ძალის გადასალახავად. ეს რამდენადმე ზრდის მახასიათებელი სიჩქარის მნიშვნელობას. თუ თანამგზავრის 200 კმ-ზე ასატყორცნად საჭიროა $\text{V}\cong 8$ კმ/წმ, რეალურ პირობებში აუცილებელია დაახლოებით 9 კმ/წმ სიჩქარე. ეს სიდიდე განსაზღვრავს პრაქტიკულად ენერგიის დანახარჯს, რაც აუცილებელია დედამიწის „უმარტივესი“ ხელოვნური თანამგზავრის გასაშვებად.

ᲛᲖᲘᲡ ᲛᲐᲮᲚᲝᲑᲔᲚᲘ ᲡᲘᲕᲠᲪᲘᲡ ᲨᲔᲡᲬᲐᲕᲚᲐ

კოსმოსური სივრცის მკვლევართა წინაშე მეტად მრავალფეროვანი ამოცანები დგას. ამიტომ კოსმოსს მხოლოდ ასტრონომები არ იკვლევენ. კვლევას აწარმოებენ გეოფიზიკოსებიც, ბიოლოგებიც, ფიზიკოსებიც და ტექნიკის სხვადასხვა დარგის ინჟინრებიც.

ასტრონომებს აინტერესებთ საპლანეტათშორისო გაზის შემადგენლობა, სხვა პლანეტების მაგნიტური ველები, მეტეორული ნივთიერება. ისინი შეისწავლიან მზის სისტემის პლანეტებს, მათ მაგნიტურ ველებს, ატმოსფეროს შემადგენლობას, ზედაპირის დეტალებს და ა. შ.

რადიოასტრონომები იკვლევენ კოსმოსურ რადიოგამოსხივებას რადიოტალღების ყველა დიაპაზონზე და უკვე ცდილობენ, კოსმოსური ხმაურის ფონზე სხვა სამყაროთა გონიერი არსებების სიგნალები დაიჭირონ.

გეოფიზიკოსებს უფრო მოკრძალებული მოთხოვნილებები აქვთ. მათ აინტერესებთ თვითონ დედამიწა, მისი გარე გარსები: ატმოსფერო, იონოსფერო და მაგნიტოსფერო — დედამიწის მაგნიტური ველი და მასთან დაკავშირებული რადიაციის სარტყელები.

რადიაციის სარტყელები არა ნაკლებ აღელვებთ ბიოლოგებსაც. ადამიანის გაფრენა და მომავალი თანამგზავრ-სადგურების შექმნა შეუძლებელია რადიაციის გავლენის გაუთვალისწინებლად. რადიაციისაგან დაცვა კოსმონავტიკის ერთ-ერთი ყველაზე სერიოზული პრობლემაა.

თანამგზავრებზე ურთულეს ექსპერიმენტებს ატარებენ ფიზიკოსებიც. ისინი სწავლობენ იდუმალ კოსმოსურ სხივებს და გულდასმით იკვლევენ მზის გამოსხივებას.

ყველანაირი კვლევისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მძიმე თანამგზავრ-ბაქნების შექმნას, რომელთა აუცილებლობაზე ჯერ კიდევ ციოლკოვსკი ლაპარაკობდა. შედარებით მაღალ ორბიტებზე დედამიწის ატმოსფეროს საზღვრებს გარეთ გაშვებული თანამგზავრ-ბაქნები პრაქტიკულად სამუდამოდ იბრუნებენ დედამიწის გარშემო. ამ მუდმივ თანამგზავრ-ბაქნებს, შემდგომში კი, შესაძლებელია, თანამგზავრ-ქალაქებს(!), საწვავის შესავსებად მიადგებიან კოსმოსური ხომალდები, რომლებიც შემდგომ სხვა პლანეტებისაკენ გაემართებიან. საწვავის მარაგის შევსებისა და მოძრავი თანამგზავრიდან სტარტის აღების შესაძლებლობა მნიშვნელოვნად ზრდის მოქმედების რადიუსს, ტვირთმზიდაობას და კოსმოსში მანევრირების შესაძლებლობას.

მეცნიერები შეძლებენ დიდი ხანი დაყონ მძიმე თანამგზავრებზე და იქიდან გამოიკვლიონ კოსმოსი. ასეთი თანამგზავრების შექმნა ასტრონომებს განსაკუთრებულ პერსპექტივებს უშლის. მათ შეეძლებათ თანამგზავრებზე დიდი სიმძლავრის ტელესკოპები დადგან და ციური სხეულებისა და მათი ზედაპირის დეტალების განსაკუთრებით მკაფიო გამოსახულებანი მიიღონ. კოსმოსში მკვეთრად გაიზრდება ტელესკოპის გარჩევის უნარი, რადგან აქ მას აღარ შეუშლის დედამიწის ატმოსფეროს მტვერი და წყლის ორთქლი. ტელესკოპთა ობიექტივებს ჩამოსცილდება ბურუსის საბურველი, რომელიც მათ საუკუნეების მანძილზე აფარია.

კოსმოსის შესწავლა და ათვისება არა მარტო ასტრონომიას, არამედ მეცნიერების სხვა დარგებსაც ამდიდრებს. თანამგზავრები უდიდეს საშუალებას იძლევიან წმინდა ტექნიკური ამოცანების გადასაჭრელად. თანამგზავრთა დახმარებით შეიძლება შეიქმნას რადიონავიგაციის სისტემები, რომლებიც მთელ ჩვენს პლანეტას შემოერტყმიან გარს. მეტეოროლოგებს საშუალება ექნებათ ერთდროულად მთელს დედამიწაზე ადევნონ თვალი ღრუბელთა მასების მოძრაობას, ციკლონთა და ქარიშხალთა წარმოქმნასა და გადაადგილებას. დაბოლოს, თანამგზავრთა დახმარებით უკვე შეუდგნენ ტელემაუწყებლობის მსოფლიო ქსელის შექმნის ამოცანის გადაჭრას.

ტროპოსფეროს საზღვრებს გარეთ

პირველი ცნობები დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენების, მისი სიმკვრივისა და სხვა მახასიათებლების შესახებ არაპირდაპირი მეთოდებით მიიღეს: აკვირდებოდნენ ღამის ცის ნათებას, ვერცხლისფერ ღრუბლებს, პოლარულ ნათებას, მეტეორთა გაელვებას და დედამიწის ჰაერის გარსის ზედა ფენებში მიმდინარე სხვა მოვლენებს.

შემდგომ დაიწყეს ატმოსფეროს ზონდირების, რადიოტალღებით „მოსინჯვის“ მეთოდის გამოყენება. რადიოტალღები კვეთენ ატმოსფეროს, სხვადასხვა ფენიდან სხვადასხვანაირად აირეკლებიან და უკან სუსტი რადიოექოს სახით ბრუნდებიან. მათი არეკვლის ხარისხის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ ატმოსფეროს ზედა ფენების სიმკვრივეზე, შემადგენლობასა და ელექტრულ თვისებებზე.

რაკეტული ტექნიკის განვითარებამ მეცნიერებს კვლევის ახალი, მძლავრი საშუალება მისცა.

მძლავრი რაკეტების მეშვეობით სხვადასხვა ფიზიკური ხელსაწყოების ატანა შეიძლება უშუალოდ ატმოსფეროს ზედა ფენებში და გაზომვები, ასე ვთქვათ, „ადგილზე“ ჩატარდება.

„ცაში“ გაზომილ სიდიდეებს ხელსაწყოები იმახსოვრებენ და იწერენ, შემდეგ კი ეგრეთ წოდებული რადიოტელემეტრული სისტემის დახმარებით დედამიწაზე გადმოსცემენ.

ატმოსფეროს ზედა ფენების რაკეტების საშუალებით კვლევამ, რასაც საბჭოთა მეცნიერები სისტემატურად ატარებენ, კარგი მეცნიერული შედეგები მოგვცა. მაგრამ რაკეტები მაინც საკმაოდ შეზღუდულ ცნობებს გვაწვდიან. საქმე ისაა, რომ ვერტიკალურად მაღლა ატყორცნილი რაკეტა ატმოსფეროს მხოლოდ ვერტიკალურად კვეთს. არსებითად, მონაცემები ატმოსფეროს შესახებ მხოლოდ დედამიწის სფეროს ერთ წერტილს ზემოთ იზომება, თანაც დროის ძალზე მცირე მონაკვეთში, რადგან რაკეტა სულ რამდენიმე წუთს მიფრინავს. ატმოსფეროს ზედა ფენების თვისებები კი ძალზე იცვლება იმის მიხედვით, თუ რომელ გრძედსა და განედზე მდებარეობს ესა თუ ის ადგილი, ანდა წელიწადის ან დღე-ღამის რა დროა. ამიტომ მთელს დედამიწაზე გაზომვების ერთდროულად განხორციელება მხოლოდ დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების საშუალებით შეიძლება.

თანამგზავრთა საშუალებით განსაკუთრებით ზედმიწევნით იონოსფეროს გამოკვლევა გახდა შესაძლებელი. იონოსფერო ეს არის ძლიერ იონიზებული ჰაერის ფენა, რომელიც ჩვენს პლანეტას გარს არტყია 70-80 კმ-დან 400-500 კმ სიმაღლემდე. თანამგზავრთა გაშვებამდე იონოსფეროს თვისებებს დედამიწიდან გაგზავნილი რადიოტალღების არეკვლისა და გარდატეხის მიხედვით სწავლობდნენ. თანამგზავრებიდან იონოსფეროში გაგზავნილი რადიოტალღები საშუალებას გვაძლევენ უფრო ღრმად და ზუსტად შევისწავლოთ იონოსფეროს თვისებები.

ბევრი საინტერესო ცნობა მოგვცა აგრეთვე ფიზიკურმა ხელსაწყოებმა, რომელთა საშუალებითაც უშუალოდ იზომება დამუხტულ ნაწილაკთა (ელექტრონებისა და დადებითი იონების) კონცენტრაცია. აღმოჩნდა, რომ იონოსფერო უფრო მაღლა ვრცელდება, ვიდრე ადრე იყო ნავარაუდევი. უკანასკნელ დრომდე ფიქრობდნენ, რომ ელექტრონების კონცენტრაცია 300-400 კმ-ზე უფრო მაღლა სწრაფად კლებულობს. მაგრამ თანამგზავრთა საშუალებით ჩატარებულმა უშუალო გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ 800 — 1000 კმ სიმაღლეზეც კი ელექტრონების თავმოყრა ძალზე დიდია და მხოლოდ ათჯერ მცირეა ყველაზე დიდ კონცენტრაციასთან შედარებით, რომელიც 300 კმ სიმაღლეზე იყო შენიშნული. ამ ფენის ზედა არეების შესახებ მონაცემთა არსებითი დაზუსტება შეუძლებელი იყო დედამიწიდან რადიოზონდირების საშუალებით. ეს მხოლოდ თანამგზავრებსა და კოსმოსურ რაკეტებს შეეძლო.

იონოსფეროს რაკეტებით კვლევის შედეგებმა ნათლად დაადასტურა, რომ ატმოსფეროს ამ ფენის მდგომარეობას მთლიანად მზის აქტივობა — მისი გამოსხივება განსაზღვრავს. იონოსფერო თითქოს მზის მცხუნვარე სუნთქვის ტაქტზე „სუნთქავს“. აფეთქებანი, რომლებიც მზეზე ხდება, გამოისვრის კორპუსკულების — მზის მატერიის ნაწილაკთა ნაკადს. კორპუსკულები დედამიწის გაზოვან გარსს აღწევენ და განუწყვეტლივ ცვლიან მის ელექტრულ მახასიათებლებს. იონოსფეროზე განუწყვეტელ ზემოქმედებას ახდენს მზის არა მარტო კორპუსკულარული, არამედ მოკლეტალღოვანი გამოსხივებაც. დედამიწის მზით განათებული ნახევრის იონოსფეროს მდგომარეობა განსხვავდება ჩრდილში მყოფი ნახევრის იონოსფეროს მდგომარეობისაგან.

თანამგზავრებიდან ჩატარებული გამოკვლევების დროს მეცნიერები ბევრ მოულოდნელობას წააწყდნენ. აღმოჩნდა, რომ თანამგზავრების ფრენის სიმაღლეზე ჰაერის სიმკვრივე რამდენჯერმე მეტი იყო, ვიდრე მოელოდნენ. 266 კმ სიმაღლეზე ჰაერის სიმკვრივე დაახლოებით ათ მილიარდჯერ მცირეა, ვიდრე დედამიწის ზედაპირთან, მაგრამ უფრო მაღლა სიმკვრივე შედარებით ნელა მცირდება.

ადრე პირობითად მიაჩნდათ, რომ ათასი კილომეტრის სიმაღლეზე დედამიწის ატმოსფერო საპლანეტათშორისო გაზში გადადის, მაგრამ ახლა, გამოკვლევების შემდეგ, მეცნიერებმა შეძლეს დაედგინათ, რომ ეს საზღვარი გაცილებით მაღლაა და 2,5-3 ათას კმ აღწევს.

თანამგზავრებმა და რაკეტებმა აღმოაჩინეს, რომ ატმოსფეროს ზედა ფენებიც ისეთივე მოუსვენარია, როგორც ატმოსფეროს ქვედა ფენები, იქაც ქრიან ქარები და თან უდიდესი სისწრაფით.

მთელი ატმოსფერო არა მარტო მოუსვენარია,

არამედ არაერთგვაროვანიცაა. 100 კმ სიმაღლემდე ატმოსფერო კარგადაა „არეული“ და მისი შემადგენლობა დაახლოებით ისეთივეა, როგორც დედამიწის ზედაპირთან. შემდეგ იწყება შრეებად დაშლა — მსუბუქი გაზების წილი სიმაღლის მატებასთან ერთად მატულობს. ამას გარდა აღმოჩნდა, რომ 100 კმ ზემოთ ჟანგბადის მოლეკულები ატომებად იშლება და 150 კმ ზემოთ ჟანგბადი მხოლოდ ატომურ მდგომარეობაშიღა გვხვდება. 250 კმ სიმაღლეზე და უფრო მაღლა ატმოსფერო ძირითადად აზოტისა და ჟანგბადის ატომებისაგან შედგება.

თანამგზავრთა დახმარებით მეცნიერებმა ბევრი რამ ახალი შეიტყვეს დედამიწის გაზოვანი გარსის ზედა ფენების ტემპერატურის შესახებ. შენიშნეს, რომ ატმოსფეროს ტემპერატურისა და სიმკვრივის ცვლა ისევე განმეორებადია, როგორც მზის მოქმედების სხვადასხვა სახეობა. მზის ზემოქმედება ატმოსფეროზე განსაკუთრებით ძლიერია მზის აქტივობის მაქსიმუმის წლებში. ამ მხრივ ძალზე დამახასიათებელია დედამიწის მესამე საბჭოთა ხელოვნური თანამგზავრის ხანგრძლივი არსებობის მაგალითი. თანამგზავრმა ორბიტაზე ნახევარი წლით მეტ ხანს გაძლო, ვიდრე გამოთვლილი იყო. აღმოჩნდა, რომ ამის მიზეზი გამოთვლის შეცდომები კი არ იყო, არამედ ის, რომ გამოიყენეს ატმოსფეროს ზედა ფენების სიმკვრივის მონაცემები 1957-1958 წლებისათვის, როცა მზის აქტივობის მაქსიმუმი შეინიშნებოდა. 1959 წელს და 1960 წლის დასაწყისში მზის აქტივობამ იკლო, შემცირდა ატმოსფეროს სიმკვრივე და ის წინააღმდეგობა, რომელსაც ატმოსფერო თანამგზავრის მოძრაობას უწევდა. ამიტომ, ბუნებრივია, თანამგზავრმაც უფრო დიდხანს იარსება.

საპლანეტათშორისო გაზი

უკანასკნელ დრომდე ფიქრობდნენ, რომ, თუ კოსმოსში კოსმოსური მტვრის გარდა საპლანეტათშორისო გაზიც [1] არსებობს, მაშინ მისი სიმკვრივე ძალზე მცირე უნდა იყოს: კოსმოსური სივრცის 1 სმ³ ნივთიერების სულ რამდენიმე ატომს უნდა შეიცავდეს.

ღამის ცის ნათების შესწავლამ და სხვა დაკვირვებებმა ზოგიერთი მეცნიერი იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ საპლანეტათშორისო სივრცე შევსებულია ელექტრონებით, ამასთან 1 სმ³-ში 100 ელექტრონია. ამდენივე უნდა იყოს 1 სმ³-ში პროტონებიც, რადგან საპლანეტათშორისო გარემო ელექტრულად ნეიტრალურია.

მაგრამ ამ დასკვნებს ყველა მეცნიერი არ ეთანხმებოდა. ზოგიერთი ისევ ფიქრობდა, რომ საპლანეტათშორისო სივრცეში ელექტრონებისა და პროტონების რაოდენობა 1 სმ³-ში 10 ნაწილაკს არ აღემატება, ხოლო ამ ნაწილაკთა დიდი სიმკვრივე მხოლოდ იმას მოწმობს, რომ საპლანეტათშორისო სივრცეში არსებობს მზის ზედაპირიდან გამოსროლილი ნაწილაკების — კორპუსკულების ნაკადები.

ამ დავის გადაწყვეტა მხოლოდ დედამიწიდან დაკვირვებით შეუძლებელი იყო. ამიტომ საპლანეტართშორისო გაზის ბუნებისა და სიმკვრივის საკითხის დაზუსტება მხოლოდ თანამგზავრებისა და კოსმოსური რაკეტების საშუალებით ჩატარებულ უშუალო დაკვირვებებს შეეძლო. ხელსაწყოებმა შეძლეს გაერჩიათ, პროტონი მზის კორპუსკულების ნაკადს ეკუთვნოდა თუ საპლანეტათშორისო გაზს. გამოირკვა, რომ სხვადასხვა წარმოშობის ნაწილაკებს სხვადასხვა ენერგია აქვს და დიდი ენერგიის მქონე ნაწილაკები კორპუსკულების ნაკადს ეკუთვნის. საპლანეტათშორისო გაზის პროტონების ენერგია კი მცირეა.

პირველ საბჭოთა რაკეტაზე, რომელიც მზის თანამგზავრი გახდა, დაყენებული იყო პროტონების ოთხი დამჭერი. ოთხივე ერთდროულად აგროვებდა პროტონებს. ამასთან, ორი მათგანი მცირე ენერგიის პროტონებისათვის დახშული იყო, იმ დროს, როცა ოთხივე იჭერდა კორპუსკულების ნაკადთა პროტონებს. ასეთი უშუალო გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები იმაზე მიგვითითებს, რომ საპლანეტათშორისო გაზი არსებობს. 150 კმ სიმაღლეზე პროტონების სიმკვრივე შეადგენს დაახლოებით 1000 ნაწილაკს 1 სმ³-ში, ხოლო დედამიწის ზედაპირიდან 100—150 ათას კმ მანძილზე 1 სმ³-ში 300 — 400 ნაწილაკამდე მცირდება.

მაშასადამე, საპლანეტათშორისო სივრცე უნდა წარმოვიდგინოთ, როგორც რთული გარემო, რო-

[1] საპლანეტათშორისო გაზი — მატერიის განსაკუთრებული ფორმა, რომელიც საპლანეტათშორისო სივრცეს ავსებს. ძირითადად უწესრიგოდ არეული პროტონებისა და ელექტრონებისაგან შედგება.

მელიც შევსებულია ძალზე გაიშვიათებული პროტონულ-ელექტრონული გაზით. ეს გარემო ყოველი მიმართულებით იკვეთება სხვადასხვა სახის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით, აგრეთვე დამუხტული ნაწილაკების ნაკადებით, რომელთაც მზისა და ვარსკვლავთა ზედაპირი გამოტყორცნის.

ამ გარემოს შემადგენლობისა და აგრეთვე მისი სტრუქტურის ცვლილებათა მიზეზის შესწავლას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ჩვენს ეპოქაში, კოსმოსურ ფრენათა დაწყების ეპოქაში. ვინ იცის, იქნებ უმნიშვნელო სიმკვრივის მქონე კოსმოსურმა გაზმა მომავლის კოსმოსურ ხომალდებს არანაკლები წინააღმდეგობა გაუწიოს, ვიდრე ჰაერი უწევს წინააღმდეგობას დღევანდელ რეაქტიულ თვითმფრინავებს.

დედამიწის მაგნიტური ველი და რადიაციის სარტყელები

მეცნიერებს უდიდეს მეცნიერულ შედეგად მიაჩნიათ დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების შემწეობით დედამიწის ირგვლივ მდებარე რადიაციის სარტყელთა აღმოჩენა, რომელთა წარმოშობის პროცესი მტკიცედაა დაკავშირებული დედამიწის მაგნიტურ ველთან და იდუმალ კოსმოსურ სხივებთან.

კოსმოსური სხივები ჩვენი ვარსკვლავთა სისტემის — გალაქტიკის წიაღში წარმოიშვება. კოსმოსური სხივების შედარებით მცირე რაოდენობას მზე გამოასხივებს. დედამიწაზე ყოველი მხრიდან მომავალი კოსმოსური სხივები თითქმის ვერ აღწევს დედამიწის ზედაპირს. ისინი ხვდებიან დედამიწის ატმოსფეროს შემადგენლობაში შემავალი გაზების ატომებს, შლიან ამ ატომებს და საწყისს აძლევენ მეორადი ნაწილაკების მთელ გროვას. სწორედ ეს მეორადი ნაწილაკები აღწევენ დედამიწის ზედაპირამდე. მარტო დიდი ენერგიის მქონე ნაწილაკებს შესწევთ უნარი, გაკვეთონ ატმოსფერო. ამიტომ მხოლოდ მათი ფიქსირება და შესწავლა შეიძლება უშუალოდ დედამიწაზე.

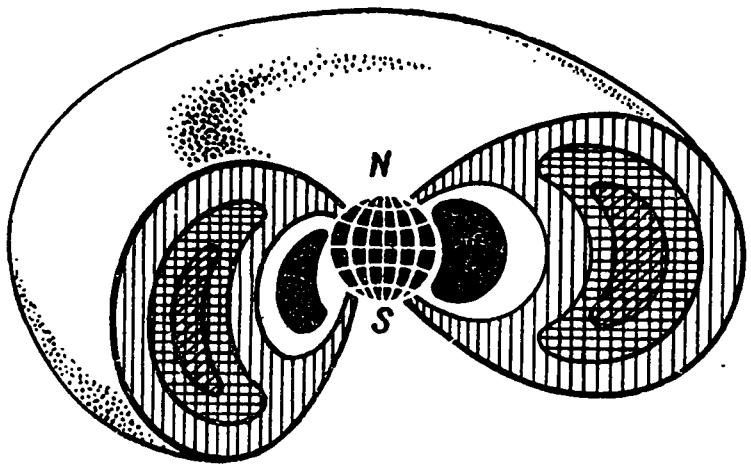
მაგრამ ასეთი დაკვირვებებით შეუძლებელია ვიმსჯელოთ ნამდვილი, პირველადი კოსმოსური სხივების ინტენსივობაზე, რომლებიც კოსმოსიდან მოემართებიან და ატმოსფეროსთან ურთიერთქმედება არ განუცდიათ. იმ ნაწილაკთა შორის, რომლებიც 100 კმ სიმაღლემდე გვხვდება, მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილია უშუალოდ კოსმოსიდან მოსული, ხოლო უმეტესობა (დაახლოებით 99,9%) მეორად გამოსხივებას წარმოადგენს.

თუმცა მარტო ატმოსფერო არ გვიცავს კოსმოსური ნაწილაკებისაგან. კოსმოსური სხივების დამუხტულ ნაწილაკებზე ძლიერ ზემოქმედებას ახდენს დედამიწის მაგნიტური ველი. სუსტი ნაწილაკები გეომაგნიტური პოლუსებისაკენ გადაიხრება. ეკვატორის რაიონს მხოლოდ ყველაზე სწრაფი ნაწილაკები აღწევს.

დედამიწის მაგნიტური ველისა და დამუხტული ნაწილაკების ურთიერთქმედების მექანიზმი დიდი ხანია ცნობილია. მაგნიტური ველის ზემოქმედებით ნაწილაკი ველის ძალხაზების გასწვრივ იწყებს მოძრაობას, ამავე დროს, თითქოს ზედ ეხვევა მათ. რაც უფრო უახლოვდებიან პოლუსს, ძალხაზები მით უფრო მჭიდროდ ლაგდებიან და ნაწილაკის მოძრაობას ანელებენ მის სრულ გაჩერებამდე. ამის შემდეგ ასეთივე მოძრაობა იწყება შებრუნებული მიმართულებით. მერე მოძრაობა ისევ თავიდან იწყება და ასე გრძელდება დაუსრულებლად — დამუხტული ნაწილაკი მახეში ექცევა.

კოსმოსური კვლევის დასაწყისში მაგნიტური ველის ამ „ტყვეთა“ შესწავლის ამოცანა არ იდგა. მაგრამ გაზომვებმა, რასაც საბჭოთა და ამერიკელი მეცნიერები პირველ თანამგზავრებზევე აწარმოებდნენ კოსმოსური სხივების შესასწავლად, მოულოდნელად გვიჩვენა ისეთი არეების არსებობა, რომელთაც გამოსხივების მომატებული ინტენსივობა ჰქონდა. კოსმოსური სხივების აღმრიცხველებმა მაღალი ენერგიის ნაწილაკთა რიცხვის მკვეთრი ზრდა აღნიშნა. ამან მეცნიერებს შესაძლებლობა მისცა ევარაუდათ, რომ დედამიწის მაგნიტური ველი მეორადი კოსმოსური სხივების ერთგვარ მახეს წარმოადგენს. დედამიწის მაგნიტური ველი არა მარტო გადახრის მეორად კოსმოსურ სხივებს, არამედ აჩერებს კიდეც დედამიწასთან ახლოს, აგროვებს და გაზრდილ კოსმოსურ რადიაციას ქმნის.

ეს ფაქტები საბოლოოდ დაადასტურა და რადიაციის არის აღნაგობა დააზუსტა საბჭოთა კოსმოსური რაკეტის „მთვარე-1“ და ამერიკული რაკეტის „პიონერ-III“ გაფრენებმა. ორივე რაკეტამ დედამიწის მახლობელი სივრცე ვერტიკალურად „გაკვეთა“. რაკეტებმა რადიაციის მთელი



დედამიწის რადიაციული სარტყელები.

სარტყელი გაიარეს და აღმოჩნდა, რომ ეს სარტყელი ორი ზონისაგან შედგება. ამ რაკეტების გაფრენებმა მეცნიერებს საშუალება მისცა, მრავალრიცხოვანი გაზომვა ჩაეტარებინათ, რითაც უფრო ნათელი წარმოდგენა შეექმნათ რადიაციის სარტყელის აღნაგობაზე. აღმოჩნდა, რომ დედამიწას გარს აკრავს რადიაციის ორი კონცენტრული სარტყელი, ერთგვარი შარავანდედები, ანუ რგოლები. რგოლები ყველაზე სქელია ეკვატორის სიბრტყეში. შიდა სარტყელი, ანუ ზონა იწყება 600—1000 კმ სიმაღლიდან და სამ-ოთხ ათას კილომეტრს აღწევს. გარე სარტყელი ათი ათასი კილომეტრიდან იწყება, მაქსიმუმი ოცი ათასი კილომეტრის სიმაღლეზე აქვს, ხოლო საზღვარი დედამიწიდან 40-50 ათასი კმ სიმაღლეზე უდევს.

შიდა ზონა მაღალი ენერგიის ნაწილაკებისაგან, ძირითადად პროტონებისაგან შედგება, გარეთა ზონა კი მნიშვნელოვნად მცირე ენერგიის ელექტრონებისაგან.

რადიაციის ზონათა რგოლები დედამიწის ცენტრის მიმართ არასიმეტრიულია, რადგან მაგნიტური ველის ცენტრი დედამიწის გეომეტრიულ ცენტრს არ ემთხვევა.

რადიაციის სარტყელები, რომელთა არსებობა მაგნიტურ ველზეა დამოკიდებული, უმცირეს დეტალებშიც კი იმეორებს მაგნიტური ველის კონფიგურაციას: მაგნიტური ანომალიები შიდა ზონის ქვედა საზღვარს თავისკენ „იზიდავენ“. ატლანტის ოკეანის სამხრეთ ნაწილში, სამხრეთ ამერიკასა და აფრიკის სამხრეთ ნაწილს შორის, სარტყელის საზღვარი 300 კმ სიმაღლემდე ეშვება. რადიაციის სარტყელთა ასეთი „განტოტებების“ აღმოჩენას და განლაგების დადგენას დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა კოსმონავტთა საფრენი ტრასების განსაზღვრისათვის — კოსმოსური ხომალდების ორბიტები სახიფათო ზონებში არ უნდა მოხვედრილიყო. ამავე მოსაზრებებით საპლანეტათშორისო მოგზაურობის დროს რადიაციის სარტყელთა ან სწრაფი „გარღვევა“ იქნება საჭირო, ან მათი გვერდის ავლა პოლარული რაიონებიდან.

პირველადი კოსმოსური სხივების ბუნების შესასწავლად განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს კოსმოსური რაკეტების მთვარის, მარსისა და ვენერასაკენ გაფრენას, რადგან პირველადი კოსმოსური სხივების ინტენსივობის განსაზღვრა, მათი ბუნების შესწავლა და წარმოშობის დადგენა შეიძლება მხოლოდ მაშინ, როცა ხელსაწყოები არა მარტო ატმოსფეროს გარეთ, არამედ დედამიწის მაგნიტური ველის გარეთაც იქნება.

მეტეორული ნივთიერება

მზის სისტემის საპლანეტათშორისო სივრცე უდიდესი რაოდენობის მყარ ნივთიერებას—წვრილ, მკვრივ მარცვლებს და კოსმოსურ მტვერს შეიცავს. კოსმოსური მტვრის ნაწილაკები, რომლებიც მზის ირგვლივ მოგზაურობენ, დედამიწის ატმოსფეროში იჭრებიან, იქ იწვებიან და ღამის ცაზე მეტეორთა ცეცხლოვან კვალს ტოვებენ. ამაზე იტყვიან ხოლმე ხალხში „ვარსკვლავი ჩამოვარდაო“.

მეტეორული სხეული დედამიწის ატმოსფეროში უდიდესი სიჩქარით იჭრება. ეს სიჩქარე 73 კმ/წმ აღწევს, ანუ ბევრად მეტია ტყვიის ან ჭურვის სიჩქარეზე. გასაგებია, რომ მეტეორთან შეხვედრა, თუნდაც იგი ერთ გრამზე ნაკლებს იწონიდეს, სერიოზული დაზიანებით ემუქრება თანამგზავრებს, რაკეტებს და კოსმოსურ ხომალდებს.

საჭიროა ვიცოდეთ არა მარტო ის, თუ რამდენად მოსალოდნელია „დიდრონ“, ერთ გრამზე მეტი წონის მეტეორულ სხეულებთან შეხვედრა, არამედ სწორად შევაფასოთ უწვრილეს მარცვალთა რაოდენობა. კოსმოსური ხომალდის ზედაპირის ხანგრძლივი დაბომბვის შედეგად (სილის ჭავრილის ხელსაწყოს მსგავსად) ამ მარცვლებს შეუძლია ოპტიკურ ხელსაწყოთა ობიექტივები გააბუნდოვანოს, დაშალოს მზის ბატარეების ელემენტთა საფარველი და, რაც განსაკუთრებით მთავარია, ამ

მარცვლებს შეუძლია რაკეტის კორპუსის ზედაპირის არეკვლისა და გამოსხივების უნარი შეცვალოს, ეს კი, თავის მხრივ, რაკეტის ან თანამგზავრის შიგნით სითბოს რეჟიმის დარღვევას გამოიწვევს.

მეცნიერებს და ყველას, ვისაც კოსმოსური გაფრენები აინტერესებს, ძალიან აღელვებს ის, თუ რამდენად დიდია „მეტეორული ხიფათი“, ხშირად შეხვდება თუ არა მეტეორებს თანამგზავრი ან კოსმოსური რაკეტა.

პირველი პასუხი ამ კითხვაზე დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრთა გაფრენებმა მოგვცა. პრაქტიკულად ყველა საბჭოთა და ამერიკული თანამგზავრის ხანგრძლივმა უავარიო მოქმედებამ გვიჩვენა, რომ საგრძნობი ზომის მეტეორებთან შეხვედრის რეალური შესაძლებლობა ძალზე მცირეა. მეტეორთან დაჯახების შედეგად მხოლოდ ერთი ამერიკული თანამგზავრის, „ექსპლორერ-III“-ის, რადიოაპარატურა გამოვიდა მწყობრიდან. საფუძველი გვაქვს ვიფიქროთ, რომ საბჭოთა ავტომატურმა საპლანეტათშორისო სადგურმა (ასს), რომელიც ვენერასაკენ იყო გაშვებული, დიდ მეტეორთან დაჯახების შედეგად შეწყვიტა გადმოცემები. ეს ვარაუდი განსაკუთრებით იმით მტკიცდება, რომ დედამიწა იმ ხანებში ერთ-ერთ მეტეორულ ნაკადში გადიოდა.

საბჭოთა თანამგზავრებზე და კოსმოსურ რაკეტებზე ჩატარებულმა გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ საპლანეტათშორისო სივრცეში მეტეორულ ნივთიერებათა სიმჭიდროვე ძლიერ მცირეა. 100 კმ-იანი გვერდის მქონე კუბის შიგნით მოთავსებულ სივრცეზე მხოლოდ ერთი მეტეორული სხეული მოდის, რომლის მასა ერთ გრამს აღწევს.

თანამგზავრებისა და რაკეტების საშუალებით მეტეორული ნივთიერების შესწავლის საერთო შედეგები იმას გვეუბნება, რომ დედამიწა გარშემორტყმულია ამ ნივთიერების რგოლით, თავისებური მტვრის ღრუბლით, რომელიც ასი ათასი კილომეტრის სიმაღლემდე ვრცელდება. თუმცა ნაწილაკთა სიმჭიდროვე აქ დიდი არაა, მაგრამ მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე, საერთოდ, საპლანეტათშორისო სივრცეში.

მაშასადამე, მეტეორთან შეჯახების საშიშროება უმნიშვნელოა, თუმცა ვენერასაკენ გაგზავნილ საბჭოთა ასს-ის მწყობრიდან გამოსვლა და ამერიკული თანამგზავრის „ექსპლორერ-III“ დაზიანება, თითქმის საწინააღმდეგოს ამბობს. დიდრონ მეტეორებთან შეჯახების მცირე შესაძლებლობას ყველაზე უკეთ საბჭოთა კავშირიდან და ამერიკის შეერთებული შტატებიდან კოსმოსური ერის პირველ ხუთ წელიწადში გაშვებული ასზე მეტი თანამგზავრის უავარიო არსებობა მოწმობს. ამგვარად, შეიძლება ვიფიქროთ, რომ დიდ მეტეორთან შეხვედრა უფრო ნაკლებ მოსალოდნელია, ვიდრე ავარია ჩვეულებრივ სამოქალაქო საჰაერო გზებზე.

ასეთია კოსმოსური სივრცის კვლევის ზოგიერთი შედეგი.

დედამიწის თანამგზავრები, მარსისა და ვენერასაკენ გაგზავნილი პირველი რაკეტები და კოსმოსური ხომალდები მზის სისტემის ჩვენთან ყველაზე ახლოს მდებარე ნაწილის პირველი მზვერავები არიან. ახლო მომავალში აქ სულ უფრო და უფრო ხშირად გაივლის დედამიწიდან წარგზავნილი კოსმოსური ხომალდები. რაკეტები პლანეტების ახლოს გაივლიან, მზისკენ გაემართებიან. დედამიწიდან პლანეტებზე გატყორცნიან ლაბორატორიატანკეტებს. ისინი მოიტანენ ნიადაგის ნიმუშებს, ჩაატარებენ სეისმურ გამოკვლევებს, გაზომავენ მაგნიტურ ველს.

კოსმოსური რაკეტები თვითონ გახდებიან სხვა პლანეტების თანამგზავრები და ეს პლანეტები რომ გულდასმით შეისწავლონ, მიმართავენ მათკენ ტელესკოპებს და ფოტოაპარატებს. არა მარტო პლანეტები, არამედ ასტეროიდებიც და კომეტებიც გახდება მათი შესწავლის საგანი. კომეტის კუდში გავლისას რაკეტა შეძლებს აიღოს მისი ნივთიერების შემადგენლობის ნიმუში და ანალიზის შედეგი რადიოთი დედამიწაზე გადმოსცეს. რაკეტები სხვა პლანეტების ქანების ნიმუშებსაც მოიტანენ. ისინი აგრეთვე საწვავის მარაგსაც მოამზადებენ იმ კოსმოსური ხომალდების კვლავ დედამიწაზე დასაშვებად, რომლებშიც ადამიანები იქნებიან.

ადამიანის კოსმოსში შეჭრის მასშტაბები ყოველდღიურად იზრდება და, შესაძლებელია, რომ თქვენ, ახლა ამ სტრიქონებს რომ კითხულობთ, „შორეული პლანეტების მტვრიან ბილიკებზე“ გაიაროთ, ამოიცნოთ ბუნების ჯერ ამოუცნობი მრავალი საიდუმლო და თქვენი მიწიერი ძმებისათვის ნედლეულისა და ენერგიის ახალი მარაგი აღმოაჩინოთ.

ჩვენ კოსმოსიდან დავყურებდით დედამიწას

ძვირფასო მეგობრებო! ამ წიგნში თქვენ გაეცანით ციურ სხეულთა უკიდეგანო და მრავალფეროვან სამყაროს. ბევრი რამ გაიგეთ პლანეტებისა და ვარსკვლავების, მეტეორებისა და მეტეორიტების, კომეტების, უთვალავი გალაქტიკებისა და სხვათა შესახებ.

ყველა ცნობა სამყაროს შესახებ ადამიანებმა დედამიწაზე მიიღეს ტელესკოპებისა და სხვა ინსტრუმენტებისა და ხელსაწყოების დახმარებით, ურთულესი გაზომვებისა და გამოთვლების გზით. დედამიწაზე ყველაზე ძველად ჩამოყალიბებული მეცნიერება — ასტრონომია — მრავალ საუკუნეთა მანძილზე თვითონ იყო მიჯაჭვული დედამიწას. ასტრონომები გონებითა და თვალით მილიარდობით სინათლის წლის მანძილზე, ანუ სექსტილიონობით კილომეტრზე შეიჭრნენ სამყაროს სიღრმეში. მაგრამ მათ არ შეეძლოთ დედამიწას მოსწყდომოდნენ. ახლა დგება სხვა ეპოქა, როცა კოსმოსზე დაკვირვება და შესწავლა არა მხოლოდ დედამიწიდან, არამედ თვით კოსმოსიდან შეიძლება. ეს კი სამყაროს შეცნობის ჯერ არნახულ პერსპექტივებს გვიშლის.

კოსმოსში ადამიანის შეჭრა, უპირველეს ყოვლისა, ჩვენი ხალხის — მეცნიერების, ინჟინრების, მუშების კოლექტიური, გმირული შრომით გახდა შესაძლებელი, მათმა შეერთებულმა ძალ-ღონემ აგვიყვანა კოსმოსში. პარტიამ და საბჭოთა ხალხმა უდიდესი ნდობა გამოგვიცხადა. ჩვენ გვანდეს კოსმოსური ხომალდები, რომლებიც დაძაბული, ერთიანი შრომით შეიქმნა. მსოფლიოში პირველებმა დავტოვეთ მშობლიური დედამიწა და დავამტკიცეთ, რომ ადამიანი საუკუნოდ არ არის მიჯაჭვული თავის პლანეტაზე, რომ მას კოსმოსშიც შეუძლია იცხოვროს და იმუშაოს.

გზა კოსმოსისაკენ ვარდებით არ იყო მოფენილი. დიდხანს ბეჯითად ვემზადებოდით მუშაობის არამიწიერი პირობებისათვის. ვსწავლობდით სხვადასხვა მეცნიერების უახლეს მონაცემებს, რაკეტულ ტექნიკასა და რადიოს, ასტრონომიას, ასტრონავიგაციას და სხვა დარგებს. ლაჟვარდოვან ცაში პარაშუტებით ვვარჯიშობდით, ვვარჯიშობდით სტადიონებზე, ვვარჯიშობდით მბრუნავ ცენ-



იური ალექსის ძე გაგარინი.

ტრიფუგზე, როცა საკუთარი წონა სუნთქვაშიც კი გიშლის ხელს, ვვარჯიშობდით სამხარისხიან როტორზე, რომელიც სამი მიმართულებით ბრუნავს, ვვარჯიშობდით ხმაგაუმტარ სურდოკამერაში. როცა ყველა ეს გამოცდა გავიარეთ, უფლება მივიღეთ სასტარტო მოედანზე გავსულიყავით. შემდეგ კი დადგა დრო, ყველა ჩვენგანს დაუდგა ჯერი, და ელვისებურმა რაკეტებმა შორს, ატმოსფეროს იქით გაგვიყვანეს, და ჩვენ დედამიწას კოსმოსიდან გადმოვხედეთ.

მართალია, ფრენისას დაძაბულად ვშრომობდით — ძალზე ფართო პროგრამით ვატარებდით მეცნიერულ დაკვირვებებს, მაგრამ მაინც ვტკბებოდით ჩვენი პლანეტის ცქერით. დედამიწა „შორიდან“ პირველად ჩვენ დავინახეთ. ვხედავდით ოკეა-

რეებისა და ზღვების საოცარ სანაპირო ზოლს. ბთებსა და ველებს, მოელვარე თოვლს. რუხსა და თეთრ ღრუბლებს. დროდადრო ღრუბლები ლანდშაფტს გადაეფარებოდნენ ხოლმე და შეუძლებელი იყო გარჩევა, სად იყო ზღვა და სად ხმელეთი.

ყოველ საათ-ნახევარში ამოდიოდა ჩვენთვის მზე და ეს საათ-ნახევარი იყო ჩვენი დღე-ღამე. მივფრინავდით აღმოსავლეთისკენ, მზის შესახვედრად და საათ-ნახევრის შემდეგ ისევ დასავლეთიდან ვბრუნდებოდით. დედამიწის ირგვლივ ორას სამოცდათხუთმეტი მოგზაურობა ჩავატარეთ ცხრავემ ერთად.

ჩვენი გაფრენები პირველი იყო კაცობრიობის ისტორიაში. კოსმოსს ესტუმრნენ აგრეთვე ჩვენი ოკეანისგაღმელი კოლეგები — ამერიკელი კოსმონავტები. პირველი ნაბიჯები ყოველთვის ყველაზე მოკლე და ყველაზე საძნელოა. ჩვენი გაფრენები ძალთა პირველი გადამწყვეტი ცდა და პირველი გამარჯვება იყო მომავალ გამარჯვებათა შორის. ვალენტინა ნიკოლაევა-ტერეშკოვამ დაამტკიცა, რომ მარტო მამაკაცებს კი არა, ქალებსაც შეუძლიათ გულმოდგინე მომზადების შემდეგ იფრინონ და იმუშაონ კოსმოსში. დაიწყო ცის დაპყრობის ახალი ეტაპი. კაცობრიობა კოსმოსზე დედამიწიდან დაკვირვების ჩატარებიდან მის პრაქტიკულ შესწავლაზე გადადის.

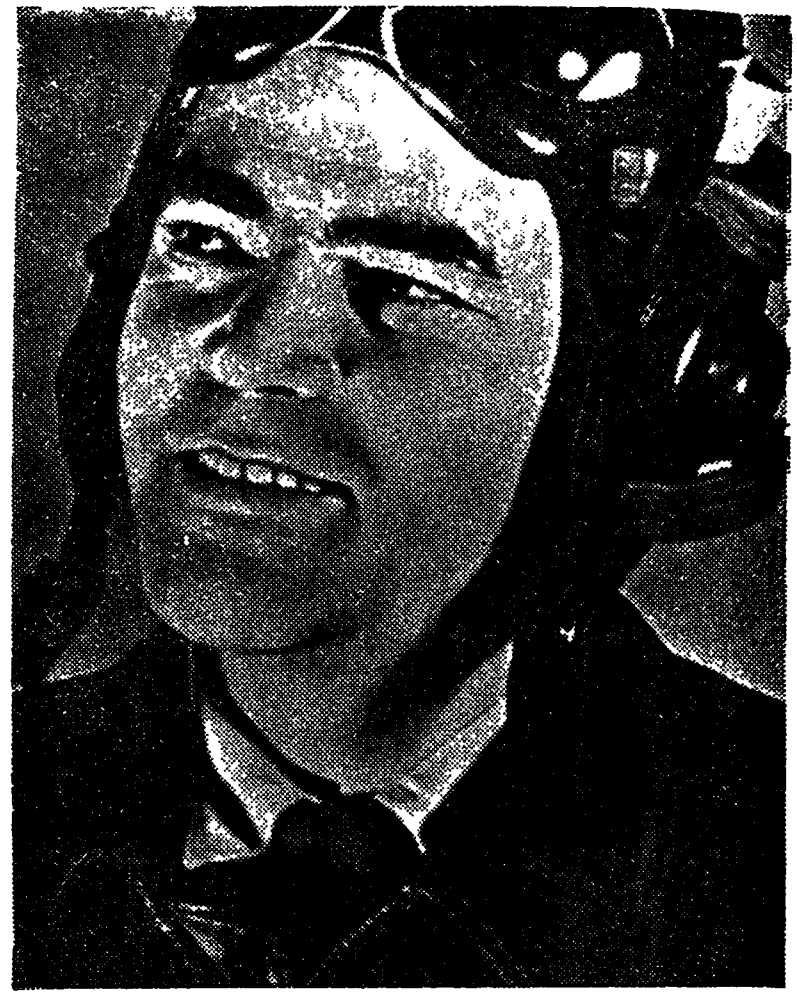
თქვენ უკვე იცით პირველი კოლექტიური გაფრენის შესახებ მრავალადგილიანი კოსმოსური ხომალდ „აისით“. მასში ერთდროულად სამნი იყვნენ — მფრინავი-კოსმონავტი და ორი სპეციალისტი — ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი და ექიმი-კოსმონავტი. მათ ყველას თავისი დავალება ჰქონდა. თქვენთვის გასაგებია, რომ ერთი დღე-ღამის ფრენა ეს პირველი მოსინჯვაა, რომ „აისი“ პირველი მერცხალია მომავალ შორეული ფრენის ხომალდებსა და მომავალ სტაციონარულ მფრინავ ლაბორატორიებს შორის, რომელთაც დაკვირვებების მრავალთვიანი და მრავალწლიანი პროგრამა ექნებათ.

მეცნიერებისათვის კოსმოსში დიდი ასპარეზია გადაშლილი.

მრავალი დარგის მეცნიერები უკვე აყენებენ ამოცანებს, რომლებიც დაკავშირებულია გამოკვლევებთან არა დედამიწაზე, არამედ თვით კოსმოსში. ასტრონომები მოუთმენლად მოელიან, როდის დადგამენ თავიანთ ტელესკოპებს და სხვა



გერმანე სტეფანეს ძე ტიტოვი.



ანდრიანე გრიგოლის ძე ნიკოლაევი.



პავლე რომანის ძე პოპოვიჩი.



ვალერი თევდორეს ძე ბიკოვსკი.

ხელსაწყოებს მთვარეზე ან ხელოვნურ ციურ სხეულებზე, სადაც დედამიწის ატმოსფერო დაკვირვების დროს ხელს აღარ შეუშლით.

გეოლოგებს სურთ მთვარესა და პლანეტებს ეწვიონ. სხვა პლანეტების შესწავლა ახალ შუქს მოჰფენს დედამიწის აღნაგობის რთულ საკითხებსაც. ატმოსფეროს ყველაზე მაღალი ფენების გამოკვლევა გეოფიზიკოსებს დედამიწის კლიმატის ბევრი საიდუმლოს გახსნაში დაეხმარება. ფიზიკოსებს და ქიმიკოსებს კოსმოსურ პირობებში ცდების დაყენება განუსაზღვრელ შესაძლებლობებს გაუხსნის. ბიოლოგები და მედიცინის მუშაკები უკვე სწავლობენ უწონადობის, მცირე სამძიმისა და კოსმოსური გამოსხივების ზეგავლენას ცოცხალი ორგანიზმების სიცოცხლესა და მოქმედებაზე. წარმტაცი პრობლემა უამრავია. მათთან დაკავშირებით კი ამაღელვებელ აღმოჩენათა უსაზღვრო პერსპექტივები იშლება. გაიხსენეთ, რომ პირველი ხელოვნური თანამგზავრების გაშვებისთანავე აღმოჩნდა მანამდე უცნობი რადიაციის სარტყელები — დამუხტული ნაწილაკების ზონები. ეს სარტყელები კოსმოსის ათვისებას მნიშვნელოვან დაბრკოლებას უქმნის და დიდ სიფრთხილეს მოითხოვს.

ჩვენს დროს ზოგჯერ დიდ კოსმოსურ აღმოჩენათა ეპოქას ეძახიან და დიდ გეოგრაფიულ აღმოჩენათა ეპოქას ადარებენ. ჩვენ პატივისცემით წარმოვთქვამთ კოლუმბის, მაგელანისა და სხვა დიდი მოგზაურების სახელებს, რომელთაც ახალი მიწები აღმოაჩინეს. მაგრამ ჩვენი შესაძლებლობანი განუზომლად ფართოა. და რაც მთავარია, საკუთარი ამოცანები ათეულწლობით წინასწარ ვიცით.

ამ წიგნის კითხვისას თქვენ ბევრი, მეცნიერების მიერ ჯერ გადაუჭრელი საკითხი შეგხვდათ. რითია დაფარული მთვარე? მტვრით თუ ფოროვანი ქვით? რა უცნაური სხივები ჩანს მთვარის ზოგიერთი მთის ირგვლივ? რისგან შედგება ვენერას ღრუბლები და რა ტემპერატურაა მათ ქვეშ? რა არის ამ ღრუბლების ქვეშ? რა არის მარსის ე. წ. არხები, ან როგორ წარმოიშვნენ ისინი? არის თუ არა სიცოცხლე მარსზე და ვენერაზე და რა ფორმით? და შემდეგ, როცა უკვე მზის სისტემის საზღვრებს იქით ვიმოგზაურებთ, ხომ არ შევხვდებით იქ გონიერ არსებებს, სხვა ცივილიზაციას, ჩვენი ცივილიზაციის მსგავსს, ან იქნებ სულ სხვანაირს, ვიდრე ჩვენია?

თქვენ უკვე ახლებურად უყურებთ ცას. ცა დედამიწიდან გრავიტაციის გადაულახავი ზღუდით

აღარ არის გამოყოფილი. ტყუილად კი არ თქვა დიდმა ციოლკოვსკიმ: „კაცობრიობა სამუდამოდ არ დარჩება დედამიწაზე. მაგრამ სინათლისა და სივრცის დაპყრობით გატაცებული, ჯერ მოკრძალებულად გასცდება ატმოსფეროს საზღვრებს, შემდეგ კი მთლიანად დაიპყრობს მზის მახლობელ სივრცეს“.

ასეთ ამოცანებს უსახავდა ციოლკოვსკი მომავალ თაობებს, ესე იგი თქვენ, დღევანდელ მოსწავლეებს, ახალგაზრდებს.

ყველა დროში ახალგაზრდობა გმირობაზე ოცნებობდა, მყუდრო მშობლიური სახლებიდან რომანტიული შორეთისაკენ მიისწრაფოდა, მიისწრაფოდა იქ, სადაც სიძნელე და ხიფათია.

ჩვენი ხალხის ცხოვრება, განსაკუთრებით უკანასკნელი ათეული წლები, გმირობის მაგალითებითაა აღსავსე. დიდი სამამულო ომის მძიმე წლებში მრავალმა გმირმა სიცოცხლის ფასად იხსნა ჩვენი სამშობლო და გაანადგურა სასტიკი და მუხანათი მტერი. ომის შემდგომ საბჭოთა ხალხმა — გმირმა, ბუმბერაზმა ხალხმა — თავისი შრომით აღადგინა დანგრეული მეურნეობა და ახლა კომუნიზმის დიად შენობას აშენებს. ამ მშენებლობის ყველა საფეხური ათასობით და მილიონობით საბჭოთა ადამიანის გმირობასთანაა დაკავშირებული. გაიხსენეთ ყამირის გმირები, გაიხსენეთ მსოფლიოში ყველაზე უდიდესი ელექტროსადგურების მშენებლები, გაიხსენეთ დედამიწის წიაღის მაძიებლები და სხვანი. როგორც მ. გორკი ამბობდა: „ცხოვრებაში გმირობისათვის ყოველთვის არის ადგილი“. დგება დრო, როცა ურიცხვი გმირობა კოსმოსსაც დასჭირდება.

ჯერჯერობით კოსმოსს ერთეულები ეწვივნენ — ჩვენ გამოგვყვებიან ასეულობით, ათასობით... ასიათასობით ადამიანები. კოსმოსის დაპყრობა კოლექტიური საქმეა და ყოველთვის კოლექტიურ საქმედ დარჩება. ზოგი თქვენგანი თვითონ ეწვევა კოსმოსს, ზოგი კოსმოსში თქვენს გამგზავრებაზე იზრუნებს და ეს იქნება ყველა თქვენთაგანის გმირობა.

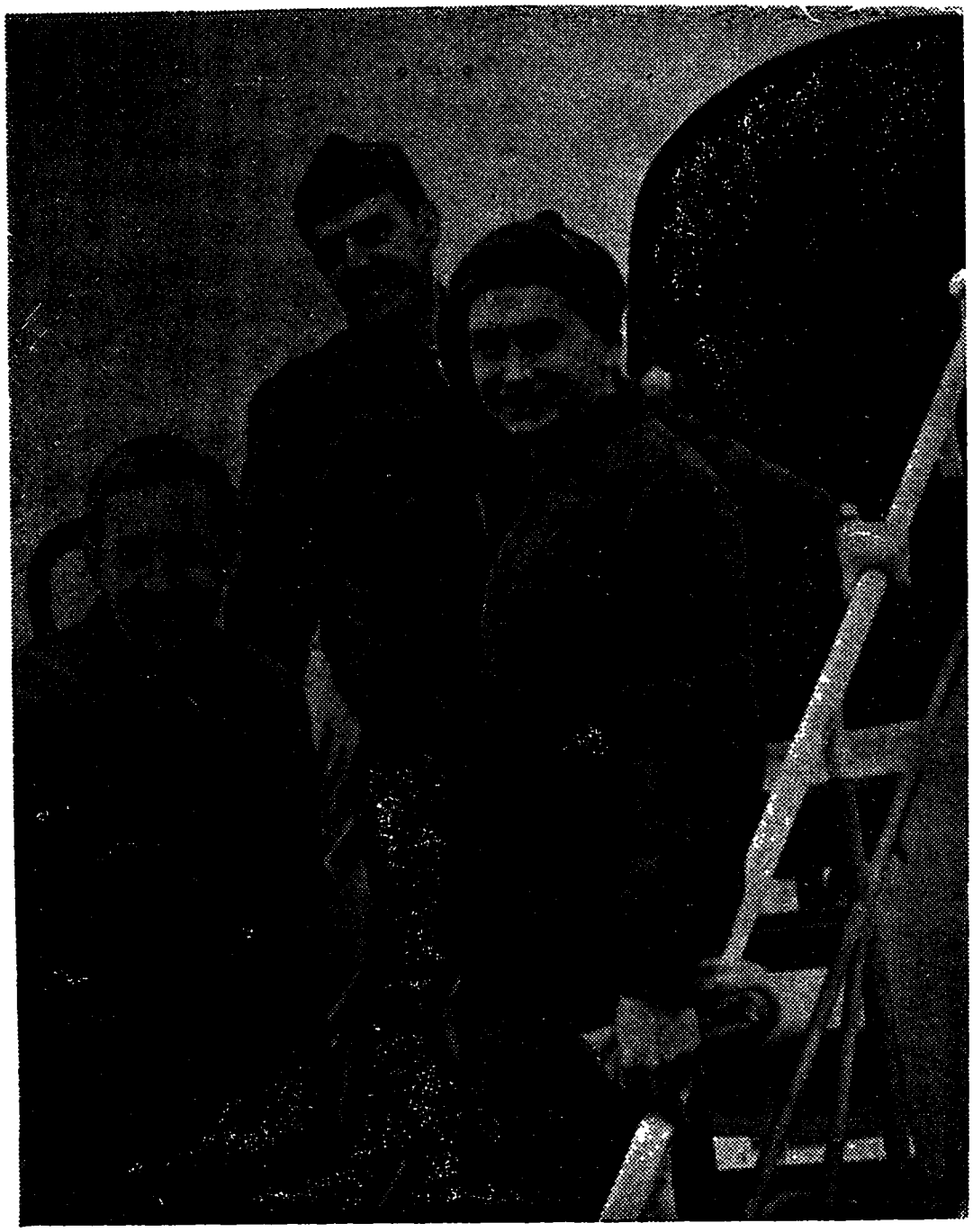
ძვირფასო მეგობრებო, მოემზადეთ საგმირო საქმეებისათვის მიწაზე და კოსმოსში! ისწავლეთ, დაეუფლეთ ცოდნას! გახსოვდეთ, რომ გზა დიადი საქმისაკენ პატარა, შეუმჩნეველი საქმეებით იწყება.

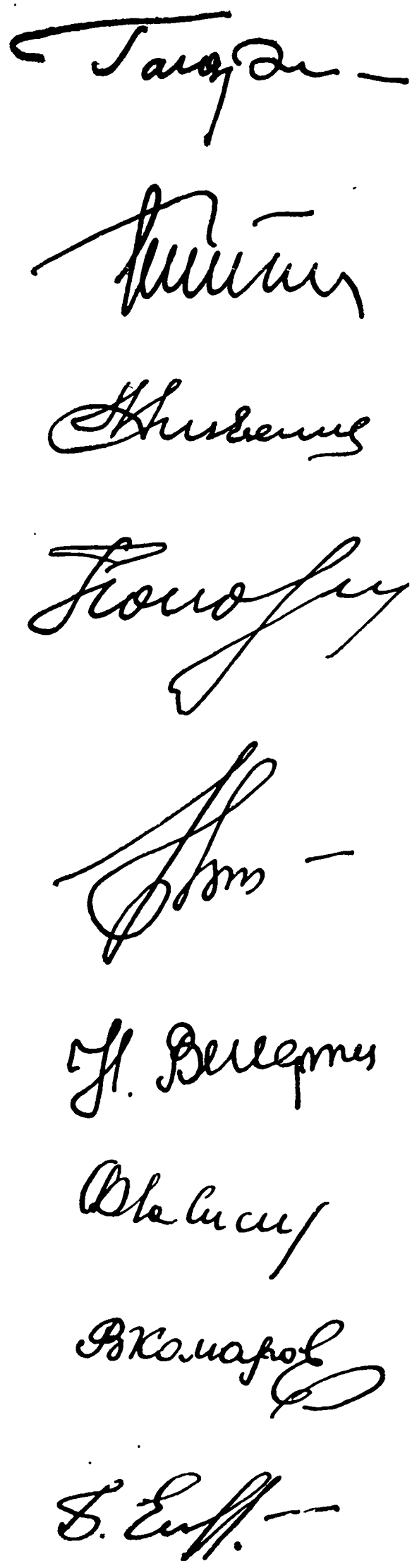
* * *

1965 წლის 18 მარტს 10 საათზე მოსკოვის დროით საბჭოთა კავშირში დედამიწის თანამგზავრის ორბიტაზე მძლავრი მატარებელი რაკეტით გაყვანილ იქნა კოსმოსური თანამგზავრი ხომალდი „აისი“-2. ხომალდის ეკიპაჟს შეადგენდა — კოსმონავტი მფრინავი, პოლკოვნიკი პავლე ივანეს ძე ბელიაევი და კოსმონავტი მფრინავი, პოდპოლკოვნიკი ალექსი არჭიპოს ძე ლეონოვი. წინასწარი მონაცემებით დედამიწის გარშემო თანამგზავრი-ხომალდის მიმოქცევის პერიოდი შეადგენდა 90,9 წუთს, მინიმალური დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან (პერიგეუმი) და მაქსიმალური (აპოგეუმი) შესაბამისად უდრიდა 173 და 495 კილომეტრს. ორბიტის დახრილობა დაახლოებით 65 გრადუსს შეადგენდა.



ვალენტინა ვლადიმერის ასული ნიკოლაევა-ტერეშკოვა.





კონსტანტინე პეტრეს ძე ფეოქტისტოვი,
ვლადიმერ მიხეილის ძე კომაროვი,
ბორის ბორისის ძე ეგოროვი.

კოსმოსური ხომალდის „აისი-2“ ფრენის დროს პირველად კაცობრიობის ისტორიაში განხორციელდა ადამიანის გამოსვლა ხომალდიდან კოსმოსურ სივრცეში.

ფრენის მეორე გარშემოვლის დროს მეორე პილოტი, კოსმონავტი მფრინავი, პოდპოლკოვნიკი ალექსი არქიპოს ძე ლეონოვი, რომელსაც სიცოცხლის უზრუნველყოფის ავტონომიური სისტემის სპეციალური სკაფანდრი ეცვა, გამოვიდა კოსმოსურ სივრცეში, დაშორდა ხომალდს ხუთ მეტრამდე მანძილით, წარმატებით შეასრულა დასახული კვლევისა და დაკვირვების კომპლექსი და მშვიდობიანად დაბრუნდა ხომალდში.

ასტრონომია და სხვა მეცნიერებანი

ასტრონომია ყოველ დროში ვითარდებოდა და ახლაც ვითარდება სხვა მეცნიერებებთან, განსაკუთრებით კი მათემატიკასა და ფიზიკასთან მჭიდრო კავშირში.

მათემატიკა და ფიზიკა, ისევე როგორც ასტრონომია, უძველეს დროს წარმოიშვა. ეგვიპტეში, ბაბილონში ჩვენს ერამდე მრავალი საუკუნით ადრე გარკვეულ წარმატებებს მიაღწიეს არითმეტიკასა და გეომეტრიაში, იქმნებოდა პირველდაწყებითი, ჯერ კიდევ უკიდურესად პრიმიტიული წარმოდგენები ზოგიერთ ფიზიკურ მოვლენაზეც.

ძვ. წ. VI საუკუნიდან უძველეს საბერძნეთსა და მის კოლონიებში, შემდეგ კი ელინურ სახელმწიფოებშიც, მათემატიკა და ასტრონომია ფიზიკაზე სწრაფად ვითარდებოდა. იმ დროს ფიზიკა მიჩნეული იყო ბუნების მეცნიერებად, კერძოდ, ცოცხალი ბუნების მეცნიერებადაც.

ბერძენი ასტრონომები ცდილობდნენ აეხსნათ აღმოჩენილი კანონზომიერებანი და მათგან გადახრები მზის, მთვარისა და პლანეტების მოძრაობებში, განესაზღვრათ ცის ამ სხეულთა ზომები და მანძილები. ამისათვის. მხოლოდ ეგვიპტელებისაგან ნასესხები მათემატიკური ცოდნა არ კმაროდა. აუცილებელი იყო ესწავლათ სიბრტყესა და სფეროზე მრავალფეროვანი გეომეტრიული ამოცანების ამოხსნა, საკმაო სიზუსტით გაეზომათ კუთხეები, ფართები, მოცულობები. უკვე ძვ. წ. VI — IV სს. ბერძენმა მეცნიერებმა გეომეტრიის საფუძვლები დაამუშავეს, ხოლო ახ. წ. III ს. უდიდესმა ბერძენმა მეცნიერმა ევკლიდემ მათ სისტემატური სახე მისცა. ამის წყალობით ალექსანდრიელმა ასტრონომებმა ციურ სფეროზე გეომეტრიული ამოცანების ამოხსნის დიდი ცოდნა და გამოცდილება შეიძინეს.

ბერძენმა მეცნიერებმა ძალიან დიდ რიცხვებზე მოქმედებებიც ისწავლეს. ახ. წ. III ს. არქიმედემ ამოხსნა ასეთი ამოცანა: თუ სამყარო უძრავ ვარსკვლავთა სფეროთი „ჩაკეტილი“ სფეროა, ხოლო მისი ზომები ისეთივეა, როგორც ეს არქიმედეს უფროს თანამედროვეს არისტარქე სამოსელს მიაჩნდა[1], მაშინ ქვიშის რამდენ მარცვალს დაიტევს ეს სფერო? ლაპარაკი იყო უზარმაზარ რიცხვზე, ხოლო ასეთ დიდ რიცხვებთან მათემატიკოსებს ჯერ საქმე არ ჰქონიათ. არქიმედემ თანამიმდევრულად მზარდი რიცხვების სისტემა დაამუშავა და გვიჩვენა, რომ რიცხვები თითქოს უსასრულობაში მიდიან. ამის შემდეგ ადვილად გამოითვალა, რომ ქვიშის მარცვალთა რაოდენობა, რომელსაც სამყარო დაიტევდა, უდრიდა ერთიანს 63 ნულით.

ამრიგად, ასტრონომია ახალ ამოცანებს უყენებდა მათემატიკას და ამით ხელს უწყობდა მის განვითარებას. თავის მხრივ მათემატიკის წარმატებები ხელს უწყობდა ასტრონომიის პროგრესს.

რა თქმა უნდა, მათემატიკა მხოლოდ ასტრონომიის მოთხოვნათა გავლენით არ ვითარდებოდა. მათემატიკა აუცილებელი იყო ვაჭრობის, ხელოსნობისა და სხვა საჭიროებებისათვისაც. პროპორციებისა და მოცულობების საფუძვლიანად შეცნობის გარეშე შეუძლებელი იქნებოდა ბერძნული არქიტექტურისა და სკულპტურის შესანიშნავი მიღწევები.

მეორე მეცნიერება, რომელსაც უძველეს ხანაში (მერე კი შუა საუკუნეებშიც) ფიზიკა ეწოდებოდა, იმ დროს ვერ ეხმარებოდა ასტრონომიის პროგრესს და აფერხებდა კიდეც მის განვითარებას. არსებითად ეს არც იყო ფიზიკა მისი დღევანდელი გაგებით.

ცნობილია, რომ ბუნების შესწავლაში გადამწყვეტ როლს თამაშობს დაკვირვება და ცდა. მხოლოდ მათი დახმარებით შეიძლება ზუსტად გავიგოთ, როგორ ხდება ბუნებაში ესა თუ ის მოვლენა. ჩვენს დროში ფიზიკა ერთ-ერთი ძირითადი მეცნიერებაა ბუნების შესახებ. იგი იკვლევს ნივთიერებისა და მოძრაობის თვისებებს. თანამედროვე ფიზიკას გააჩნია მძლავრი საშუალებანი ბუნების „გამოცდისათვის“ ურთულესი და მრავალგვარი ცდების გზით.

---

[1] არისტარქე დედამიწიდან მზემდე მანძილს დედამიწის 1200 რადიუსის ტოლად თვლიდა — დაახლოებით 7,6 მლნ კმ და სწორად ვარაუდობდა, რომ ეს მანძილი სავსებით უმნიშვნელოა (თითქოს „წერტილია“) ვარსკვლავებამდე მანძილებთან შედარებით.

უძველესი ხანისა და შუა საუკუნეების მეცნიერები კი, არისტოტელეს გონება-ჭვრეტითი შეხედულებების მიმბაძველობით, არავითარ მნიშვნელობას არ ანიჭებდნენ დაკვირვებასა და ცდას. მეცნიერები ფიქრობდნენ და მსჯელობდნენ იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა მომხდარიყო ბუნებაში ესა თუ ის მოვლენა, მაგრამ ცდებით არ ამოწმებდნენ, ასე ხდებოდა თუ არა სინამდვილეში. უძველესი ხანის მეცნიერები ბუნებაში შენიშნულს, ჩვეულებისამებრ, სინამდვილედ მიიჩნევდნენ: თუკი ჩვენ დედამიწიდან გვეჩვენება, რომ მზე, პლანეტები და ვარსკვლავები დედამიწის ირგვლივ ბრუნავენ, მაშასადამე მართლაც ასეა. ამასთან ერთად მიაჩნდათ, რომ ციური სხეულები დედამიწის ირგვლივ წრიულად მოძრაობენ, რადგან დედამიწა სამყაროს ცენტრალური უმოძრაო სხეულია და ყველა სხეული მისკენ უნდა „მიილტვოდეს“, როგორც ყველაზე მძიმე სხეულისკენ. აგრეთვე მიაჩნდათ, დედამიწა რომ ბრუნავდეს, მაშინ ცველაფერი, რაც მის ზედაპირზეა, ასევე გარემომცველი ჰაერიც, „მოსწყდებოდნენ“ მას და ჩამორჩებოდნენ, თვით დედამიწა კი მოძრაობისას ნაწილნაწილ დაიშლებოდა.

ასეთი მცდარი შეხედულებების გავლენის ქვეშ მოქცეული უძველესი და შუა საუკუნეების მეცნიერები ქმნიდნენ წრეების ხელოვნურ სქემებს, რომლებზედაც თითქოს ციური სხეულები მოძრაობენ დედამიწის ირგვლივ, — ოღონდ კი არ დარღვეულიყო არისტოტელეს მოძღვრება, რომელსაც ყოველნაირად უჭერდა მხარს რელიგიაც. კოპერნიკმა თამამად და მტკიცედ უარყო მოძველებული ფიზიკური შეხედულებანი დედამიწის მოძრაობის შეუძლებლობის შესახებ. დაასაბუთა, რომ დედამიწის მოძრაობა სივრცეში, უზარმაზარი სიჩქარითაც კი, შეუმჩნეველი რჩება მისი ბინადრებისათვის. მზის დღეღამური მოძრაობა და მისი წლიური გადაადგილება ვარსკვლავთა შორის — დედამიწის დღეღამური ბრუნვისა და მზის ირგვლივ მისი წლიური მოძრაობის ანარეკლია. თვით დედამიწაზეც ხომ სხეულთა მოძრაობას დამკვირვებელი იმისდა მიხედვით აღიქვამს, თვითონ მოძრაობს დედამიწაზე თუ დგას. კოპერნიკის მიერ დამტკიცებულმა მოძრაობის შეფარდებითობამ უარყო არისტოტელესეული წარმოდგენა იმის შესახებ, რომ ბუნებაში ყოველივე ხელსული სინამდვილეა. მაგრამ თუკი მოჩვენებითი ყოველთვის სინამდვილე არაა, მაშინ სინამდვილის მოჩვენებითისაგან განსასხვავებლად აუცილებელია დაკვირვებანი, ცდები, მათემატიკური ანალიზი. ამიტომაც იყო, რომ კოპერნიკის აღმოჩენები არა მარტო ახალი ასტრონომიის, არამედ ახალი ფიზიკის მზარდი განვითარების საფუძველი გახდა. კოპერნიკის შემდეგ ასტრონომია მტკიცედ ვითარდება როგორც მათემატიკის, ისე ფიზიკის პროგრესთან მჭიდრო ურთიერთკავშირში.

კოპერნიკის ხანაში მათემატიკური ცოდნის მწვერვალი ტრიგონომეტრია იყო (სიბრტყეზე და სფერული). როცა კეპლერმა პლანეტების ბრუნვის კანონები აღმოაჩინა და გაირკვა, რომ პლანეტები არათანაბარი სიჩქარით მოძრაობენ ელიფსურ ორბიტებზე, მათი მოძრაობის შესასწავლად უკვე აღარ კმაროდა იმდროინდელი მათემატიკური ცოდნა და გამოთვლის საშუალებანი. XVII ს. დასაწყისში შოტლანდიელმა ჯონ ნეპერმა (1550 — 1617) ლოგარითმები აღმოაჩინა, მალე ამის შემდეგ ფრანგმა მეცნიერმა დეკარტმა (1596—1650) შექმნა ანალიზური გეომეტრია, საუკუნის მიწურულისთვის კი ნიუტონმა და გერმანელმა მეცნიერმა ლაიბნიცმა (1646 — 1716) დაამუშავეს დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა—უმაღლესი მათემატიკის ძირითადი დარგები.

ნიუტონის მიერ აღმოჩენილი მსოფლიო მიზიდულობის კანონის თანახმად, პლანეტები ზუსტად კეპლერის კანონების მიხედვით არ მოძრაობდნენ, რადგან, მზის მიზიდულობის ძალის გარდა, ყოველი პლანეტა „შეშფოთებას“ განიცდის სხვა პლანეტების მხრიდან. ეს ეხება აგრეთვე დედამიწის ირგვლივ მთვარის მოძრაობასაც. ნიუტონისა და XVIII ს. დიდი მათემატიკოსების ლეონარდ ეილერის, ალექსის კლოდ კლეროს, ჟოზეფ ლუი ლაგრანჟის, პიერ სიმონ ლაპლასის (1749 — 1827) შრომებში ჩამოყალიბდა ცის მექანიკა—ასტრონომიის ნაწილი, რომელიც უზუსტესი მათემატიკური მეთოდების მეშვეობით შეისწავლის ცის სხეულთა მოძრაობას ყველა „შეშფოთების“ გათვალისწინებით.

XVI ს. მიწურულიდან, როცა ფიზიკამ დაკვირვებებისა და ცდების საფუძველზე იწყო განვითარება, განსაკუთრებული მნიშვნელობა მოიპოვა გამოკვლევებმა ოპტიკაში. ამან კი პირველი ტელესკოპების შექმნა გამოიწვია. გალილეო გალილეიმ ცისკენ მიმართა საკუთარი ხე-

ლით აგებული ტელესკოპი და მისი დახმარებით ბევრი რამ ღირსშესანიშნავი აღმოაჩინა. გამოირკვა, რომ ოპტიკური მინების გამოყენება განუზომლად აფართოებს ხილული სამყაროს საზღვრებს. ამის შემდეგ განუწყვეტლივ უმჯობესდებოდა ყველა სისტემისა და კონსტრუქციის ტელესკოპები. შემდგომში ამან გიგანტური ასტრონომიული ხელსაწყოების, რეფრაქტორებისა და რეფლექტორების შექმნამდე მიგვიყვანა, რამაც ფასდაუდებელი სამსახური გაუწია მეცნიერებას.

მიუხედავად ამისა, XIX ს. შუა წლებამდე ასტრონომიული მიღწევები მხოლოდ ცის სხეულების ფორმისა და მოძრაობის გამოკვლევით იფარგლებოდა. მათი ფიზიკური ბუნების შესახებ არსებითად ჯერ არაფერი იყო ცნობილი. მაგრამ როცა ფიზიკის წარმატებითი განვითარების შედეგად სპექტრული ანალიზი (იხ. სე, ტ. 3) და ფოტოგრაფია გაჩნდა, ასტრონომიაში ახალი ხანა დადგა. ცის სხეულების მიმართ სპექტრული ანალიზის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა არა მარტო შორეული ვარსკვლავების ქიმიური შედგენილობა გაგვეგო, არამედ ისიც დაგვედგინა, თუ რა მდგომარეობაში იმყოფება ესა თუ ის ელემენტი სხვადასხვა ვარსკვლავში. ხოლო რადგანაც სამყაროში ვარსკვლავთა მრავალი სახესხვაობა არსებობს — ისინი განირჩევიან ტემპერატურით, ბრწყინვალებით, სიდიდით, მასით — სპექტრულმა ანალიზმა ნივთიერების სხვადასხვაგვარი მდგომარეობის შეცნობის პერსპექტივა გაგვიხსნა, იმ მდგომარეობათა შეცნობისა, რომელთა შესწავლა დედამიწის პირობებში შეუძლებელია.

ასტრონომიას დიდი პერსპექტივები გაუხსნა ფოტოგრაფიამაც. ცის ამა თუ იმ უბნის, ცის ამა თუ იმ ობიექტის სხვადასხვა დროს გადაღებული სურათების შედარებამ საშუალება მოგვცა ცაზე ისეთი ცვლილებები შეგვემჩნია, რომლებიც ფოტოგრაფიის დაუხმარებლად შეუმჩნეველი დარჩებოდა.

სპექტრული ანალიზი და ფოტოგრაფია შემდგომშიც მჭიდრო ურთიერთკავშირში ვითარდებოდა. ფოტოგრაფიამ საშუალება მოგვცა ფირზე აღგვებეჭდა ცის სხეულების სპექტრები და მერე კი ლაბორატორიებში გამოგვეკვლია ისინი. ასე შეიქმნა ფიზიკის მიღწევათა საფუძველზე ასტრონომიის ახალი დარგი — ასტროფიზიკა, რომელმაც XIX ს. მიწურულისათვის საკმაო წარმატებებს მიაღწია.

XX ს. აღინიშნა უდიდესი მიღწევებით ფიზიკაში. აღმოაჩინეს ელექტრონები, რენტგენის სხივები, რადიოაქტიური მოვლენა, ელემენტების ცვალებადობა და გარდაქმნები. ზემოთ ჩამოთვლილმა და მრავალმა სხვა აღმოჩენამ გააღრმავა ცოდნა ნივთიერების ბუნების შესახებ.

ახალი აღმოჩენების შედეგად თანდათან გამოირკვა. რომ სამყაროში ნივთიერება ძლიერი გაიშვიათების, ზემკვრივობის, მეტისმეტად მაღალი ტემპერატურისა და სხვ. პირობებში შეიძლება ისეთ უჩვეულო მდგომარეობებში იმყოფებოდეს, როგორიც ადრე აზრადაც არავის მოსვლია.

მაგრამ ნივთიერების ასეთი მდგომარეობის შექმნა ლაბორატორიული ხერხებითა და ცდებით შეუძლებელია. ნივთიერების მრავალნაირი გარდაქმნები, მისი უჩვეულო თვისებების გამოვლინება გრანდიოზულ მასშტაბებში ხდება ვარსკვლავებსა და ნისლეულებში. მხოლოდ ამ პროცესების შესწავლით შეიძლება გავხსნათ ცის სხეულების წარმოშობისა და განვითარების საიდუმლოებანი. ეს უშუალოდ ასტრონომების ამოცანაა და ჩვენს დროში ისინი წარმატებითაც წყვეტენ მას. მაგრამ ამავე დროს ასეთი გამოკვლევები ამდიდრებს ფიზიკას. მართლაც, ყოველი ვარსკვლავი, იქნება ის კაშკაშა ზეგიგანტი, თეთრი ჯუჯა, ცვალებადი ვარსკვლავი — ცეფეიდი თუ სხვა ტიპის ვარსკვლავი — ვეებერთელა ფიზიკური ლაბორატორიაა, სადაც განუწყვეტლივ მიმდინარეობს ფიზიკური პროცესები და მოვლენები ისეთ მასშტაბებში, რაც დედამიწაზე წარმოუდგენელია.

XIX ს. მანძილზე და XX ს. დასაწყისში მეცნიერებისთვის გამოცანად რჩებოდა მზისა და ვარსკვლავების ენერგიის წყაროს საკითხი. თითქოსდა არ იყო ბუნებაში ისეთი ძალები, რის ხარჯზეც მილიარდი წლების მანძილზე მზის ენერგიის უზარმაზარი დანახარჯი უნდა შევსებულიყო. მრავალი ვარსკვლავი კი მზესთან შედარებით ათასჯერ მეტ ენერგიას გამოასხივებს. გამოირკვა, რომ ვარსკვლავების, მაშასადამე, მზის ენერგიის წყაროსაც ბირთვული რეაქციები, კერძოდ წყალბადის ჰელიუმად გარდაქმნის რეაქცია წარმოადგენს. ამ რეაქციების დროს თავისუფლდება და სივრცეში გამოსხივდება ენერგიის უზარმაზარი რაოდენობა. მზის სპექტრული გამოკვლევების დროს გამო-

ირკვა, რომ მზე (და სხვა ვარსკვლავებიც) ისეთი ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება, რომლებიც დიდი ხანია ცნობილია დედამიწაზე. მაგრამ მზეზე ამავე დროს აღმოაჩინეს იმ დროს დედამიწაზე უცნობი, წყალბადის შემდეგ ყველაზე მსუბუქი გაზი, რომელსაც ჰელიუმი უწოდეს (ბერძნულად მზე „ჰელიოს“). შემდეგ ჰელიუმი დედამიწაზე აღმოაჩინეს, მხოლოდ აქ ეს ნივთიერება უფრო მცირე რაოდენობით გვხვდება, მზეზე (და მრავალ ვარსკვლავშიც) კი ძალზე ბევრია, რადგან იქ წყალბადის მნიშვნელოვანი ნაწილი უკვე ჰელიუმადაა ქცეული.

ფიზიკის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა — შექმნას ისეთი ხელსაწყოები და დანადგარები, რომელთა დახმარებითაც შეიძლება განხორციელდეს „მართული“ ბირთვული რეაქციები და ჩვენი სურვილისამებრ გარდავქმნათ ერთი ელემენტი მეორე ელემენტად. ეჭვს გარეშეა, რომ ეს ახლო მომავალში განხორციელდება და კაცობრიობა მშვიდობიანი მიზნებისათვის იმდენ ენერგიას მიიღებს, რაზედაც ცოტა ხნის წინათ ოცნებაც კი არ შეიძლებოდა. და მაინც, კოსმოსური თვალსაზრისით, ეს ჩვენი პლანეტის მცირე მასშტაბებში იქნება. მზესა და ვარსკვლავებზე მსგავსი გარდაქმნები ისეთი რაოდენობით და ისეთი ტემპერატურების დროს მიმდინარეობს, რომელთა ხელოვნურად მიღება შორეულ მომავალში — მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების უბრწყინვალესი ტემპების დროსაც კი შეუძლებელი იქნება.

ასე შეისწავლიან და წყვეტენ ჩვენს დროში ასტრონომიის დახმარებით ფიზიკის პრობლემებს, ნივთიერების მდგომარეობისა და ქცევის საკითხებს ისეთ პირობებში, რომელთა მიღება ხელოვნურად მხოლოდ მომავალში შეიძლება ან, საერთოდ, შეუძლებელია.

XIX ს. მიწურულში რადიოს გამოგონებაც ფიზიკის ერთ-ერთი დიდი მიღწევა იყო. მან სწრაფად პოვა გამოყენება ტექნიკაში და შესაძლებელი გახადა შორ მანძილზე, მერე კი მთელ დედამიწის ზურგზე, უმავთულო კავშირის დამყარება. ახლა რადიოტალღებს, რომლებიც დედამიწაზე სამყაროს სიღრმეებიდან აღწევს, მძლავრი რადიოტელესკოპებით იჭერენ.

არასოდეს არ ყოფილა ისეთი მჭიდრო კავშირი ასტრონომიასა და ფიზიკას შორის, როგორიც დღეს არის, მაგრამ ეს არ ნიშნავს ასტრონომიისა და მათემატიკის ურთიერთკავშირის შესუსტებას. პირიქით, იგი კიდევ უფრო განმტკიცდა და გაძლიერდა. თანამედროვე ფიზიკა დაკავშირებულია არა მარტო ცდებსა და დაკვირვებებთან, არამედ რთულ მათემატიკურ გამოთვლებთანაც. თანამედროვე ცის მექანიკა წარმოუდგენელია რთული მათემატიკური გამოთვლების გარეშე. მაგალითად, ახლა ცნობილია 1600-ზე მეტი მცირე პლანეტა, აუცილებელია ყოველი მათგანისათვის გამოვითვალოთ ორბიტა და თვალყური ვადევნოთ მის მოძრაობას. ამასთან, უნდა გავითვალისწინოთ ყოველგვარი „შეშფოთებები“, რომლებიც სხვა პლანეტების ზემოქმედებითაა გამოწვეული. ასეთ სამუშაოებში ასტრონომიას ახლა დიდ დახმარებას უწევენ გამოთვლითი მანქანები.

განსაკუთრებით მრავალფეროვანია ჩვენს დროში ასტრონომიის კავშირი ტექნიკასთან ოდესღაც გამოჩენილი ასტრონომები, როგორებიც იყვნენ ჰერშელი, ჰეველიუსი, პარსონსი და ბევრი სხვა, ძალზე უმნიშვნელო ტექნიკური საშუალებებით დამოუკიდებლად ქმნიდნენ და აგებდნენ თავიანთ დიდ, იმ დროისათვის პირველხარისხოვან ტელესკოპებს. გაუმჯობესებული ოპტიკით აღჭურვილი თანამედროვე მძლავრი ტელესკოპი თავისი უახლესი აპარატურით სპექტრული გამოკვლევებისათვის, სხვადასხვა სხივებში ცის გადაღებისა და სხვა მრავალი გამოკვლევისათვის ურთულესი ნაგებობაა. მის შექმნასა და აგებაში მონაწილეობენ კონსტრუქტორები, ოპტიკოსები, მექანიკოსები, სხვადასხვა პროფესიის მუშები, ფიზიკოსები და ასტრონომები. იგივე შეიძლება ითქვას ნებისმიერ ასტრონომიულ თანამედროვე ხელსაწყოზეც.

მაგრამ არასოდეს და არსად ისე მჭიდროდ არ გამოვლინებულა ასტრონომიის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან, ტექნიკასთან, სახალხო მეურნეობასთან, როგორც ახლა, კოსმოსური სივრცის ათვისებისას.

თავისთავად კოსმოსური ხომალდი, რომელსაც ძალა შესწევს მილიონობით კილომეტრებზე იფრინოს და რომელიც უზრუნველყოფს მასში ადამიანების ხანგრძლივ ყოფნას, უმაღლესი ტექნიკის ქმნილებაა. მეცნიერებისა და ტექნიკის ტრიუმფია ის დიდი მიღწევა, რომ შესაძლებელია კოსმოსში ასეთი ხომალდის გაშვება საჭირო კოსმოსური სიჩქარით, რომელიც შესაძლებლობას მისცემს მას და-

ძლიოს დედამიწის მიზიდულობის ძალა. ამასთან, ხომალდი აღჭურვილია არა მარტო მართვისა და ასტრონავიგაციის ხელსაწყოებით, არამედ რადიოკავშირისა და ტელეხედვის საშუალებებით, რითაც ხორციელდება ურთიერთკავშირი ნებისმიერ საჭირო მანძილზე. აქ კოსმონავტიკის სამსახურში დგება ფიზიკისა და ტექნიკის მთელი მიღწევები. ამით როდი იფარგლება ასტრონომიის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან. კარგა ხანია დაისვა საკითხი ადამიანის სხვა პლანეტაზე გაფრენის შესახებ, რაც მოითხოვს კოსმოსურ სივრცეში ადამიანის სიცოცხლისუნარიანობის შესანარჩუნებლად საჭირო პირობების შექმნას. ამ პირობების შესწავლა კი ძალუძს ბიოლოგიასა და მედიცინას. ჩვენს თვალწინ ყალიბდება ამ მეცნიერებათა ახალი დარგები — კოსმოსური ბიოლოგია და კოსმოსური მედიცინა.

ამრიგად, თანამედროვე კოსმონავტიკა — ეს არის ბუნებისმეტყველებისა და ტექნიკის მრავალი დარგის შემოქმედებითი თანამშრომლობა. და ამ თანამშრომლობაში ასტრონომიას ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი უჭირავს. კოსმოსური ხომალდი დედამიწიდან ყოველთვის გარკვეული მიმართულებით იგზავნება და ეს მიმართულება ისე უნდა იყოს გაანგარიშებული, რომ ხომალდმა თავის მიზანს მიაღწიოს — მიფრინდეს იქ, სადაც საჭიროა. ხელოვნური ციური სხეულების მოძრაობის გამოთვლა ცის მექანიკის ახალი ნაწილია, მაშასადამე, ასტრონომების საქმეა. აქ ფართოდ იყენებენ გამოთვლით ტექნიკას. ასეთ სხეულებს ფრენისას გულდასმით უნდა დავაკვირდეთ და თვალყური ვადევნოთ იმას, თუ როგორ მიმდინარეობს ფრენა, — ესეც ასტრონომების საქმეა და ამისათვის ისინი მთელ შესაძლებლობებს იყენებენ.

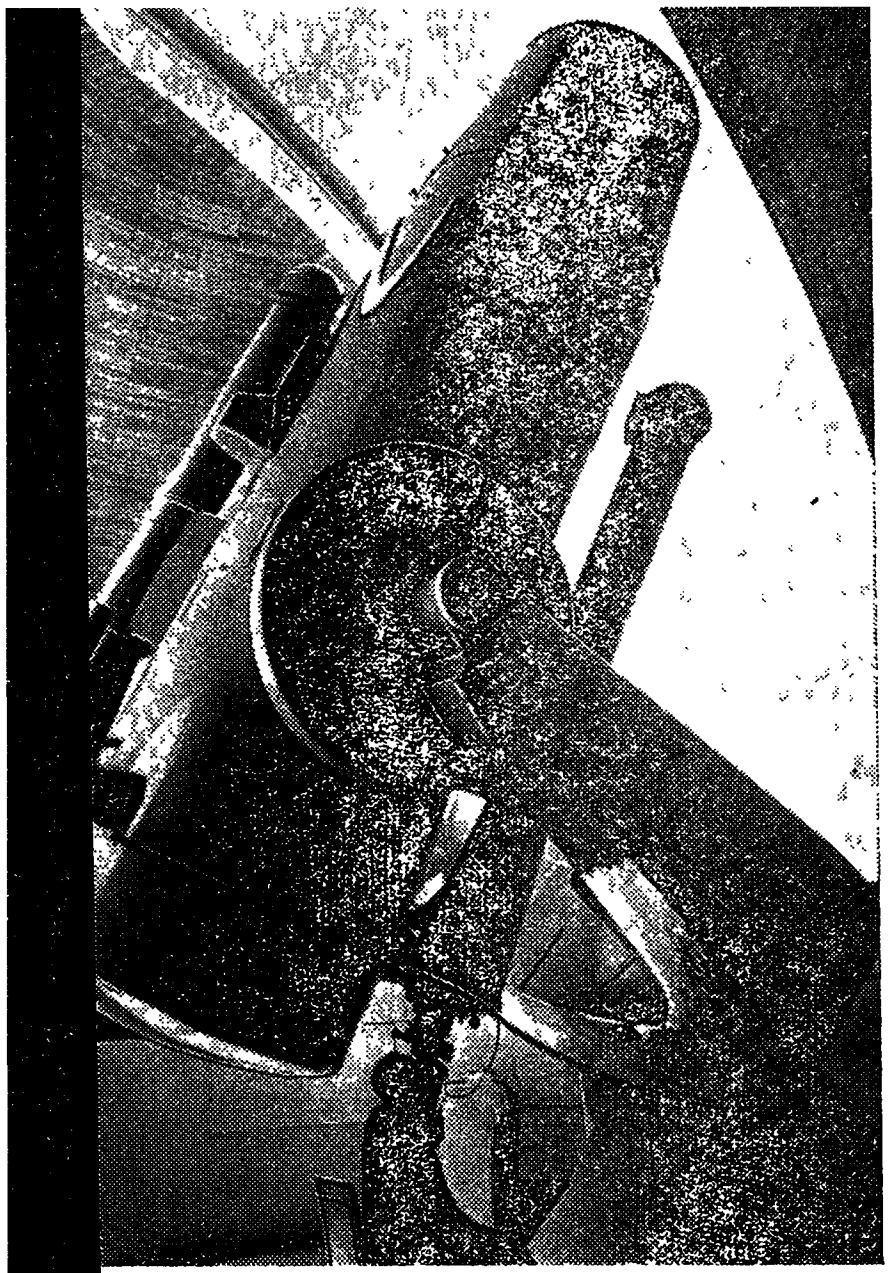
უშორესი წარსულიდანაა დაკავშირებული ასტრონომია გეოგრაფიასთან. დედამიწის ფორმისა და ზომების განსაზღვრა, გეოგრაფიული კოორდინატების გარკვევა, ორიენტირება ხმელეთსა და ზღვაზე — ყველაფერი ეს ყოველთვის სრულდებოდა და სრულდება ასტრონომიის დახმარებით.

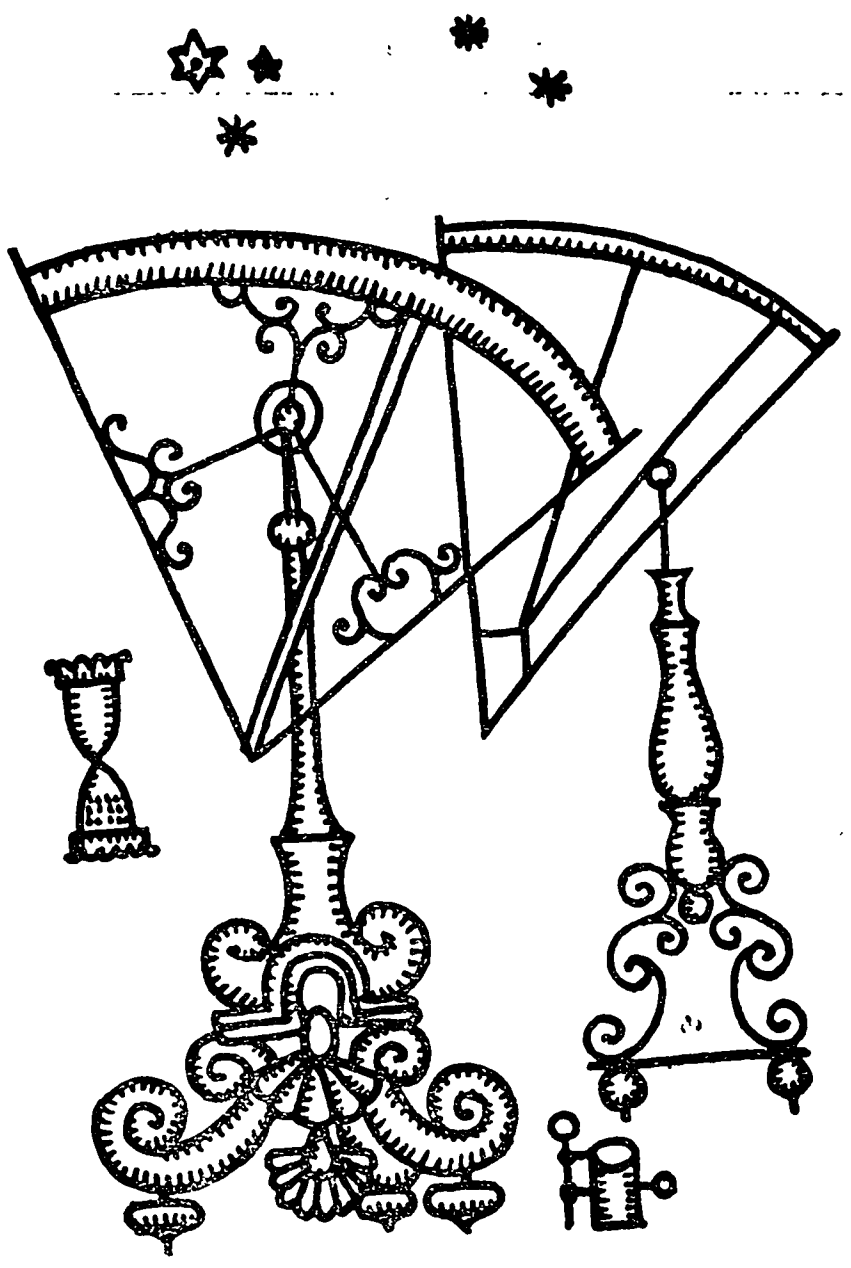
ასტრონომია დაკავშირებულია აგრეთვე კაცობრიობის შორეული ისტორიული წარსულის შესწავლასთან. უძველესი ხანის მრავალი მოვლენა მატიანეებსა და ლიტერატურულ ძეგლებში ნაწყვეტების სახითაა შემორჩენილი და ამ ნაწყვეტების მიხედვით შეუძლებელია იმის დადგენა, თუ როდის მოხდა ესა თუ ის მოვლენა. ხშირად სხვადასხვა ჩანაწერებში რომელიმე მოვლენის თარიღის შესახებ ურთიერთსაწინააღმდეგო მონაცემები გვხვდება. ასეთ შემთხვევებში ისტორიკოსებს ხშირად ასტრონომია ეხმარება.

ისტორიულ და ლიტერატურულ ძეგლებში ძველთაგანვე მოიხსენიება ისეთი სისტემატურად განმეორებადი მოვლენები, როგორიცაა მზისა და პლანეტების ხილული მოძრაობა, მთვარის ფაზები, მზისა და მთვარის დაბნელებანი. ასტრონომებს შეუძლიათ ზუსტად დაადგინონ ამ მოვლენების თარიღები, როგორც შორეული წარსულისთვის, ისე მომავლისთვისაც. დავუშვათ, რომ ჩანაწერებსა და გადმოცემებში აღნიშნულია, რომ ესა და ეს ბრძოლა, რომელმაც ამა თუ იმ ქვეყნისა და ხალხის ბედი გადაწყვიტა, მოხდა მზის სრული დაბნელების წინა დღით. ბრძოლის თარიღი აღნიშნული არ არის და რომ იყოს კიდეც, ხშირად ძნელია ჭეშმარიტების დადგენა, რადგან ძველად წელთაღრიცხვის მრავალი ურთიერთსაწინააღმდეგო სისტემა არსებობდა. მაგრამ თუ ასტრონომიული გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ მოცემულ ადგილზე მზის დაბნელება დაახლოებით იმ დროს მოხდა, რა დროსაც ეს ბრძოლა მიმდინარეობდა, მაშინ მისი თარიღი დაახლოებით კი არა, ზუსტად შეიძლება დადგინდეს.

ასტრონომიის დახმარებით წყდება აგრეთვე სახალხო მეურნეობის ბევრი სხვადასხვა ამოცანა.

ამრიგად, ასტრონომია მჭიდროდაა დაკავშირებული სხვა მეცნიერებებთან, ტექნიკასთან, პრაქტიკულ ცხოვრებასთან. მაშასადამე, ასტრონომიის ისტორიაც აგრეთვე მჭიდროდაა დაკავშირებული კაცობრიობის კულტურის მთელ ისტორიასთან. ამიტომ ასტრონომს ყოველთვის, განსაკუთრებით კი ჩვენს დროში, მოეთხოვება იყოს ყოველმხრივ განათლებული ადამიანი.





სამყაროს მკვლევარნი

მიხეილ ლომონოსოვი

თავის დროზე გალილეიმ და სხვა ასტრონომებმა, რომლებსაც უკვე ჰქონდათ ტელესკოპები, დაადასტურეს, რომ პლანეტებსაც, დედამიწის მსგავსად, სფეროსებრი ფორმა აქვთ. მაგრამ ემსგავსებიან თუ არა ისინი თავისი ფიზიკური აგებულებით დედამიწას, არის თუ არა რომელიმე მათგანზე დედამიწის მსგავსი ატმოსფერო, ეს დიდხანს გაურკვეველი იყო. დიდმა რუსმა მეცნიერმა მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვმა XVIII საუკუნის მეორე ნახევრის დასაწყისში დაამტკიცა, რომ ჩვენი მზის სისტემის ერთ-ერთ პლანეტაზე — ვენერაზე — არსებობს ატმოსფერო, რომელიც ალბათ დედამიწის ატმოსფეროზე უფრო მკვრივია.

თავისი შესანიშნავი აღმოჩენა ლომონოსოვმა 1761 წელს მოახდინა, როცა დედამიწასა და მზეს შორის ვენერას გავლას აკვირდებოდა. ამ მეტად იშვიათ მოვლენას, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა დაზუსტდეს მანძილი დედამიწიდან მზემდე, მრავალი ქვეყნის მეცნიერები აკვირდებოდნენ სპეციალურად მოწყობილ ექსპედიციებში. მაგრამ მხოლოდ ლომონოსოვმა შეძლო პეტერბურგში, საკუთარ სახლში, მცირე ზომის მილით დაკვირვებისას ვენერაზე ატმოსფერო შეენიშნა. მარტო ეს აღმოჩენა იქნებოდა საკმარისი, რომ მისი სახელი საუკუნეებს შემორჩენოდა.

ლომონოსოვი გახლდათ ცოდნის მრავალი დარ-

გის ფუძემდებელი, მან ბევრი რამ გააკეთა ფიზიკის, ქიმიის, გეოლოგიისა და მინერალოგიის განვითარებისათვის. ამავე დროს იგი იყო გამოჩენილი პოეტი, ისტორიკოსი, ფილოლოგი და თავისი დროის უდიდესი ასტრონომი.

ლომონოსოვის დროს კოპერნიკის მოძღვრება უკვე აღიარებული იყო რუსეთის მეცნიერებისა და სახელმწიფო ხელისუფლების მიერ. მაგრამ რუსული ეკლესია ჯერ კიდევ სასტიკ წინააღმდეგობას უწევდა სამყაროს აგებულების შესახებ სწორი წარმოდგენის გავრცელებას. განსაკუთრებით ვერ შერიგებოდა ეკლესია სამყაროში უამრავი დასახლებული პლანეტის არსებობის იდეას.

ლომონოსოვი მთელი სიცოცხლე დაუღალავად იბრძოდა რელიგიის, ჩამორჩენილობისა და უმეცრების წინააღმდეგ, მეცნიერების წინსვლისათვის. ის ამტკიცებდა, რომ სამყარო უსასრულოა და ასევე უსასრულოდ ბევრია მისი დასახლებული ადგილი, რომ ბუნებაში ყველაფერი იცვლება ისევე, როგორც ჩვენი დედამიწა.

ლომონოსოვი არა მარტო დიდი მეცნიერი, დიდი მამულიშვილიც იყო. მეცნიერებაში იგი ხედავდა უდიდეს ძალას, რომელსაც შეეძლო ხალხის ცხოვრების გაუმჯობესება. ლომონოსოვს მშვენივრად ესმოდა, რა დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ზღვაოსნობას საზღვაო საზღვრების მქონე უზარმაზარი რუსეთისათვის. მაგრამ შორეულ ნაოსნობაში გემი რომ სწორად ემართათ და უნაპირო ოკეანეში გზა არ აბნეოდათ, აუცილებელი იყო იმ ადგილების განედისა და გრძედის ცოდნა, სადაც გემს უნდა გაევლო. ამიტომ ლომონოსოვი განსაკუთრებულ ინტერესს ისეთი ხელსაწყოების გამომგონებლობისადმი იჩენდა, რომლებიც დაეხმარებოდნენ მეზღვაურებს ვარსკვლავების საშუალებით უკეთესად გაეგნოთ გზა და უდიდესი სიზუსტით განესაზღვრათ დრო. ის დიდ ყურადღებას აქცევდა იმას, რომ მეზღვაურებს საზღვაო საქმეში აუცილებელი ასტრონომიული ცოდნა ჰქონოდათ. მეზღვაურების დასახმარებლად ლომონოსოვმა გამოიგონა „ღამის სამზერი მილი“, რომლითაც შეიძლებოდა ღამით ზღვაზე გემებსა და კლდეებს დაკვირვებოდნენ. მაგრამ ეს სიახლე მიივიწყეს. მხოლოდ ჩვენს ეპოქაში დაიწყეს „ღამის სამზერი“ ჭოგრიტების გამოყენება; მათი დახმარებით შეიძლება თვალი ვადევნოთ ღამით თვით-

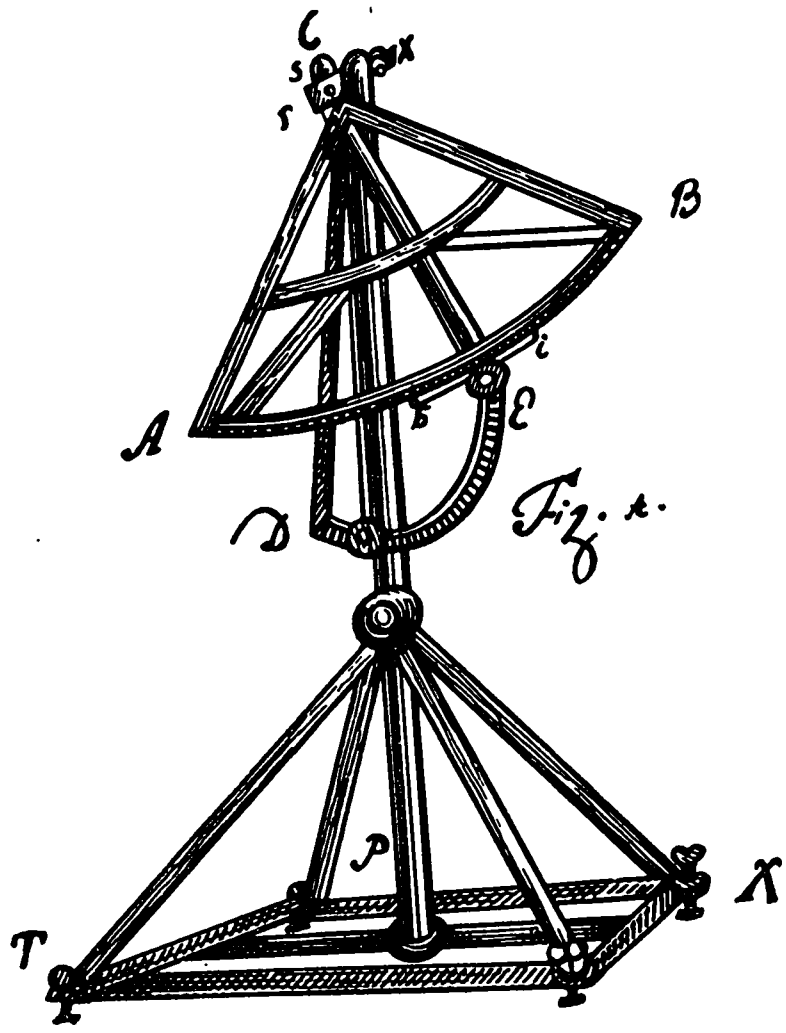


მ. ლომონოსოვი ასტრონომიული დაკვირვების დროს.

მფრინავების მოძრაობასა და სხვადასხვა ციურ მოვლენას.

ლომონოსოვი ცდილობდა ასტრონომები საუკეთესო ხელსაწყოებით შეეიარაღებინა, რომ ისინი უკეთ ჩასწვდომოდნენ სამყაროს საიდუმლოებას. მან შექმნა ახალი სახის ამრეკლავი ტელესკოპ-რეფლექტორი. ნიუტონის მიერ გამოგონებულ იმდროინდელ ტელესკოპ-რეფლექტორს ორი სარკე ჰქონდა. მეორე სარკე, რომელიც დახრილად მაგრდებოდა, გამოსახულების უფრო მოხერხებულად დასანახად იყო განკუთვნილი, მაგრამ ამ დროს გამოსახულება ნაკლებ კაშკაშა გამოდიოდა. ლომონოსოვის ტელესკოპში კი მხოლოდ ერთი, ასევე დახრილად დამაგრებული სარკე იყო. ის საგნის უფრო ნათელ გამოსახულებას იძლეოდა, რადგან სინათლე არ იკარგებოდა, როგორც მეორე სარკიდან არეკვლის დროს.

ლომონოსოვის დროს ჯერ კიდევ შეუცნობელი იყო მზის ფიზიკური ბუნება. ლომონოსოვმა მეცნიერებს შორის პირველმა ამოიცნო, რომ მზის



ლომონოსოვის ხელსაწყო
საშუადღეო ხაზის განსაზღვრისათვის.
(ნახატი მ. ლომონოსოვისა).

ზედაპირი წარმოადგენს აბობოქრებულ ცეცხლოვან ოკეანეს, სადაც „ქვებიც კი წყალივით დუღს“.

შეუცნობელი იყო კომეტების ბუნებაც. ლომონოსოვმა გამოთქვა გაბედული აზრი, რომ კომეტების კუდები მზიდან გამომდინარე ელექტრული ძალების მოქმედებით წარმოიქმნება. მოგვიანებით გამოირკვა, რომ კომეტების კუდები მართლაც მზის სხივების ზეგავლენით ჩნდება.

სიცოცხლის უკანასკნელ წლებში ლომონოსოვი უშუალოდ მივიდა ისეთი საკითხების გადაწყვეტამდე, როგორიცაა ვარსკვლავების სიკაშკაშის განსაზღვრა ხელსაწყოთი (რომლის შექმნაზეც თვითონ მუშაობდა) და ვარსკვლავებამდე ზუსტი მანძილების დადგენა. იმ დროს უკვე ცნობილი იყო, რომ ვარსკვლავებამდე მანძილები მზემდე და სხვა პლანეტებამდე მანძილებთან შედარებით ბევრად მეტი იყო, მაგრამ მათი ზუსტად განსაზღვრა არ ხერხდებოდა. ლომონოსოვი ახლოს მივიდა სამყაროს საიდუმლოებამდე, მაგრამ სიკვდილმა შეუშალა ხელი ბოლომდე მიეყვანა თავისი გამოკვლევები.

ლომონოსოვამდე, მის დროს და დიდხანს მის შემდეგაც, ასტრონომები შეისწავლიდნენ ცის სხეულების მხოლოდ ფორმასა და მოძრაობას. ლომონოსოვი იყო ერთ-ერთი პირველი ასტრონომი, რომელმაც განიზრახა ცის შორეული სხეულების — მზის, პლანეტების, კომეტების, უსასრულოდ შორეული ვარსკვლავების ჭეშმარიტი ფიზიკური ბუნების შესწავლა. ასტრონომიის პრაქტიკულ გამოყენებაზე არავინ არ ზრუნავდა ისე, როგორც ლომონოსოვი. მიხეილ ლომონოსოვი სამართლიანად ითვლება თავისი დროის ერთ-ერთ უდიდეს ასტრონომად.

უილიამ ჰერშელი

XVII საუკუნე აღინიშნა ასტრონომიის ბრწყინვალე მიღწევებით, რომლებიც დაკავშირებულია გალილეის, კეპლერის, ჰიუგენსის, ჰეველიუსის, ნიუტონისა და სხვა გამოჩენილი ასტრონომების აღმოჩენებთან. მაგრამ XVII და XVIII საუკუნეების მიჯნაზეც კი ასტრონომია მხოლოდ მზის სისტემის ცოდნით იფარგლებოდა. ვარსკვლავთა ბუნების, მათ შორის მანძილის, სივრცეში მათი განაწილებისა და მოძრაობების შესახებ ჯერ კიდევ არაფერი იცოდნენ. მხოლოდ XVIII ს. დასაწყისში ბევრი რამ გახდა ცნობილი. ინგლისელმა ასტრონომმა ე. ჰალეიმ (1656 — 1742) აღმოაჩინა სამი ვარსკვლავის მოძრაობა, შემდეგ აღმოაჩინეს ბევრი სხვა ვარსკვლავის მოძრაობაც.

მისმა თანამემამულემ — ასტრონომმა ჯ. ბრადლიმ (იხ. გვ. 376) ვარსკვლავებამდე მანძილები მართალია ზუსტად ვერ განსაზღვრა, მაგრამ იმ სწორ დასკვნამდე მივიდა, რომ უახლოესი ვარს-

კვლავებიც კი ჩვენგან მრავალი ათეული ტრილიონი კილომეტრითაა დაშორებული.

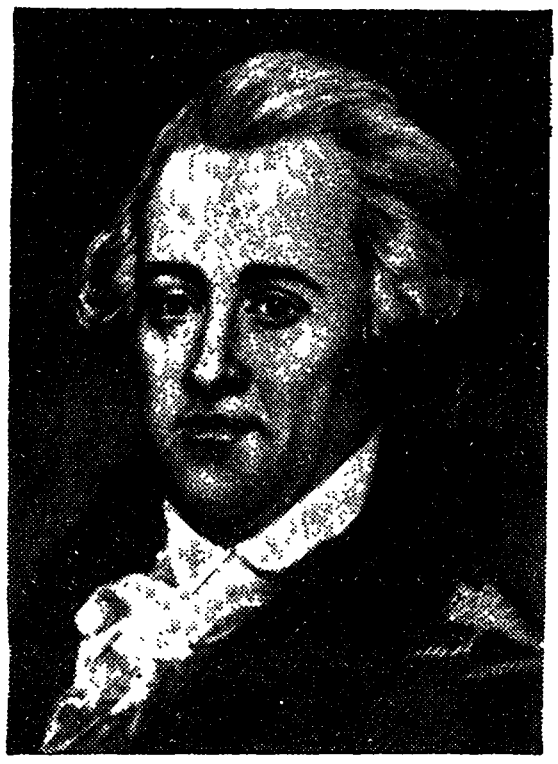
XVIII საუკუნის შუა წლებში ინგლისელმა მეცნიერმა ტ. რაიტმა (1711 — 1786), გერმანელმა მეცნიერებმა ე. კანტმა (1724 — 1804) და ი. ლამბერტმა (1728—1777) პირველებმა გამოთქვეს აზრი, რომ ირმის ნახტომი ვარსკვლავების შემთხვევითი თავშეყრა კი არა, მთლიანი სისტემაა, რომელშიც ვარსკვლავები მიზიდულობის საერთო ცენტრის ირგვლივ მოძრაობენ (ასეთ ცენტრს თითქოს ვეებერთელა „ცენტრალური მზე“ წარმოადგენდა).

მაგრამ ყველაფერი ეს ვარაუდი იყო, გაბედული და თავისი დროისათვის მნიშვნელოვანი, თუმცა ამ ვარაუდის განმტკიცება დაკვირვების მონაცემებით მაშინ შეუძლებელი იყო. ასტრონომების განკარგულებაში არსებული ტელესკოპები ამისათვის ჯერ კიდევ უმწეო იყო.

პირველი ცდები ვარსკვლავთ სამყაროს აგებულების საიდუმლოებაში ღრმად ჩაწვდომისა, რომლებიც შეძლებისდაგვარად ძლიერი ტელესკოპებით მიმდინარეობდა, დაკავშირებულია ცნობილი ასტრონომის უ. ჰერშელის (1738 — 1822) სახელთან.

ჰერშელი დაიბადა და გაიზარდა ჰანოვერში (გერმანია), სამხედრო მუსიკოსის ოჯახში. მუსიკაში ჰერშელს დიდი ნიჭი აღმოაჩნდა. ცხრამეტი წლისა ინგლისში გადასახლდა, სადაც მუსიკოს-პედაგოგის სახელი მოიხვეჭა. მაგრამ მუსიკა მხოლოდ პროფესია იყო და არა მისი მთავარი მოწოდება. ჰერშელი მთელ თავისუფალ დროს ასტრონომიის, მათემატიკისა და ფიზიკის შესწავლას ანდომებდა. ჯერ კიდევ ახალგაზრდა ჰერშელმა არაჩვეულებრივი ნიჭი გამოამჟღავნა ასტრონომიული ხელსაწყოების, განსაკუთრებით, ტელესკოპრეფლექტორების კონსტრუირებასა და დამზადებაში. ამ ხელსაწყოებისათვის იგი თვითონ აკეთებდა სარკეებს. პირველად ჰერშელმა დაამზადა პატარა ტელესკოპი, რომელსაც 2,1 მეტრის სიგრძის მილი ჰქონდა, შემდეგ კი უფრო და უფრო დიდი ზომის ტელესკოპებიც შექმნა. მისი ბრწყინვალე მიღწევა იყო 1789 წ. აგებული, იმ დროისათვის უდიდესი ტელესკოპი, რომელიც 12 მ. სიგრძის მილითა და 122 სანტიმეტრიანი დიამეტრის სარკით იყო აღჭურვილი. მას ბადალი არა ჰყავდა 1845 წლამდე, ვიდრე ირლანდიელმა ასტრონომმა ვ. პარსონსმა (1800 — 1867) კიდევ უფრო დიდი ტელესკოპი არ ააგო. ამ ტელესკოპს თითქმის 18 მ სიგრძისა და 183 სანტიმეტრიანი დიამეტრის სარკე ჰქონდა.

ჰერშელი უკვე 1775 წლიდან ცას სისტემატურად აკვირდებოდა, 1781 წელს აღმოაჩინა ახალი მნათობი, რომელიც თავდაპირველად შეცდომით კომეტა ეგონა, მაგრამ, როგორც იმავე წელს დაამტკიცეს პეტერბურგელმა ასტრონომმა აკადემიკოსმა ა. ლექსელმა და ფრანგმა მეცნიერმა ლაპლასმა, ეს იყო ახალი პლანეტა ურანი. მოგვიანებით ჰერშელმა აღმოაჩინა ურანის ორი და სატურნის ამდენივე თანამგზავრი. ამრიგად, ჰერშელის სახელთან დაკავშირებულია მზის სისტემაში რამდენიმე ციური სხეულის აღმოჩენა. მაგრამ მისი მოღვაწეობის მთავარი მნიშვნელობა ამით არ განისაზღვრება.



უილიამ ჰერშელი

ჰერშელამდეც იყო ცნობილი რამდენიმე ათეული ორჯერადი ვარსკვლავი, მაგრამ მათ ისე განიხილავდნენ, როგორც შემთხვევით დაახლოებულ ვარსკვლავებს.

მეცნიერების ისტორიაში ჰერშელი პირველი ასტრონომი იყო, რომელიც სისტემატურად შეისწავლიდა ორჯერად ვარსკვლავებს. იგი მრავალი წლის განმავლობაში დაწვრილებით იკვლევდა ცის სხვადასხვა უბნებს და 400-ზე მეტი ორჯერადი ვარსკვლავი აღმოაჩინა. გამოიკვლია აგრეთვე მან-

ძილები იმ ვარსკვლავებს შორის (კუთხურ ზომებში), მათი ფერი და ხილული სიკაშკაშე. ცალკეულ შემთხვევებში ვარსკვლავები, რომლებიც ადრე ორჯერადად მიაჩნდათ, სამჯერადი და ოთხჯერადი ვარსკვლავები (ჯერადი ვარსკვლავები) აღმოჩნდნენ. ჰერშელმა დაამტკიცა, რომ ორჯერადი და ჯერადი ვარსკვლავები ერთმანეთთან ფიზიკურად დაკავშირებულ ვარსკვლავთა სისტემებია და დარწმუნდა, რომ ისინი მსოფლიო მიზიდულობის კანონის თანახმად საერთო სიმძიმის ცენტრის ირგვლივ ბრუნავენ.

ჯერ კიდევ შორეული წარსულიდან იცნობდნენ ორიონის თანავარსკვლავედის კაშკაშა ნისლეულს და ანდრომედას თანავარსკვლავედის ნისლეულს, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალითაც ჩანან. მაგრამ მრავალი ნისლეული მხოლოდ XVIII საუკუნეში, ტელესკოპების სრულყოფასთან ერთად აღმოაჩინეს. კანტი და ლამბერტი ფიქრობდნენ, რომ ნისლეულები ვარსკვლავთა მთელი სისტემებია, მაგრამ ჩვენგან ისე შორს იმყოფებიან, რომ ცალკეული ვარსკვლავების გარჩევა შეუძლებელი ხდება.

ჰერშელმა ახალი ნისლეულების აღმოჩენისა და შესწავლისათვის დიდი მუშაობა ჩაატარა, რისთვისაც უფრო და უფრო სრულყოფილ თავისსავე ტელესკოპებს იყენებდა. საკმარისია ითქვას, რომ საკუთარი დაკვირვებების საფუძველზე შედგენილი მისი კატალოგები 2500-ზე მეტ ნისლეულს შეიცავს. მაგრამ ჰერშელის ამოცანას ნისლეულების უბრალო აღმოჩენა კი არა, მათი ბუნების ამოცნობა წარმოადგენდა. მის ძლიერ ტელესკოპებში მრავალ ნისლეულში გარკვევით გამოირჩეოდა ცალკეული ვარსკვლავები და, ამრიგად, გამოირკვა, რომ ისინი მზის სისტემიდან დაშორებული ვარსკვლავთა გროვებია. ზოგიერთ შემთხვევაში ნისლეული ვარსკვლავი აღმოჩნდებოდა ხოლმე, რომელსაც ირგვლივ ბურუსი ეხვია. ნისლეულების უმრავლესობა კი ყველაზე ძლიერ, 122 სანტიმეტრიან ტელესკოპშიც კი არ იყოფოდა ვარსკვლავებად.

თავდაპირველად ჰერშელმა დაასკვნა, რომ თითქმის ყველა ნისლეული სინამდვილეში ვარსკვლავთა ერთობლიობას წარმოადგენს და მათ შორის ყველაზე შორეულები მომავალში კიდევ უფრო ძლიერი ტელესკოპებით დაკვირვებისას აგრეთვე ვარსკვლავთ გროვები აღმოჩნდება. ამასთან იგი ფიქრობდა, რომ ამ ნისლეულთაგან ზოგიერთი — ირმის ნახტომის ზოლის გარეთ მდებარე — ვარსკვლავთ დამოუკიდებელი სისტემებია. შემდგომმა გამოკვლევებმა ჰერშელს საშუალება მისცა გაეღრმავებინა და შეევსო თავისი შეხედულებები. ნისლეულების სამყარო უფრო რთული და მრავალფეროვანი აღმოჩნდა, ვიდრე ეს წინათ შეიძლებოდა ევარაუდათ.

ჰერშელი დაუღალავად აგრძელებდა დაკვირვებებს და იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ ნისლეულებიდან ბევრი, საერთოდ, არ შეიძლება დაიშალოს ვარსკვლავებად, რადგანაც ისინი, როგორც ჰერშელი ფიქრობდა, შედგებიან ვარსკვლავებზე უფრო მეტად გაიშვიათებული ნივთიერებისაგან — „მნათი სითხისაგან“.

შემდეგში ჰერშელმა დაასკვნა, რომ ნისლოვანი ნივთიერება, ისევე, როგორც ვარსკვლავები, ფართოდაა გავრცელებული სამყაროში. ბუნებრივად იბადებოდა კითხვა სამყაროში ამ ნივთიერების როლის შესახებ.

ჯერ კიდევ 1755 წელს ე. კანტმა წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვით ვარსკვლავთა მთელი სისტემა თავდაპირველად არსებული გაბნეული ნივთიერებიდან შეიქმნა. კანტისაგან დამოუკიდებლად ჰერშელმა გამოთქვა გაბედული აზრი, რომ დაუშლელი ნისლეულების სხვადასხვა სახე ვარსკვლავთა წარმოშობის სხვადასხვა სტადიას წარმოადგენს. ნისლეულის შემჭიდროების გზით მისგან თანდათან წარმოიქმნება ან ვარსკვლავთა მთელი გროვა, ან ერთი ვარსკვლავი, რომელიც თავისი არსებობის დასაწყისში ჯერ კიდევ ნისლოვანი გარსითაა გარშემორტყმული. კანტის აზრით, ირმის ნახტომის ყველა ვარსკვლავი ოდესღაც ერთდროულად წარმოიშვა. ჰერშელმა კი პირველმა ივარაუდა, რომ ვარსკვლავებს სხვადასხვა ასაკი აქვს და ვარსკვლავთა წარმოშობა განუწყვეტლივ გრძელდება.

მაგრამ ჰერშელის იდეა დაივიწყეს და შორეულ წარსულში ყველა ვარსკვლავის ერთდროული წარმოშობის მცდარი აზრი დიდხანს ბატონობდა მეცნიერებაში. მხოლოდ XX საუკუნის უკანასკნელ ათეულ წლებში, ასტრონომიის უდიდესი მიღწევებისა და, განსაკუთრებით, საბჭოთა მეცნიერების შრომების საფუძველზე დადგინდა ვარსკვლავების ასაკის სხვადასხვაობა. შესწავლილია ვარსკვლავთა მთელი კლასები; ისინი უდავოა,

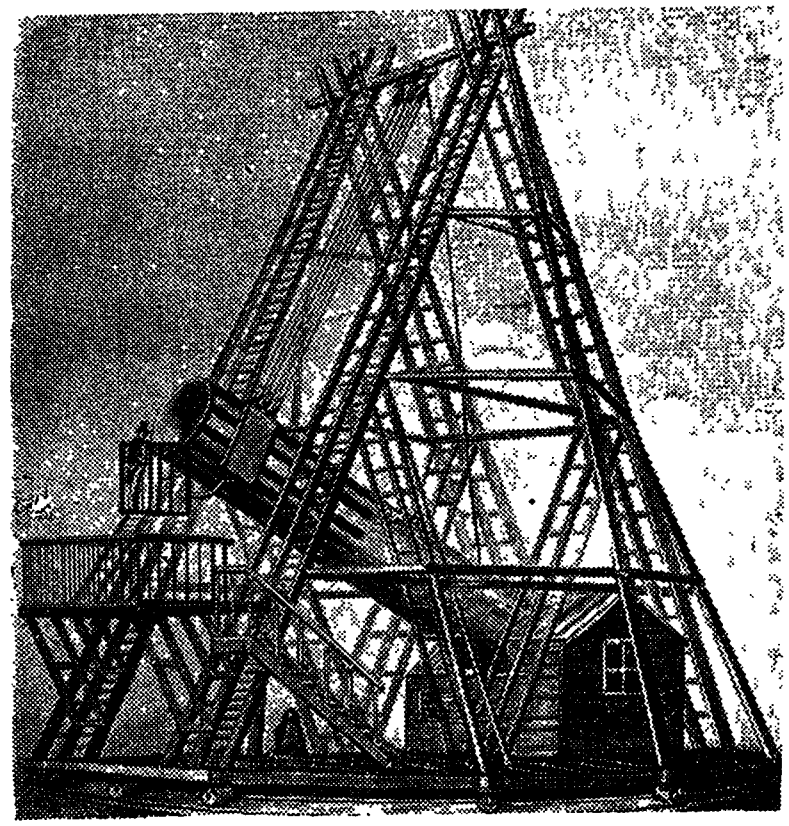
რამდენიმე მილიონი წელი არსებობენ სხვა ვარსკვლავებისაგან განსხვავებით, რომელთა ასაკი მილიარდი წლებით განისაზღვრება. ჰერშელის შეხედულებები ნისლეულთა ბუნებაზე ზოგადად დაადასტურა თანამედროვე მეცნიერებამ და დაადგინა, რომ გაზოვანი და მტვეროვანი ნისლეულები ფართოდაა გავრცელებული ჩვენსა და სხვა გალაქტიკებში. ამ ნისლეულების ბუნება კიდევ უფრო რთული აღმოჩნდა, ვიდრე ეს ჰერშელს შეეძლო ევარაუდა.

ჰერშელი თავისი სიცოცხლის ბოლო წლებშიც დარწმუნებული იყო, რომ ზოგიერთი ნისლეული წარმოადგენს ვარსკვლავთა შორეულ სისტემებს, რომელთა ვარსკვლავები გაუმჯობესებულ ტელესკოპებში შეიძლება ცალ-ცალკე დავინახოთ. ისევე როგორც კანტი და ლამბერტი, იგი ამაშიც მართალი აღმოჩნდა.

როგორც უკვე ითქვა, XVIII საუკუნეში მრავალი ვარსკვლავის საკუთარი მოძრაობა აღმოაჩინეს. 1783 წელს გამოთვლების საფუძველზე ჰერშელმა შეძლო დამაჯერებლად დაემტკიცებინა, რომ ჩვენი მზეც მთელი თავისი პლანეტებით ჰერკულესის თანავარსკვლავედის მიმართულებით მოძრაობს.

თავის მთავარ ამოცანად ჰერშელს ჩვენი გალაქტიკის აგებულების, მისი ფორმისა და ზომების გამორკვევა მიაჩნდა. ამ საკითხებზე ჰერშელი რამდენიმე ათეულ წელს მუშაობდა. მას მაშინ არ ჰქონდა მონაცემები არც ვარსკვლავებს შორის არსებული მანძილების, არც სივრცეში მათი განლაგების, არც მათი ბრწყინვალების შესახებ. ამიტომ იგი ვარაუდობდა, საშუალოდ ყველა ვარსკვლავს ერთი და იგივე ბრწყინვალება აქვს და ისინი სივრცეში დაახლოებით თანაბრადაა განაწილებული, ისე რომ მანძილები მათ შორის ცოტად თუ ბევრად ერთნაირია, მზე კი სისტემის ცენტრის მახლობლად იმყოფებაო. ამასთან ჰერშელმა არაფერი იცოდა სამყაროს სივრცეში სინათლის შთანთქმის მოვლენის შესახებ და, გარდა ამისა, ფიქრობდა, რომ მისი ტელესკოპისათვის (6 მ სიგრძე და 50 სმ დიამეტრის სარკე) გალაქტიკის ყველაზე უფრო შორეული ვარსკვლავებიც კი მისაწვდომი იყო. ამ ტელესკოპის დახმარებით ცის სხვადასხვა უბანში იგი ვარსკვლავებს ითვლიდა და ცდილობდა განესაზღვრა ამა თუ იმ მიმართულებით რამდენად შორს ვრცელდებოდა ჩვენი გალაქტიკა. ამ ხერხით ცდილობდა ჰერშელი გალაქტიკის ფორმისა და ზომების დადგენას.

მაგრამ ჰერშელის საწყისი მოსაზრებანი მცდარი იყო. ჩვენ ახლა ვიცით, რომ ვარსკვლავები ერთმანეთისაგან ბრწყინვალებით განირჩევიან და გალაქტიკაშიც არათანაბრად არიან განაწილებულნი. გალაქტიკა იმდენად დიდია, რომ მისი საზღვრები ჰერშელის ვეება ტელესკოპისათვისაც კი



ჰერშელის დიდი ტელესკოპი.

მიუწვდომელი იყო. ამის გამო მკვლევარს არ შეეძლო სწორი დასკვნა გამოეტანა გალაქტიკის ფორმისა და მასში მზის მდებარეობის შესახებ. ჰერშელის აზრით, მზე გალაქტიკის ცენტრთან ახლოს მდებარეობდა, სინამდვილეში კი იგი ცენტრიდან მეტად შორსაა.

გალაქტიკის ზომები ჰერშელმა ძალზე შეამცირა. მოგვიანებით, XIX საუკუნის 40-იან წლებში, ვ. სტრუვე ამ საკითხის ამოხსნას უფრო სწორად მიუდგა, მაგრამ სტრუვემ სამართლიანად დააფასა ჰერშელი, როგორც მისი წინამორბედი, როგორც პირველი ასტრონომი, რომელმაც ასეთი რთული ამოცანა დაისახა.

ჰერშელი ასტრონომიის სხვა საკითხებზეც მუშაობდა. სხვათა შორის, მან ამოიცნო მზის გა-

მოსხივების რთული ბუნება და დაასკვნა, რომ მის შემადგენლობაში შედის სინათლის, სითბოსა და ქიმიური სხივები (გამოსხივება, რომელსაც თვალი ვერ აღიქვამს). სხვანაირად რომ ვთქვათ, ჰერშელმა განჭვრიტა მზის ჩვეულებრივი სპექტრის საზღვრებს გარეთ მყოფი ინფრაწითელი და ულტრაიისფერი სხივების არსებობა.

ჰერშელმა ასტრონომიის სიყვარული თავის ნათესავებსა და ახლობლებსაც ჩაუნერგა. მისი და — კაროლინა ჰერშელი (1750 — 1848) — ეხმა და მას მეცნიერულ მუშაობაში, თვითონ ვირდებოდა ცას და რამდენიმე კომეტა აღმო ჰერშელის შვილი ჯონ ჰერშელი (1792 — 18 XIX საუკუნის ერთ-ერთი ყველაზე გამოჩ ინგლისელი ასტრონომი იყო. მისი პოპულ წიგნი „ასტრონომიის ნარკვევები“ რუსულ ითარგმნა და დიდად შეუწყო ხელი რუსეთში რონომიული ცოდნის გავრცელებას.

პიერ სიმონ ლაპლასი

სამყაროს შემსწავლელი მეცნიერების ისტორიაში XVIII საუკუნე მათემატიკური ასტრონომიის განვითარების საუკუნეა. კეპლერის კანონები და ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ასტრონომიის, როგორც მეცნიერების, საფუძველი გახდა. ურყევ ჭეშმარიტებად იქცა ის, რომ მსოფლიო მიზიდულობის კანონისა და კეპლერის კანონების შესაბამისად პლანეტები მზის ირგვლივ გარემოიქცევიან, თანამგზავრები კი პლანეტების ირგვლივ დაახლოებით ელიფსურ ორბიტებზე მოძრაობენ.

მაგრამ ასტრონომიული დაკვირვებები უჩვენებდნენ, რომ პლანეტებისა და მათი თანამგზავრების, მათ შორის დედამიწის თანამგზავრის — მთვარის მოძრაობა სინამდვილეში ბევრად უფრო რთულია. მზის სისტემის თვითეული სხეული მიზიდულობის საკუთარი ცენტრის ირგვლივ (როგორსაც წარმოადგენს მზე პლანეტებისათვის, დედამიწა—მთვარისათვის ანდა სხვა პლანეტა თავისი თანამგზავრებისათვის) ბრუნვის დროს განიცდის არა მარტო მთელი სისტემის მბრძანებლის — მზის — ძლიერ მიზიდულობას, არამედ ამავე სისტემის ყველა სხვა სხეულის მიზიდულობასაც. ამრიგად, თვითეული ამ სხეულის მოძრაობაში შეიმჩნევა „შეშფოთებები“ — გადახრები კეპლერის კანონებით გათვალისწინებული მოძრაობებიდან.

XVIII საუკუნის პირველ ნახევარსა და მეორე ნახევრის დასაწყისში რუსმა მათემატიკოსმა, აკადემიკოსმა, წარმოშობით შვეიცარიელმა, ეილერმა (1707 — 1783), ფრანგმა მათემატიკოსებმა რომ (1713—1765) და დ'ალამბერმა (1717—1 დაამუშავეს მთვარის რთული მოძრაობის რია, გამოიკვლიეს ზოგიერთი პლანეტის რაობა და შექმნეს „შეშფოთებათა“ გათვალ ბის ახალი მეთოდები. ასეთივე სამუშაო ჩ ამ საუკუნის მეორე ნახევარში ფრანგმა მატიკოსმა ლაგრანჟმა (1736—1813). აუცილ იყო, ეს გამოკვლევები მთლიანად მზის მაზე განევრცოთ და ეჩვენებინათ, რ სისტემის ყველა სხეულის მოძრაობა, მი ვად მათი უდიდესი სირთულისა, ემორ ზოგად კანონზომიერებებს, რომელთა ურ ფუძველს მიზიდულობის კანონი წარმოადგ ამოცანა გადაწყვიტა დიდმა ფრანგმა მათ კოსმა და ასტრონომმა პიერ სიმონ ლა (1749 — 1827).

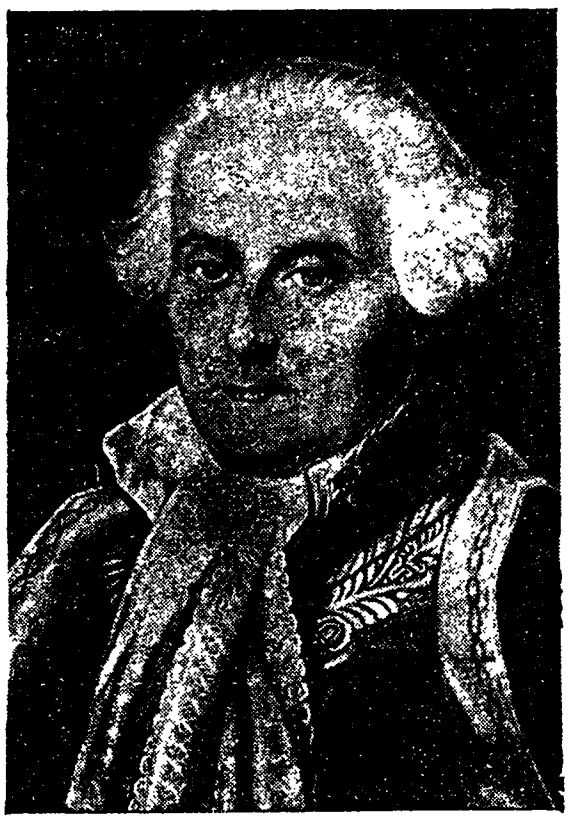
ლაპლასი ნორმანდიაში — საფრანგეთის ლო-დასავლეთით მდებარე ოლქში — დაიბ გლეხი-ფერმერის შვილი იყო და დიდი გაჭი მოახერხა ელემენტარული განათლების ლაპლასს განსაკუთრებით იზიდავდა ზუსტი ერებები და დამოუკიდებლად შეისწავლა მატიკა, მექანიკა და ასტრონომია. მისი სამე ინტერესები თავიდანვე მიიპყრო ცის მე რომელსაც მზის სისტემის სხეულთა მოძრა შემჩნეული კანონზომიერებები უნდა აეხსნა გაზრდა ლაპლასს ამ ხაზით შესრულებულ ველივე შრომებმა გაუთქვა სახელი მეც წრეში. პარიზში გადასვლის შემდეგ ლაპლა

ხანგრძლივი სიცოცხლე ცის მექანიკაში მეცნიერულ მუშაობას მიუძღვნა.

ლაპლასის მეცნიერული მოღვაწეობის მწვერვალი წარმოადგენდა უკვდავი ნაშრომი „ტრაქტატი მექანიკის შესახებ“, რომელიც 1798 — 1825 წლებში ხუთ ტომად გამოვიდა. ამ შრომაში, რომელიც ურთულეს მათემატიკურ გამოთვლებზე დაფუძნებული, ლაპლასმა გვიჩვენა: რა რთული და დახლართულიც არ უნდა იყოს მზის სისტემის სხეულთა მოძრაობა, ისინი მაინც მიზიდულობის კანონიდან გამომდინარე ერთიანი და მთლიანი მათემატიკური კანონზომიერებითაა განპირობებული. ლაპლასმა დაწვრილებით გამოიკვლია მთვარის, იუპიტერისა და სატურნის მოძრაობაში შემჩნეული „შეშფოთებანი“ და მეცნიერულად ახსნა ისინი. მან უჩვენა, რომ მზის სისტემა მეტად მდგრადია. ამ სისტემის აღმოცენების დროიდან მასში შემავალი სხეულები მოძრაობენ მხოლოდ მცირე ცვლილებებით და ასევე იქნება მომავალშიც, მილიონობით და მილიარდობით წლების განმავლობაში. მზის სისტემის გარეთ არ არსებობს ისეთი ძალები, რომლებსაც შეეძლოს მისი დარღვევა და მასში შემავალი ციური სხეულების, მათ შორის დედამიწის, მოძრაობის კანონზომიერების შეცვლა.

ლაპლასი იყო არა მარტო დიდი მკვლევარი-მათემატიკოსი, არამედ ბრწყინვალე მწერალი-პოპულარიზატორიც. ყველაფერი, რაც მის დროს ცნობილი მზის სისტემის აგებულების შესახებ, საკუთარი გამოკვლევების ჩათვლით, მან გადმოსცა 1796 წელს გამოცემულ პოპულარულ ნაშრომში „სამყაროს სისტემის აღწერა“, რომელმაც დიდად გაუთქვა მას სახელი. ამ ნაშრომში ლაპლასი მზის სისტემის წარმოშობის შესახებ თავისი მოსაზრებებიც მოგვაწოდა.

XVIII საუკუნის შუა წლებამდე მეცნიერებაში გაბატონებული იყო აზრი, რომ დედამიწა და ყველა ციური სხეული, ერთი სიტყვით ბუნება, თავიდან შეიქმნის შემდეგ პირვანდელი სახით, ყოველგვარი ცვლილებების გარეშე არსებობს. ამ აზრის შუა წლებში მ. ლომონოსოვმა და კანტმა პირველად გამოთქვეს აზრი ბუნების განვითარებადობის შესახებ. სამყაროში არაფერია მარადიული. მზე, დედამიწა, პლანეტები, ცის ყველა დანარჩენი სხეული ოდესღაც წარმოიშვა ნივთიერების რაღაც სხვა ფორმებიდან და მას შემდეგ განუწყვეტლივ ვითარდება და იცვლება. ისინი წარმოიშვნენ მილიონი, ან შეიძლება მრავალი მილიარდი წლის წინათ და არა რამდენიმე ათასი წლის წინ, როგორც ამას რელიგიურ ლეგენდებში ამტკიცებდნენ.



პიერ სიმონ ლაპლასი.

კანტმა წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომ ვარსკვლავები, მათ ირგვლივ პლანეტები და ვარსკვლავთა მთელი სისტემები წარმოიშვა გაბნეული მატერიიდან, რომელიც ოდესღაც მთელ უსასრულო სამყაროს მოიცავდა. მაგრამ კანტი მათემატიკოსი არ იყო და თავისი ჰიპოთეზის რაიმე გამოთვლებით დასაბუთება არ შეეძლო. წიგნი, რომელშიც გადმოცემული იყო მისი შეხედულებები სამყაროს აგებულებისა და განვითარების შესახებ, თავის დროზე ფართოდ ვერ გავრცელდა.

ლაპლასმა არაფერი იცოდა კანტის შრომის შესახებ. მან სრულიად დამოუკიდებლად დაამუშავა თავისი ჰიპოთეზა, რომელსაც შემდეგ ლაპლასის კოსმოგონიური ჰიპოთეზა ეწოდა. კანტისაგან განსხვავებით, ლაპლასს სურდა გამოერკვია არა საერთოდ ვარსკვლავთა სისტემების, არამედ, კერძოდ, მზის სისტემის წარმოშობა. მაგრამ რამდენადაც მზე ერთ-ერთი ვარსკვლავია, ის ფიქრობდა, რომ სხვა ვარსკვლავებიც და მათი

გარემომცველი პლანეტებიც სწორედ ისევე წარმოიშვა, როგორც მზე. ლაპლასის ჰიპოთეზის თანახმად მზის სისტემა წარმოიშვა პირველადი ნისლეულისაგან.

ლაპლასი ცდილობდა, შეექმნა მზის სისტემის წარმოშობის ისეთი ჰიპოთეზა, რომელიც ახსნიდა მასში შენიშნულ ყველა მოვლენასა და კანონზომიერებას. თავისი დროისათვის მან ბრწყინვალედ გადაჭრა ეს ამოცანა. მისი ჰიპოთეზა მეცნიერებაში მთელი საუკუნის განმავლობაში საყოველთაოდ იყო აღიარებული. XIX საუკუნის ბოლოსათვის კი ლაპლასის ჰიპოთეზა მზის სისტემაში ახლად აღმოჩენილ კანონზომიერებებს ეწინააღმდეგებოდა და ამიტომ იგი დაივიწყეს. მაგრამ ლაპლასისა და კანტის ძირითად აზრს იმის შესახებ, რომ ვარსკვლავები (მათ შორის მზეც) და პლანეტები სამყაროში ურიცხვი გაზოვანი და მტვეროვანი ნისლეულების სახით არსებული გაბნეული მატერიისაგან წარმოიშვა, თანამედროვე მეცნიერებაც იზიარებს.

ლაპლასის მოღვაწეობა მათემატიკისა და ასტრონომიის საზღვრებსაც სცილდებოდა. საფრანგეთის დიდი რევოლუციის წლებში იგი აქტიურად მონაწილეობდა ზომათა მეტრული სისტემის შემუშავებასა და სახალხო განათლების რეფორმის მომზადებაში.

ლაპლასი მეცნიერი-მატერიალისტი იყო. გადმოცემის თანახმად, როცა ნაპოლეონი ლაპლასის ნაშრომს „სამყაროს სისტემის აღწერას“ გასცნობია, უკითხავს, რატომ არ არის ნახსენები ამ ნაშრომში ღმერთიო. ლაპლასს უპასუხნია, რომ მის სისტემას „არ ესაჭიროებოდა ეს ჰიპოთეზა“. ამით ლაპლასი ამტკიცებდა, რომ ბუნებაში ყველა მოვლენა თვით ბუნების კანონებით აიხსნება და სრულიად არ არის აუცილებელი მათ ასახსნელად რაღაც ღვთაებრივი ძალების მოშველიება.

ჯემს ბრადლი

XVIII ს. დასაწყისში ინგლისელმა ასტრონომმა ე. ჰალეიმ აღმოაჩინა და დაადგინა, რომ ვარსკვლავები, რომლებიც უძველესი ხანიდან უმოძრაოდ ითვლებოდნენ, სინამდვილეში სივრცეში მოძრაობენ. მართალია, ჰალეიმ ასეთი მოძრაობა მხოლოდ სამი ვარსკვლავისათვის დაადგინა, მაგრამ სულ მალე ეს შეხედულება ბევრ სხვა ვარსკვლავზეც გავრცელდა. და თითქმის ეჭვსაც აღარ იწვევდა, რომ მსოფლიო სივრცის სიღრმეებში ყველა ვარსკვლავი მოძრაობდა.

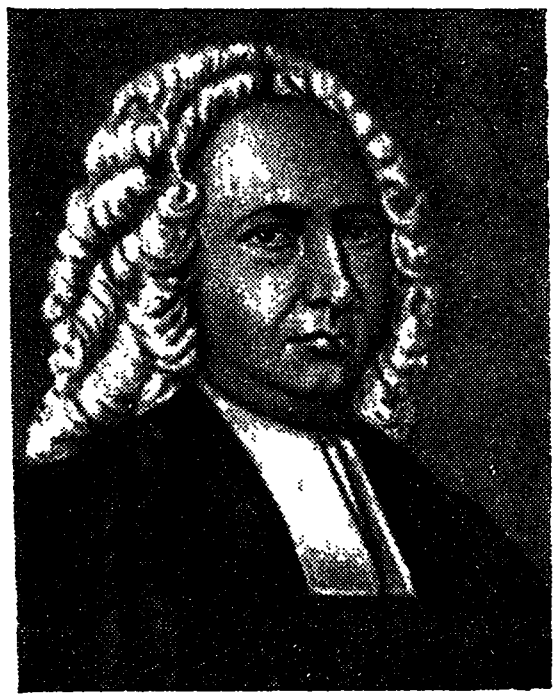
ასტრონომებში ეჭვს არ იწვევდა ისიც, რომ ვარსკვლავები მზის სისტემიდან სხვადასხვა მანძილით არიან დაშორებულნი და რომ მანძილები უახლოეს ვარსკვლავებამდეც კი წარმოუდგენლად დიდია.

მაგრამ მათი დადგენა შეუძლებელი ხდებოდა— ძალზე მცირე იყო ვარსკვლავთა პარალაქსები[1] — და მათი გაზომვა შეუძლებელი იყო. XVIII ს. ასტრონომების წინაშე დადგა მნიშვნელოვანი ამოცანა — დაკვირვებებში მიეღწიათ ისეთი სიზუსტისათვის, რაც ვარსკვლავებამდე მანძილების დადგენისა და მათი მოძრაობების შესწავლის საშუალებას მისცემდათ. ეს შექმნიდა საფუძველს ვარსკვლავიერი სამყაროს აგებულების გარკვევისათვის, რაშიც ასტრონომები სწორად ხედავდნენ თავიანთ მთავარ მიზანს.

ვარსკვლავებამდე მანძილის დადგენაში მეცნიერება ბევრადაა დავალებული ინგლისელი ასტრონომის ჯემს ბრადლისაგან (1693 — 1762).

ბრადლი ჯერ კიდევ სიჭაბუკის წლებში გაიტაცა ასტრონომიამ და შეისწავლა იგი თავისი ბიძის — იმ დროს ცნობილი ასტრონომის პაუნდის ხელმძღვანელობით. მოგვიანებით, როცა ბრადლი უკვე ოქსფორდის უნივერსიტეტის პროფესორი იყო, მას გადაეცა პაუნდის მიერ უანსტეტში დაარსებული ობსერვატორია. 1740 წლიდან, ჰალეის შემდეგ, ბრადლი გრინვიჩის უძველეს ინგლისურ ობსერვატორიას ჩაუდგა სათავეში.

[1] პარალაქსი ვარსკვლავთან მდებარე კუთხეა, რომლითაც ვარსკვლავიდან დედამიწის ორბიტის რადიუსი (149 500 ათასი კმ) გამოჩნდებოდა. პარალაქსის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ მანძილი ვარსკვლავამდე.



ჯემს ბრადლი.

მაგრამ ბევრი თავისი მნიშვნელოვანი დაკვირვება ბრადლიმ 20 და 30-იან წლებში უანსტეტში ჩაატარა.

დიდხანს და ჯიუტად აკვირდებოდა ბრადლი გველეშაპის გამა ვარსკვლავს, სურდა მისი პარალაქსი დაედგინა. მან შენიშნა ამ ვარსკვლავის პერიოდული გადაადგილება, მაგრამ ეს არ ჰგავდა პარალაქსურ გადაადგილებას. ხანგრძლივი განმეორებითი დაკვირვებებისა და მსჯელობის შემდეგ ბრადლი დასკვნამდე მივიდა, რომ აღმოაჩინა აბერაციის მოვლენა — ვარსკვლავის ხილული მდებარეობის შეცვლა, რომელიც მზის ირგვლივ დედამიწისა და მასთან ერთად დამკვირვებლის მოძრაობის გამო ხდებოდა.

ამ დროისათვის კოპერნიკის მოძღვრება მეცნიერებაში უკვე კარგა ხნის გაბატონებული იყო. მას ადასტურებდა ასტრონომიის მთელი განვითარება. მაგრამ აბერაციის აღმოჩენა იყო დედამიწის მოძრაობისა და მასთან ერთად კოპერნიკის მოძღვრების ჭეშმარიტების პირდაპირი დადასტურება.

თუმცა ბრადლიმ ვერ შეძლო ვარსკვლავის პარალაქსის გაზომვა (ეს მხოლოდ ვ. სტრუვემ განახორციელა ასი წლის შემდეგ), მაგრამ იგი მტკიცედ მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ უახლოეს ვარსკვლავებსაც კი 1″,0-ზე ნაკლები პარალაქსები აქვს, მაშასადამე, მათი მანძილებიც ათეულ ტრილიონ კილომეტრებს შეადგენს.

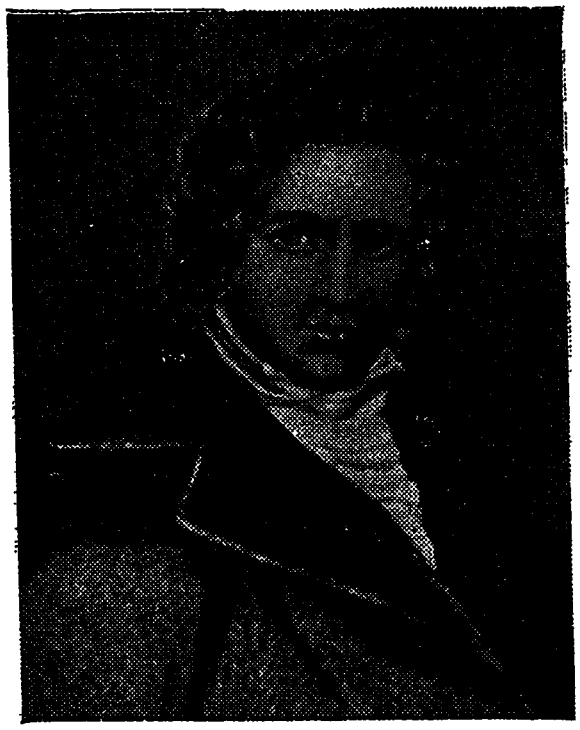
მოგვიანებით გრინვიჩში ბრადლი კაშკაშა ვარსკვლავების მდებარეობებს საზღვრავდა და თავის წინამორბედებთან შედარებით დიდ სიზუსტესაც მიაღწია. ბრადლის ეს დაკვირვებები მომდევნო მკვლევარებისთვის უძვირფასეს მასალებად იქცა. ყველაზე გამოჩენილი ამ მეცნიერთაგან იყო გერმანელი ასტრონომი ფრიდრიხ ვილჰელმ ბესელი (1784 — 1846).

ფრიდრიხ ვილჰელმ ბესელი

თავისი ცხოვრების გზა ბესელმა, მიუნჰენის მკვიდრმა, წვრილი სავაჭრო მოხელეობით დაიწყო. მუყაითად სწავლობდა დამოუკიდებლად და მალე წარმატებით დაეუფლა მათემატიკასა და ასტრონომიას, რომელიც შემდგომ თავის სპეციალობად აირჩია. 20 წლის ჭაბუკმა დამოუკიდებლად გამოთვალა ჰალეის კომეტის ორბიტა.

დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ბესელისთვის ბრემენელ ექიმთან, ჰაინრიხ ოლბერსთან (1758—1840) ნაცნობობას. ოლბერსმა ჯერ კიდევ სიჭაბუკეში შეიყვარა ასტრონომია, შემდეგ კი თავისი დროის ერთ-ერთი დიდი ასტრონომი იყო. მისი რეკომენდაციით ბესელი მეორე დიდი ასტრონომიის მოყვარულის იოჰან შრეტერის (1745—1816) ასისტენტი გახდა. ბრემენის ახლოს, ქალაქ ლილიენტალში, სადაც მოსამართლის თანამდებობა ეკავა, შრეტერმა აიშენა ობსერვატორია და მალე მთვარესა და პლანეტებზე თავისი დაკვირვებებით ფართოდ გაითქვა სახელი. ბესელი შრეტერის ობსერვატორიაში მუშაობისას მხოლოდ ვარსკვლავებზე დაკვირვებას აწარმოებდა. ამ მხრივ მისი მეცადინეობა ისეთი წარმატებით მიმდინარეობდა, რომ მალე ბრწყინვალე ასტრონომ-დამკვირვებლისა და გამომთვლელ-მათემატიკოსის სახელი მოიპოვა.

1810 წელს ბესელი კენიგსბერგის უნივერსიტეტის ასტრონომიის პროფესორი გახდა. მისი



ფრიდრიხ ვილჰელმ ბესელი.

ხელმძღვანელობით აქ ობსერვატორია გაშენდა, და ამ ობსერვატორიის დირექტორიც თვითონ იყო სიცოცხლის უკანასკნელ დღემდე.

ბესელმა დაამუშავა ვარსკვლავებზე დაკვირვებანი, რომლებიც ბრადლიმ თავის დროზე გრინვიჩში ჩაატარა. მან ამოცანად დაისახა „გაეთავისუფლებინა“ ეს დაკვირვებანი მასში არსებული ყოველგვარი შეცდომისაგან.

ასტრონომიული დაკვირვებების დროს კი ასეთი შეცდომები გარდუვალია. ამას იწვევს არასრულყოფილი ხელსაწყოები, დედამიწის ატმოსფეროში შექმნილი ყოველგვარი დაბრკოლება, თვით დამკვირვებლის მხედველობისა და ნერვული სისტემის თავისებურებანი. ეს შეცდომები ძალზე მოქმედებს დაკვირვებათა შედეგებზე. მაგრამ თუ აღმოვაჩენთ მათ, გულდასმით შევისწავლით და შევასწორებთ დაკვირვებებით მიღებულ მონაცემებს, შეიძლება ძალზე დიდ სიზუსტეს მივაღწიოთ. ასტრონომები ადრეც ცდილობდნენ აეცილებინათ დაკვირვებების დროს ეს შეცდომები, მაგრამ ბესელმა დაამუშავა დაკვირვებათა შესწორების მათემატიკური მეთოდები, გამოიყენა ისინი ბრადლის დაკვირვებებზე და გამოსცა 3200 ვარსკვლავის კატალოგის სახით. შემდგომ ბესელი თვითონ აკვირდებოდა ვარსკვლავთ მდებარეობებს. მან განსაზღვრა 75 ათასი ვარსკვლავის მდებარეობა და შექმნა ვარსკვლავთ უზარმაზარი კატალოგები, რომლებიც ვარსკვლავიერი ცის შესწავლას დაედო საფუძვლად.

ბესელმა, ერთ-ერთმა პირველმა ასტრონომებს შორის, გაზომა პარალაქსი და ამით ვარსკვლავამდე მანძილი დაადგინა. ვ. სტრუვეს შემდეგ, რომელმაც 1835 — 1837 წწ. პირველად განსაზღვრა მანძილი ვარსკვლავ ვეგამდე (ლირას თანავარსკვლავედი), ბესელმა 1838 წ. გაზომა მანძილი გედის თანავარსკვლავედის 61-ე ვარსკვლავამდე, რომელიც ერთ-ერთი უახლოესი ვარსკვლავი აღმოჩნდა მზის სისტემასთან.

ვარსკვლავთა საკუთარი მოძრაობის შესწავლისას ბესელმა კაშკაშა ვარსკვლავების: სირიუსისა და პროციონის მოძრაობაში აღმოაჩინა თავისებურებანი, რომელთა ახსნა მხოლოდ იმით შეიძლებოდა, რომ ამ ვარსკვლავებს ჰყავთ თანამგზავრები. ეს თანამგზავრები იმდენად მკრთალად ანათებენ, რომ მათი დანახვა იმდროინდელ ტელესკოპებში შეუძლებელი იყო. მოგვიანებით ისინიც აღმოაჩინეს.

ბესელი მეცნიერების ისტორიაში შევიდა, როგორც შესანიშნავი მეცნიერი, რომელმაც მთელი თავისი ძალა და ნიჭი ასტრონომიული დაკვირვებების მეთოდების გაუმჯობესებას შეალია.

ვასილ იაკობის ძე სტრუვე

თანამედროვე მოწინავე მეცნიერებამ დიდი წარმატებები მოიპოვა სამყაროს სივრცეთა შესწავლაში. დადგენილია, რომ ჩვენი მზე შედის ვარსკვლავთა უზარმაზარ სისტემაში — გალაქტიკაში, რომელიც ას მილიარდზე მეტი ვარსკვლავისაგან შედგება და რომ თვით გალაქტიკა ერთ-ერთი სისტემაა უსასრულო სამყაროს აურაცხელ ვარსკვლავთ სისტემას შორის.

ჩვენი გალაქტიკა, რომელსაც ლინზის მოყვანილობა აქვს, იმდენად დიდია, რომ სინათლის სხივი მისი ერთი კიდიდან მეორემდე დაახლოებით ასი ათასი წლის შემდეგ აღწევს. თანამე-

დროვე ასტრონომიული ხელსაწყოებისათვის მისაწვდომ სხვა, შორეულ გალაქტიკებამდე მანძილები მილიონობით და მილიარდობით სინათლის წელს შეადგენს, მაგრამ ას ორმოცდაათი წლის წინათ ასტრონომებისათვის ცნობილი არ იყო ზუსტი მანძილები უახლოეს ვარსკვლავებამდეც კი. ჩვენი ვარსკვლავთა სისტემის აგებულებაზე მეცნიერებმა თითქმის არაფერი იცოდნენ. ვარსკვლავთა სხვა სისტემების არსებობის შესახებ მოწინავე მოაზროვნეების მიერ გამოთქმული ვარაუდები კი მხოლოდ გენიალური მიხვედრები იყო, რომელთა დადასტურება მეცნიერებას ჯერ კიდევ არ შეეძლო.

აღსანიშნავია XIX საუკუნის პირველი ნახევრის ბოლოს დიდი რუსი ასტრონომის ვასილ იაკობის ძე სტრუვეს (1793—1864) მნიშვნელოვანი აღმოჩენები, რომლებმაც ბევრი რამ შემატეს მეცნიერებას ჩვენი ვარსკვლავთა სისტემის შესახებ.

სტრუვე დაიბადა გერმანიის, მაშინ კი დანიის ქალაქ ალტონში და იქ გაატარა მოწაფეობის წლები. თხუთმეტი წლის ჭაბუკი დერპტის (ახლა ქ. ტარტუ, ესტონეთის სსრ) უნივერსიტეტში შევიდა. ამ დროიდან მთელი თავისი ცხოვრება და მოღვაწეობა სტრუვემ დაუკავშირა რუსეთს და მის მეცნიერებას, რომელიც თავისი შრომებით გაამდიდრა.

სტრუვეს მამა და უფროსი ძმა, პედაგოგი-ენათმეცნიერები იყვნენ. მათი გავლენით თავდაპირველად თვითონაც იგივე დარგი აირჩია. შემდეგ კი მისი ყურადღება მთლიანად ზუსტმა მეცნიერებებმა და, განსაკუთრებით, ასტრონომიამ მიიპყრო.

ბრწყინვალე ნიჭმა იშვიათ სიმტკიცესა და თანმიმდევრულობასთან ერთად სტრუვეს ხელი შეუწყო ძალზე სწრაფად დაუფლებოდა ცოდნის ახალ დარგს. დერპტის საუნივერსიტეტო ობსერვატორიაში მუშაობის დროს ის ღრმად ჩასწვდა ზუსტ ასტრონომიულ დაკვირვებათა საიდუმლოებას. 1814 წელს მან უკვე გამოსცა პირველი ასტრონომიული თხზულება დერპტის ობსერვატორიის განედისა და გრძედის ზუსტი განსაზღვრის შესახებ, მალე კი ამ ობსერვატორიის ასტრონომ-დამკვირვებელი გახდა. 1818 წელს 25 წლის სტრუვე ასტრონომიის პროფესორი და დერპტის ობსერვატორიის დირექტორია.

მაშინ ობსერვატორია საკმაოდ ცუდად იყო აღჭურვილი, მაგრამ სტრუვეს გულმოდგინების შედეგად ობსერვატორიაში დაიდგა საუკეთესო მოწყობილობანი, მათ შორის იმ დროისათვის მსოფლიოში საუკეთესო — ცხრაგოჯიანი[1] ობიექტივის მქონე რეფრაქტორი, რომელიც გამოჩენილი გერმანელი ოპტიკოსის ფრაუნჰოფერის მიერ იყო შექმნილი.

დერპტის უნივერსიტეტში სტრუვემ ორჯერადი ვარსკვლავების გამოსაკვლევად უდიდესი შრომა გასწია. იმ დროს ვარსკვლავთ წყვილების შესწავლას უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ასტრონომიისათვის. წყვილებში შემავალი ვარსკვლავების მოძრაობის გამოკვლევა საშუალებას იძლეოდა განესაზღვრათ მათი ორბიტები და დაედგინათ, რომ ორბიტებზე ამ ვარსკვლავთა მოძრაობები მსოფლიო მიზიდულობის კანონს ემორჩილება. ეს კი იმას ნიშნავდა, რომ მიზიდულობის კანონი მოქმედებს არა მარტო ჩვენს მზის სისტემაში, არამედ მსოფლიო სივრცის შორეულ სიღრმეებშიც.

სტრუვეს გამოკვლევა საშუალებას იძლეოდა აგრეთვე „აწონილიყო“ წყვილებში შემავალი ვარსკვლავები და განსაზღვრულიყო მათი მასები.

სტრუვე შეუპოვრად და გამუდმებით მუშაობდა. მან გამოიკვლია 120 000 ვარსკვლავი და დაადგინა, რომ მათგან 2500 ორჯერადი იყო. ამით მან მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა მეცნიერებაში. კვლევისას სტრუვე დიდის გულმოდგინებით ზომავდა კუთხურ მანძილებს წყვილში შემავალ ვარსკვლავებს შორის და საზღვრავდა მათ ზუსტ მდებარეობას ცაზე.

თავის დროზე კოპერნიკმა მიუთითა, რომ ვარსკვლავებამდე უზარმაზარი მანძილებია, რომლებთან შედარებით მზის სისტემის ზომები მეტისმეტად მცირეა. ჯ. ბრადლისა და ი. ლამბერტის გამოკვლევებმა XVIII საუკუნის პირველი ნახევრის ბოლოს მიგვიყვანა უდავო დასკვნამდე, რომ მანძილები უახლოეს ვარსკვლავებამდეც კი ათეულობით ტრილიონ კილომეტრებში განიზომება. ასტრონომებმა ვერ შეძლეს ზუსტად განესაზღვრათ ეს მანძილები. მოგვიანებით ვასილ სტრუვემ გადაწყვიტა ეს ამოცანა. 1835—1837 წწ. მან განსაზღვრა მანძილი ვარსკვლავ ვეგამდე, რომელიც 250 ტრილიონ კმ-ს, ანუ 26,5 სინათლის წელს უდრის,

[1] გოჯი ეტოლება 2,5 სმ-ს.

რაც დაახლოებით 90000-ჯერ აღემატება მანძილს მზიდან ურანამდე. ვარსკვლავების უმეტესი ნაწილი კი ვეგაზე ბევრად უფრო შორს იმყოფება. სტრუვეს შრომამ ნათელყო მეცნიერების ძლევამოსილება და დასახა სამყაროში შეღწევის განუსაზღვრელი პერსპექტივები.



ვასილ იაკობის ძე სტრუვე.

სტრუვეს შემდეგ 1838 წ. ბესელმა გაზომა მანძილი გედის თანავარსკვლავედის 61-ე ვარსკვლავამდე, ინგლისელმა ასტრონომმა ჰენდერსონმა (1798—1842) კი — მანძილი ვარსკვლავ კენტავრის ალფამდე, რომელიც სხვა ვარსკვლავებზე უფრო ახლოს აღმოჩნდა (4,3 სინათლის წელი). ასე დაიწყო ვარსკვლავებამდე ზუსტი მანძილების განსაზღვრა.

სტრუვეს ჯერ კიდევ ორჯერად ვარსკვლავებზე დაკვირვებამ მოუხვეჭა უდიდესი ასტრონომის სახელი. 1832 წელს იგი აკადემიკოსად აირჩიეს, მაგრამ მუშაობას მაინც დერპტში განაგრძობდა, რადგან მაშინ მეცნიერებათა აკადემიას კარგი ობსერვატორია არ გააჩნდა.

როდესაც მიიღეს გადაწყვეტილება პეტერბურგის მახლობლად დიდი ობსერვატორიის მოწყობის შესახებ, ამ საქმეში, როგორც გამოჩენილი რუსი ასტრონომი, სტრუვეც ჩააბეს. ის გახდა პულკოვოს ობსერვატორიის მშენებლობის ორგანიზატორი და ხელმძღვანელი. იმ დროისათვის საუკეთესო ხელსაწყოებით აღჭურვილი ობსერვატორია 1839 წელს გაიხსნა. სტრუვემ შეიმუშავა ობსერვატორიის მუშაობის გეგმა მრავალი წლისათვის და თითქმის 25 წლის განმავლობაში ედგა მას სათავეში. მისი ხელმძღვანელობით იგი მსოფლიოში საუკეთესო ობსერვატორიად იქცა.

მჩქეფარე ორგანიზატორულ მუშაობასთან ერთად სტრუვე სამეცნიერო გამოკვლევებსაც ეწეოდა. პულკოვოში კვლავ განაგრძობდა ორჯერადი ვარსკვლავების შესწავლას და შეუდგა ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის — გალაქტიკის აგებულების გამოკვლევას. სტრუვემდე მხოლოდ ჰერშელი მუშაობდა ამ საკითხზე. ჰერშელმა გამოთქვა პირველი ვარაუდი გალაქტიკის ფორმისა და ზომის, მასში ვარსკვლავთა განაწილებისა და მზის მდებარეობის შესახებ, მაგრამ ეს ვარაუდები ჯერ კიდევ არ შეესაბამებოდა სინამდვილეს. სტრუვეს გამოკვლევებს კი უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა. გალაქტიკაში ვარსკვლავთა განაწილების შესწავლის საფუძველზე მან დაადგინა, რომ ვარსკვლავები გალაქტიკაში არათანაბრადაა განლაგებული; რომ, რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავები გალაქტიკის ცენტრიდან, მით უფრო მეტი მანძილია მათ შორის, ამასთან მზე იმყოფება ცენტრიდან ძლიერ შორს და არა გალაქტიკის ცენტრის მახლობლად, როგორც ამას ზოგიერთი სწავლული ფიქრობდა.

ამავე დროს სტრუვემ მიუთითა ჩვენს ვარსკვლავთა სისტემაში ბნელი, გაბნეული ნივთიერების ღრუბლების არსებობაზე, რომლებიც მათ უკან მდებარე ვარსკვლავების სინათლეს ასუსტებენ, შეეცადა განესაზღვრა ამ შესუსტების სიდიდე. ვარსკვლავთშორისი ნივთიერების არსებობით ხსნიდა ვასილ სტრუვე იმას, რომ ჩვენამდე ვერ აღწევს გალაქტიკის სიღრმეებში მდებარე მრავალრიცხოვანი მკრთალი ვარსკვლავის სინათლე.

სტრუვეს შემდეგ ასტრონომები მრავალი ათეული წლის განმავლობაში სწავლობდნენ საკითხს სინათლის შთანთქმის (ანუ, როგორც მას უწოდეს, „ვარსკვლავთშორისი შთანთქმის“) შესახებ. საბოლოოდ მხოლოდ 1930 წელს დადასტურდა მისი არსებობა.

ამრიგად, ჯერ კიდევ ას წელზე მეტი ხნის წინ, სტრუვემ საფუძვლიანად გადაწყვიტა ვარსკვლავთ ასტრონომიის ძირითადი საკითხები გალაქტიკაში

ვარსკვლავთ განაწილებისა და ვარსკვლავთშორისეთის შთანთქმის შესახებ.

სტრუვე მარტო ცის უბადლო მკვლევარი როდი იყო. როგორც მოწინავე მეცნიერმა და სამშობლოს მოყვარულმა, მან თავისი ცოდნა და ორგანიზატორული ნიჭი რუსეთის კარტოგრაფიასთან დაკავშირებული, ფრიად მნიშვნელოვანი პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოიყენა. ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 20-იან წლებში სტრუვეს მეთაურობით გაზომეს დედამიწის მერიდიანის რკალი ბალტიისპირეთში, 1844—1852 წლებში კი იგი ხელმძღვანელობდა უდიდეს ღონისძიებას — მერიდიანის რკალის გაზომვას უზარმაზარ სივრცეზე—დუნაიდან ყინულოვან ოკეანემდე; რკალის სიგრძე დაახლოებით 2800 კმ შეადგენდა. ამ ღონისძიებაში მონაწილეობის მისაღებად მან საუკეთესო რუსი ასტრონომები და გეოდეზისტები მოიწვია. ასეთი კოლექტიური შრომის შედეგად უძვირფასესი მასალები დაგროვდა რუსეთის ზუსტი რუკების შესადგენად.

სტრუვე შესანიშნავი პედაგოგი იყო. ჯერ კიდევ დერპტის ობსერვატორიაში მისი ხელმძღვანელობით მუშაობდნენ სხვადასხვა უნივერსიტეტებიდან მივლინებული ახალგაზრდა რუსი ასტრონომები. მრავალი მათგანი შემდგომ დიდი მეცნიერი გახდა.

მოგვიანებით სტრუვე პულკოვოს ობსერვატორიის თანამშრომელთა უცვლელი ხელმძღვანელი იყო.

ვასილ სტრუვეს სამეცნიერო მოღვაწეობა არაჩვეულებრივად ნაყოფიერი იყო. ორჯერადი ვარსკვლავებისა და ჩვენი გალაქტიკის აგებულების გამოკვლევებით მან უდიდესი გავლენა მოახდინა რუსული და მსოფლიო ასტრონომიის განვითარებაზე. მეცნიერების ისტორიაში ის შევიდა როგორც XIX საუკუნის ერთ-ერთი ყველაზე გამოჩენილი ასტრონომი.

სტრუვეს საუკეთესო ძეგლს წარმოადგენს მის მიერ შექმნილი პულკოვოს ობსერვატორია, რომლის ისტორია XIX და XX საუკუნეების ასტრონომიის განვითარების ერთ-ერთი ყველაზე ბრწყინვალე ფურცელია.

ვარსკვლავთ ასტრონომიის საკითხების დასამუშავებლად შექმნილმა ობსერვატორიამ დიდი წვლილი შეიტანა მეცნიერების ამ დარგში. მისი ასტრონომების მიერ შედგენილმა ვარსკვლავთ კატალოგებმა სიზუსტით სხვა ობსერვატორიების ყველა კატალოგს აჯობა. პულკოვოს ობსერვატორიაში არა მარტო რუსეთის გამოჩენილი ასტრონომების უმეტესობამ შეიძინა სამეცნიერო გაწათლება; მისი ხშირი სტუმრები იყვნენ გამოცდილების გასაზიარებლად ჩამოსული ევროპისა და ამერიკის უდიდესი ასტრონომები. სწორედ ამის გამო მიიღო პულკოვოს ობსერვატორიამ მსოფლიოს ასტრონომიული დედაქალაქის სახელწოდება.

ვ. სტრუვეს შემდეგ პულკოვოს ობსერვატორიას მეოთხედ საუკუნეზე მეტ ხანს ხელმძღვანელობდა მისი შვილი, აგრეთვე გამოჩენილი ასტრონომი, ო. სტრუვე (1819 — 1905). მის დროს ობსერვატორიის პროგრამაში შევიდა ასტროფიზიკური გამოკვლევებიც და აიგო ასტროფიზიკური ლაბორატორია.

1890 — 1895 წლებში ობსერვატორიას ხელმძღვანელობდა გამოჩენილი რუსი ასტრონომი ო. ბრედიხინი (იხ. გვ. 384). მის დროს არა მარტო გაფართოვდა ასტროფიზიკური გამოკვლევები, არამედ პულკოვოს საქმიანობაში ჩააბეს მრავალი ახალგაზრდა რუსი მეცნიერი.

ბრედიხინი შეცვალა ცნობილმა რუსმა ასტრონომმა, წარმოშობით შვედმა ო. ბაკლუნდმა (1846 — 1916). მის დროს დაარსდა ობსერვატორიის განყოფილებები ნიკოლაევსა და სიმეიზში.

მაგრამ ობსერვატორიის საქმიანობა განსაკუთრებით ნაყოფიერად გაიშალა საბჭოთა ეპოქაში. ობსერვატორიაში აღიზარდა ასტრონომთა ახალი კადრები, შეიქმნა ახალი ხელსაწყოები, ტარდებოდა უმნიშვნელოვანესი გამოკვლევები ასტრონომიის ყველა დარგში.

საბჭოთა ხელისუფლების პირველ წლებში ობსერვატორიას ხელმძღვანელობდა გამოჩენილი ასტროფიზიკოსი ა. ბელოპოლსკი. შემდგომ მისი დირექტორები იყვნენ უდიდესი ასტრონომები: ა. ივანოვი, ბ. გერასიმოვიჩი, ს. ბელიაევი, გ. ნეუიმინი, აკად. ი. მიხაილოვი და სხვ.

დიდი სამამულო ომის წლებში გერმანელმა ფაშისტმა დამპყრობლებმა მთლიანად გაანადგურეს პულკოვოს ობსერვატორია. ომის შემდეგ ახლად აგებულმა ობსერვატორიამ ისევ ღირსეული ადგილი დაიჭირა მსოფლიოს ძირითად ობსერვატორიებს შორის.

აღდგენილი ობსერვატორიის საზეიმო გახსნა, რომელიც 1954 წლის 21 მაისს შედგა, არა მარტო საბჭოთა კავშირის, არამედ მსოფლიო მეცნიერების დღესასწაულად იქცა. 17 სახელმწიფოს წარმომადგენელი ჩამოვიდა ზეიმზე და მიესალმა განახლებულ პულკოვოს. ამჟამად ობსერვატორიაში წარმოებს სამეცნიერო გამოკვლევები ასტრონომიის ყველა დარგში.

მარიან ალბერტის ძე კოვალსკი

რუს ასტრონომთა შორის, რომლებმაც თავიანთი შრომებით გაამდიდრეს მეცნიერება სამყაროს შესახებ, მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს მარიან ალბერტის ძე კოვალსკის (1821—1884). ბოლო დრომდე კოვალსკის სახელი მკითხველთა ფართო წრისთვის ნაკლებად იყო ცნობილი. მხოლოდ საბჭოთა ეპოქაში დადგინდა, რომ კოვალსკიმ პირველმა გადაჭრა მრავალი საკითხი, რომელთაც დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ასტრონომიის ისტორიაში.

მარიან კოვალსკი წარმოშობით პოლონელი, წვრილი მოხელის შვილი იყო; ცუდი მატერიალური პირობების გამო დიდი გაჭირვებით მოახერხა განათლების მიღება. ძლიერი ნებისყოფა და შეუპოვრობა გახლდათ კოვალსკის დამახასიათებელი თვისებები. მკვლევარი გაბედულად ირჩევდა მეცნიერების ყველაზე ძნელ საკითხებს და წარმატებითაც წყვეტდა მათ.

კოვალსკი ასტრონომიამ ჯერ კიდევ პეტერბურგის უნივერსიტეტში სწავლის დროს გაიტაცა. უნივერსიტეტი 1845 წელს დაამთავრა და მუშაობა დაიწყო პულკოვოს ობსერვატორიაში, სადაც ასტრონომიულ დაკვირვებებსა და გამოთვლებს ცნობილი რუსი ასტრონომის ვ. სტრუვეს ხელმძღვანელობით აწარმოებდა. როდესაც 1847 წელს იმ ხანებში ჩამოყალიბებულმა რუსეთის გეოგრაფიულმა საზოგადოებამ პოლარული ურალის გამოსაკვლევად დიდი ექსპედიცია მოამზადა, სტრუვეს წინადადებით მის შემადგენლობაში კოვალსკიც შეიყვანეს, როგორც ასტრონომი.

იმ დროს პოლარული ურალის უზარმაზარი ტერიტორია სრულიად გამოუკვლეველი იყო. ექსპედიციის გზა გადიოდა ძნელად სავალ მთებსა და უღრან ტყეებში. ამ ექსპედიციამდე მთელ პოლარულ ურალში მხოლოდ ერთი გეოგრაფიული პუნქტისათვის იყო განსაზღვრული კოორდინატები, დანარჩენი ტერიტორია კი რუკაზე „თეთრ ლაქას“ წარმოადგენდა. ექსპედიციის ასტრონომს უნდა განესაზღვრა რაც შეიძლება მეტი გეოგრაფიული პუნქტის გრძედი, განედი და ზღვის დონიდან მათი სიმაღლე.

სწორედ აქ გამომჟღავნდა კოვალსკის საოცარი შრომისუნარიანობა. იგი ძნელ გადასასვლელებზე გადადიოდა ქვეითად და თხილამურებით, ორმოცგრადუსიან ყინვებსა და ძლიერი ქარის დროს ორასამდე გეოგრაფიული პუნქტის კოორდინატი განსაზღვრა, ერთდროულად მეტეოროლოგიური და მაგნიტური დაკვირვებებიც ჩაატარა.

ამრიგად, კოვალსკიმ თავისი მოღვაწეობის დასაწყისშივე გამოიჩინა თავი, როგორც ნიჭიერმა ასტრონომმა და როგორც მოგზაურმა მკვლევარმა.

1850 წელს კოვალსკი მიიწვიეს ასტრონომიის პროფესორის თანამდებობაზე ყაზანის უნივერსიტეტში, სადაც სიცოცხლის უკანასკნელ დღემდე მუშაობდა. ბრწყინვალე მათემატიკური ნიჭით დაჯილდოებულმა კოვალსკიმ მთელი ყურადღება თეორიული ასტრონომიის, მიზიდულობის ძალის მოქმედებით გამოწვეულ ცის სხეულთა მოძრაობის შემსწავლელი მეცნიერების საკითხებზე გადაიტანა.

1846 წელს აღმოაჩინეს ახალი პლანეტა — ნეპტუნი. საჭირო გახდა მისი ორბიტის ზუსტი განსაზღვრა, რადგან ახლად აღმოჩენილი პლანეტა შეიძლებოდა მალე გამქრალიყო ასტრონომთა მხედველობის არიდან, „დაკარგულიყო“ ცის სიღრმეში. გარდა ამისა, საჭირო იყო მისი მოძრაობის თეორიის დამუშავებაც მრავალი წლისათვის წინდაწინ.

ამოცანა მეტად რთული იყო, რადგან მზის ირგვლივ მოძრაობისას ნეპტუნი მზის ძლიერი მიზიდულობის გარდა განიცდის დიდი პლანეტების— იუპიტერის, სატურნისა და ურანის მიზიდულობას.

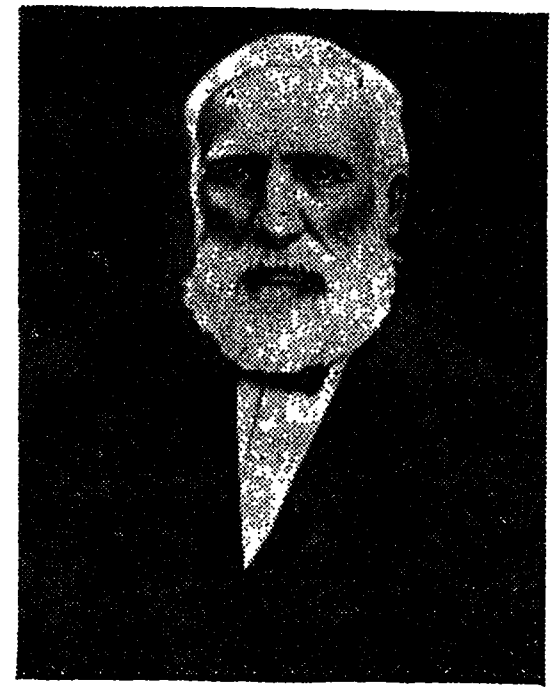
დიდ პლანეტებს უწესრიგობა ანუ, როგორც ამბობენ, „შეშფოთებები“ შეაქვთ ნეპტუნის მოძრაობაში. ეს კი ძლიერ აძნელებდა მისი ჭეშმარიტი ორბიტის განსაზღვრას. მიუხედავად ამისა, კოვალსკიმ უდიდესი გამოთვლები ჩაატარა და შექმნა ნეპტუნის მოძრაობის თეორია.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა კოვალსკის შრომებს ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობების შესწავლისათვის. ამ გამოკვლევებით მან ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის — გალაქტიკის — აგებულების შესახებ უმნიშვნელოვანესი დასკვნები გააკეთა.

ვ. სტრუვემ გასული საუკუნის ორმოციან წლებში დაადგინა, რომ ვარსკვლავები ერთმანეთთან ყველაზე უფრო ახლოს გალაქტიკის სიბრტყეშია განლაგებული, ვარსკვლავთა სისტემის კიდეებისაკენ კი მათ შორის მანძილები იზრდება.

ვარსკვლავთ მოძრაობების შესწავლის საფუძველზე კოვალსკიმ წამოაყენა და დაასაბუთა თეორია, რომლის მიხედვითაც მთელი ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემა მისი ცენტრალური ვარსკვლავიერი შემკვრივების ირგვლივ ბრუნავს. მან გადაჭრით უარყო ზოგიერთი ასტრონომის მოსაზრება უზარმაზარი „ცენტრალური მზის“ არსებობის შესახებ, რომელიც თავისი მიზიდულობით მართავს ყველა ვარსკვლავის მოძრაობას ისევე, როგორც ჩვენი მზე პლანეტებისა და მზის სისტემის სხვა სხეულთა მოძრაობას. ამავე დროს კოვალსკი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ გალაქტიკის ზომები ბევრად უფრო დიდია, ვიდრე ამას მაშინდელი ასტრონომები ფიქრობდნენ.

ამ შრომებით მარიან კოვალსკიმ მრავალი ათეული წლით გაუსწრო თავის ეპოქას. მხოლოდ 1927 წელს ჰოლანდიელმა მეცნიერმა ოორტმა საბოლოოდ დაადგინა, რომ გალაქტიკა ბრუნავს. გამოირკვა, რომ არ არსებობს „ცენტრალური მზე“, რომელიც მართავს მილიარდობით ვარსკვლავის მოძრაობას გალაქტიკაში. ჩვენს ვარსკვლავთ სისტემაში არსებობენ ბუმბერაზი ვარსკვლავები, რომლებიც მოცულობით მილიონჯერ და მილიარდჯერ ჭარბობენ მზეს, მაგრამ ამ ვარსკვლავებში ნივთიერება მეტად გაიშვიათებულია და თავიანთი მასებით, მაშასადამე, თავიანთი მიზიდულობის ძალითაც, არცთუ ისე ძლიერ განსხვავდებიან მზისაგან.



მარიან ალბერტის ძე კოვალსკი.

დიდი შრომა გასწია მარიან კოვალსკიმ ასტრონომიული გამოთვლების ახალი მეთოდების დამუშავებაზე. მზისა და მთვარის დაბნელების დაწყების დროის, დაბნელების ხანგრძლიობისა და ხილვადობის პირობების განსაზღვრა ასტრონომებს ყოველთვის დიდ დროს ართმევდა და იშვიათად თუ იყო საკმარისად ზუსტი. კოვალსკიმ დაამუშავა დაბნელების წინასწარ განსაზღვრის ახალი მეთოდები, რაც ბევრად უფრო ნაკლებ დროს მოითხოვდა და აუცილებელ სიზუსტესაც უზრუნველყოფდა. მან შეიმუშავა აგრეთვე ორჯერად ვარსკვლავთა ორბიტების განსაზღვრის ახალი და უფრო სრულყოფილი ხერხები, რაც საშუალებას იძლეოდა განსაზღვრულიყო ამ ვარსკვლავთა მასები.

მარიან კოვალსკი არა მარტო უდიდესი თეორეტიკოსი, დაუცხრომელი დამკვირვებელიც იყო. ყაზანის ობსერვატორიაში იგი დიდი ხნის განმავლობაში საზღვრავდა შესასწავლად შერჩეული ცის ვრცელი უბნის ვარსკვლავების ზუსტ მდებარეობას. მეცნიერის სიკვდილის შემდეგ გამოიცა კატალოგი, რომელშიც მის მიერ განსაზღვრული 4200-ზე მეტი ვარსკვლავის მდებარეობა იყო აღნიშნული.

კოვალსკი არა მარტო მეცნიერი, შესანიშნავი პედაგოგიც იყო. ყველაზე ძნელ საკითხებს თავის ლექციებში ის ყოველთვის მარტივად და ნათლად განმარტავდა. იგი გახლდათ იმ რუს მეცნიერთა ყველა საუკეთესო თვისებების განმასახიერებელი, რომელთაც მეფის რეჟიმის მძიმე პირობებში მეცნიერება გაბედულად მიჰყავდათ წინ.

თევდორე ალექსანდრეს ძე ბრედიხინი

უძველესი დროიდან ხალხი შეუიარაღებელი თვალით აკვირდებოდა არა მარტო მზეს, პლანეტებსა და უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებს, არამედ კომეტებსაც.

კომეტების მოულოდნელი გამოჩენა თავიანთი უცნაური მოყვანილობის კუდებით ცის „უცვლელობის“ შესახებ არსებულ ჩვეულ წარმოდგენას არღვევდა და შიშს იწვევდა ცრუმორწმუნე ადამიანებში, რომლებსაც კომეტები მომავალი უბედურების მაუწყებლად მიაჩნდათ.

მოწინავე მეცნიერები ჯერ კიდევ ძველთაგანვე ცდილობდნენ აეხსნათ კომეტების გამოჩენა და გამოეცნოთ მათი ბუნება. მაგრამ კომეტების ბუნება, კომეტების კუდების წარმოშობა და მათი ფორმების უცნაური ნაირსახეობა მეცნიერულად მხოლოდ XIX საუკუნის გამოჩენილმა რუსმა ასტრონომმა, ასტროფიზიკის ფუძემდებელმა ჩვენს ქვეყანაში, თევდორე ალექსანდრეს ძე ბრედიხინმა (1831 — 1904) ახსნა.

ბრედიხინი დაიბადა ქ. ნიკოლაევში, იმ ოჯახში, რომელმაც რუსეთს მრავალი მამაცი მეზღვაური აღუზარდა. ახალგაზრდობაში ბრედიხინი თვითონაც ფლოტში აპირებდა სამსახურს, მაგრამ მოგვიანებით, უკვე მოსკოვის უნივერსიტეტის სტუდენტი, სერიოზულად დაინტერესდა ასტრონომიით. ეს ინტერესი განსაკუთრებით მას შემდეგ გაუღრმავდა, რაც მოსკოვის ობსერვატორიაში დაიწყო სიარული.

უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ (1855 წ.) ბრედიხინი მთელი სიცოცხლის მანძილზე ასტრონომიაში მუშაობდა. 1857 წ. ის უკვე მასწავლებელი იყო, ხოლო 1863 წლიდან — ასტრონომიის პროფესორი მოსკოვის უნივერსიტეტში. უძველეს რუსულ უნივერსიტეტში ასტრონომიის სწავლება მან მაღალ მეცნიერულ დონეზე აიყვანა. თევდორე ბრედიხინი იყო ერთი იმ მოწინავე რუს მეცნიერთაგანი, რომლებიც არა მარტო ავითარებდნენ მეცნიერებას, არამედ ყოველნაირად ცდილობდნენ ხალხში მეცნიერული ცოდნა გაევრცელებინათ. ბრედიხინი საჯარო ლექციებს კითხულობდა ასტრონომიის მიღწევებზე და ჟურნალებში ათავსებდა პოპულარულ წერილებს ასტრონომიაზე. მასთან ბევრი რუსი ასტრონომი სწავლობდა.

60-იან წლებში ბრედიხინმა კომეტების გამოკვლევები დაიწყო. ეს შესანიშნავი საქმიანობა მას სიცოცხლის უკანასკნელ დღეებამდე არ შეუწყვეტია.

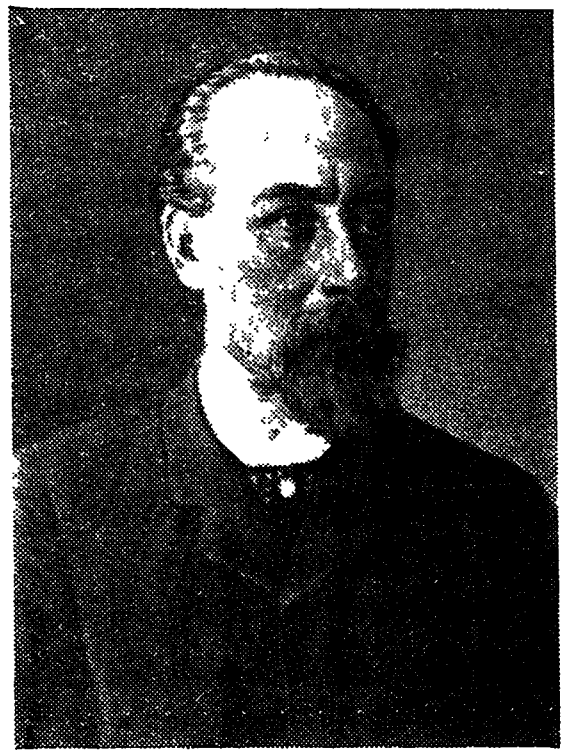
მეცნიერები ადრეც ამჩნევდნენ, რომ კომეტების კუდები მზის საწინააღმდეგო მხარესაა მიმართული. ამის საფუძველზე ზოგი მეცნიერი ასკვნიდა, რომ კუდის ნივთიერება მიზიდულობის ძალის საწინააღმდეგო რაღაც ძალის გავლენით მზიდან უკუიქცევა. ამ ძალას უკუმქცევი უწოდეს, მაგრამ მისი ბუნება მეცნიერებისათვის ამოუცნობი რჩებოდა.

თევდორე ბრედიხინმა ზუსტი გამოთვლებით დაასაბუთა, რომ კომეტების კუდების წარმოქმნაში სწორედ მზიდან გამომდინარე უკუმქცევ ძალას აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა. მისი თეორიის მიხედვით კომეტის კუდი წარმოიქმნება მზესთან კომეტის მიახლოებისას. მზის სხივების ზემოქმედებით კომეტის ცენტრალური ნაწილი—ბირთვი—ხურდება. კომეტის ბირთვიდან ამოტყორცნილ მატერიის ნაწილაკებზე მოქმედებს უკუმქცევი ძალა. თუკი მზის მიზიდულობა ნივთიერების ნაწილაკს მზისკენ იზიდავს, ამ ნაწილაკებზე დაცემული მზის სხივების წნევა მას მზიდან უკუაქცევს. ამასთან ძლიერ მცირე ნაწილაკებისათვის სინათლის წნევის ძალა ჭარბობს მზის მიზიდულობის ძალას. ამოტყორცნილი ნაწილაკები „უკუიქცევიან“ მზის საწინააღმდეგო მხარეს და ქმნიან კუდს, რომელიც ხშირად მილიონობით, ზოგჯერ კი ათეულ და ასეულ მილიონობით კილომეტრზეა გაჭიმული.

XX საუკუნის დასაწყისში დიდმა რუსმა ფიზიკოსმა პ. ლებედევმა ლაბორატორიაში ბრწყინვალედ ჩატარებული ცდებით დაამტკიცა, რომ სამყაროს სივრცეში მიზიდულობის ძალის გარდა მოქმედებს კიდევ სინათლის წნევის ძალა. მას შემდეგ, რაც დადასტურდა მყარ სხეულებსა და გაზებზე სინათლის წნევის მოქმედება, სინათლის წნევა საბოლოოდ აღიარეს იმ ძალად; რომელიც გადამწყვეტ როლს ასრულებს კომეტების კუდების შექმნაში.

ბრედიხინის გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ კომეტის კუდის ფორმა დამოკიდებულია მზის უკუ-

მჭცევი ძალის სიდიდეზე. ზოგის კუდი თითქმის სწორია, ზოგის ძლიერ მოხრილი. თევდორე ბრედიხინი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ კომეტებს შეიძლება ჰქონდეს სამი ტიპის კუდი. პირველ ტიპს მან მიაკუთვნა კუდები, რომლებიც იმ შემთხვევაში წარმოიქმნებიან, როცა უკუმჭცევი ძალა მიზიდულობის ძალაზე ბევრად დიდია. ასეთი კუდები, ჩვეულებრივ, თითქმის სწორია. ძლიერ გამრუდებული კუდები წარმოიქმნება ისეთი უკუმჭცევი ძალის დროს, რომელიც დაახლოებით მიზიდულობის ძალის ტოლია, ან 2 — 2,5-ჯერ აღემატება მას; ეს მეორე ტიპის კუდებია. და ბოლოს, მესამე ტიპის კუდები წარმოიქმნებიან ისეთი უკუმჭცევი ძალის მოქმედებით, რომელიც მიზიდულობის ძალაზე მნიშვნელოვნად ნაკლებია. ამის გამო ისინი კი არ „გარბიან“ მზიდან, პირიქით, იხრებიან მისკენ.



თევდორე ალექსანდრეს ძე ბრედიხინი.

კომეტების კუდების ფორმებს ბრედიხინი აგრეთვე მათი ქიმიური შედგენილობის სხვადასხვაობას უკავშირებდა. მისი ვარაუდით, რაც უფრო მსუბუქია კუდის შემქმნელ ნივთიერებათა ნაწილაკები, მით უფრო მეტად მოქმედებს მათზე უკუმჭცევი ძალა. ამის გამო ის ფიქრობდა, რომ პირველი ტიპის კუდები შედგება ყველაზე მსუბუქი გაზებისაგან, მეორე ტიპისა — ნახშირწყალბადებისაგან, მსუბუქი მეტალების ორთქლისა და, შეიძლება, მტვრისაგანაც; მესამე ტიპის კუდების შემადგენლობაში კი შედის მძიმე მეტალები (გაზოვან მდგომარეობაში), და, შესაძლოა, აგრეთვე მტვერი. კომეტების სპექტრების შემდგომმა გამოკვლევებმა დაადასტურეს ბრედიხინის ბევრი ვარაუდი და მნიშვნელოვნად გააღრმავეს წარმოდგენა კომეტების კუდებზე.

ბრედიხინი კომეტებს გულმოდგინედ იკვლევდა, ამასთან ერთად უნივერსიტეტშიც მოღვაწეობდა. 1873 წლიდან 1890 წლამდე მოსკოვის ობსერვატორიის დირექტორი იყო და ობსერვატორიის საქმიანობას იმ დროისათვის ახალი — ასტროფიზიკური კვლევების გზით წარმართავდა. ბრედიხინისა და მისი უახლოესი მოწაფეებისა და თანამშრომლების, შემდგომ გამოჩენილი მეცნიერების: ვ. ცერასკისა და ა. ბელოპოლსკის შრომების წყალობით მოსკოვის ობსერვატორიამ იმ წლებში მსოფლიო სახელი მოიხვეჭა.

ბრედიხინის ძირითად მეცნიერულ მიღწევათა რიცხვში შევიდა მის მიერ დამუშავებული მეტეორთა ნაკადების წარმოქმნის თეორიაც. ბრედიხინის აზრით ეს ნაკადები კომეტების დაშლის შედეგად წარმოიშვებოდა.

ბრედიხინმა წამოაყენა აგრეთვე პერიოდული კომეტების წარმოშობის ჰიპოთეზა. იგი ფიქრობდა, რომ პერიოდული კომეტები კომეტა-ფუძემდებლისაგან ნაწილების მოცილების გზით წარმოიქმნება. ამ ჰიპოთეზამ საშუალება მისცა მეცნიერებს ე. წ. „კომეტების ოჯახების“, ე. ი. ერთმანეთის მსგავსი ორბიტების მქონე კომეტების ჯგუფების არსებობა აეხსნათ.

ბრედიხინი ნაყოფიერად მუშაობდა ასტრონომიის სხვა დარგებშიც, აკვირდებოდა მზის სპექტრებს, რაც მაშინ სრულიად ახალი საქმე იყო. ის მრავალი წლის განმავლობაში აკვირდებოდა გიგანტ პლანეტას იუპიტერს და მის ზედაპირზე შემჩნეულ გამოუცნობ წითელ ლაქას.

1890 წელს თევდორე ბრედიხინი აკადემიკოსად აირჩიეს და დანიშნეს პულკოვოს ობსერვატორიის დირექტორად. აქ მან გააფართოვა ასტროფიზიკური გამოკვლევების არე, რუსეთის უნივერსიტეტებიდან ნიჭიერი ახალგაზრდა მეცნიერები მოიწვია და ისინი ობსერვატორიის საქმიანობაში ჩააბა. ბრედიხინს ძალიან უყვარდა ახალგაზრდობა და ღრმად სწამდა მისი შემოქმედებითი ძალებისა. იგი ხალისით ავალებდა ახალგაზრდა მეცნიერებს სასპასუხისმგებლო მეცნიერული თემების დამუშავებას, რითაც ხელს უწყობდა კვლევის დამოუკი-

დებელ გზაზე გამოსულიყვნენ. დიდ დახმარებას უწევდა ბრედიხინი აგრეთვე სხვა სამამულო ობსერვატორიებს და იქ მომუშავე ცალკეულ მეცნიერებსაც.

1895 წელს ბრედიხინმა თავი დაანება პულკოვოს ობსერვატორიის ხელმძღვანელობას, მაგრამ მეცნიერული მუშაობა სიცოცხლის ბოლო წლებამდე არ შეუწყვეტია.

არისტარქე აპოლონის ძე ბელოპოლსკი

შორეული ვარსკვლავებიდან ჩვენამდე მოღწეული სინათლის სხივი ვარსკვლავების შესახებ ჩვენი ცოდნის ძირითადი წყაროა. სპექტროსკოპის პრიზმის მიერ სინათლის დაშლილი, ბნელი ხაზებით გადასერილი სხვადასხვა ფერის ზოლი საშუალებას გვაძლევს მნიშვნელოვანი დასკვნები გამოვიტანოთ შორეული ციური სხეულების ქიმიური შედგენილობის, ფიზიკური მდგომარეობისა და მოძრაობის შესახებ. ეს სხეულები უძლიერეს ტელესკოპებშიც კი მხოლოდ მნათ წერტილებად მოჩანს.

ასტრონომიის ამ საინტერესო დარგში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს დიდი რუსი მეცნიერის არისტარქე აპოლონის ძე ბელოპოლსკის შრომებს.

ბელოპოლსკი დაიბადა 1854 წელს მოსკოვში. იგი ჯერ კიდევ ბავშვობაში გატაცებული იყო ბუნებით, იზიდავდა ვარსკვლავებით მოჭედილი ცა, ქვები, ცხოველები, მცენარეები. უყვარდა აგრეთვე მხატვრული ლიტერატურა და მუსიკა. უყვარდა წიგნები და ამავე დროს ფიზიკური შრომაც, ადრე ისწავლა კონსტრუქციების შემუშავება და სხვადასხვა მექანიზმების დამზადება.

გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ არისტარქე ბელოპოლსკი მოსკოვის უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე შევიდა, სადაც უდიდესი რუსი მეცნიერების — ასტრონომიაში თ. ბრედიხინისა და ფიზიკაში — ა. სტოლეტოვის ლექციებს ისმენდა. მაშინ ბელოპოლსკი ჯერ კიდევ არ ფიქრობდა მეცნიერულ მოღვაწეობაზე, სურდა მათემატიკური მეცნიერებანი შეესწავლა, რათა ინჟინერი გამხდარიყო. მაგრამ სწორედ ტექნიკით გატაცებამ მიიყვანა იგი ასტრონომიამდე. ბრედიხინმა ბელოპოლსკი ობსერვატორიის მექანიკოსის თანამდებობაზე მიიწვია. როცა ახალგაზრდა სტუდენტი ისეთ მეცნიერებს დაუახლოვდა, როგორებიც ბრედიხინი და ცერასკი იყვნენ, კიდევ უფრო დაინტერესდა ასტრონომიით და უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ ობსერვატორიის მეცნიერი მუშაკი გახდა.

მოსკოვის ობსერვატორიაში თერთმეტი წლის მუშაობის მანძილზე ბელოპოლსკი სხვადასხვა კვლევით სამუშაოს ასრულებდა. ამ პერიოდის ყველაზე მნიშვნელოვანი მისი ნაშრომი მზის ბრუნვის გამოკვლევას ეხება. მზის ლაქების გადაადგილების მრავალრიცხოვანი ფოტოსურათის დახმარებით ბელოპოლსკიმ დააზუსტა სხვადასხვა განედზე მზის ბრუნვის სიჩქარის ცვლილების კანონი. აღმოჩნდა, რომ მზე ეკვატორზე სწრაფად ბრუნავს, ეკვატორიდან მოშორებით კი უფრო ნელა. ცნობილი იყო, რომ მყარ, ერთგვაროვან სხეულს ასე ბრუნვა არ შეეძლო. ამიტომ ბელოპოლსკიმ დაასკვნა, რომ მზე სხვადასხვა სიმკვრივისა და ტემპერატურის გაზებისაგან შედგება.

1888 წელს ბელოპოლსკი პულკოვოს ობსერვატორიაში გადავიდა, სადაც ორმოცდაექვსი წელი— სიცოცხლის ბოლო დღემდე იმუშავა. აქ ბელოპოლსკი სპექტრულ გამოკვლევებს აწარმოებდა, რითაც მსოფლიო სახელი მოიხვეჭა.

XIX საუკუნის მეორე ნახევრის დასაწყისში ასტრონომიას უკვე სპექტრული ანალიზი და ფოტოგრაფია წამოეშველა და საფუძველი ჩაეყარა ასტრონომიის ახალ დარგს — ასტროფიზიკას. ამ მეცნიერების პიონერები, რომლებმაც დასაბამი მისცეს ციურ სხეულთა ფიზიკური ბუნების შესწავლას, იყვნენ გამოჩენილი სწავლულები: ინგლისელები ჰეგინსი (1824 — 1910) და ლოკიერი (1836 — 1920), ფრანგი ჟანსენი (1824 — 1907), იტალიელი სეკი (1818 — 1878), გერმანელი ფოგელი (1842 — 1907) და რუსი ასტრონომი ბრედიხინი. მათ საქმეს ღირსეულად აგრძელებდა და მეცნიერებაში ახალ გზებს სახავდა ბელოპოლსკი.

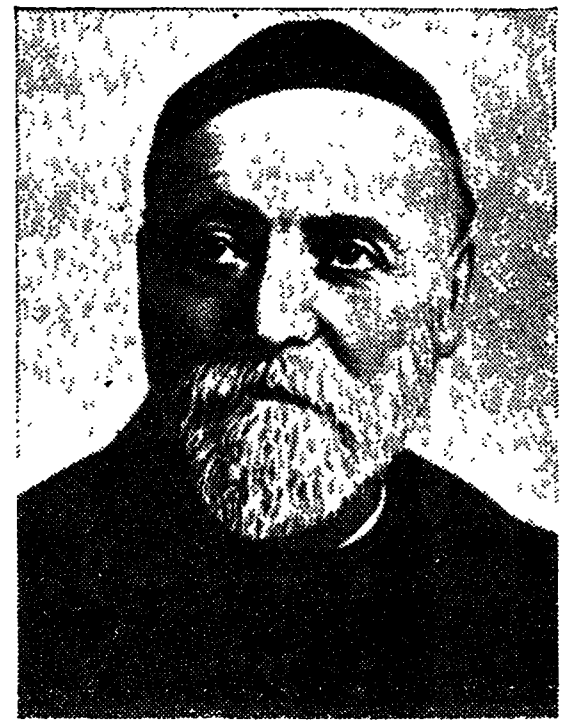
პულკოვოს უზარმაზარ, 76-სანტიმეტრიან ტელესკოპს ბელოპოლსკიმ სპექტრების ფოტოგადამღები ხელსაწყო — თავისი კონსტრუქციის სპექტროგრაფი მიუყენა. შემდგომ ის გულდასმით აკვირდებოდა და სრულყოფდა მის მიერ გამოყენებულ ხელსაწყოებსა და დანადგარებს.

ვიდრე ბელოპოლსკი ასტროფიზიკურ გამოკვლევებს დაიწყებდა, ასტრონომებმა იცოდნენ, რომ, თუ რომელიმე ციური სხეულის, მაგალითად, შორეული ვარსკვლავის, სპექტრში შეიმჩნევა სპექტრული ხაზების გადაადგილება იისფერი ბოლოსკენ, მაშინ ვარსკვლავი მოძრაობს ჩვენსკენ, ხაზების წითელი ბოლოსკენ გადაადგილების შემთხვევაში კი გვშორდება. ამ მოვლენას მისი აღმომჩენის, ავსტრიელი ფიზიკოსის პატივსაცემად დოპლერის პრინციპს უწოდებენ.

დოპლერის პრინციპი დაეხმარა ბელოპოლსკის აღმოეჩინა მრავალი ციური სხეულის მოძრაობა (ჩვენსკენ მოახლოების ან ჩვენგან დაშორების — ეგრეთ წოდებული მხედველობის სხივის გასწვრივ მოძრაობა). მანვე გამოიყენა დოპლერის პრინციპი სხვა უმნიშვნელოვანესი სამეცნიერო საკითხების გადასაჭრელად. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა ცეფეიდების ტიპის ცვალებად ვარსკვლავთა გამოკვლევებს (იხ. გვ. 298 — 299).

ბელოპოლსკიმ აღმოაჩინა, რომ ცეფეიდების სიკაშკაშე მხედველობის სხივის გასწვრივ მათი მოძრაობის შესაბამისად იცვლება. ეს მოძრაობა სპექტრში ხაზების გადაადგილებით შეიმჩნევა. ამრიგად, აღნიშნული ვარსკვლავები ხან გვიახლოვდებიან, ხან გვშორდებიან. ბელოპოლსკი თავდაპირველად ვარაუდობდა, რომ ცეფეიდები სპექტრულად ორჯერადი ვარსკვლავებია. მაგრამ მის შემდგომ გამოკვლევებში გამოირკვა, რომ ცეფეიდების საიდუმლოება უფრო რთულია და არ შეიძლება მათი ჯერადობით აიხსნას.

ბელოპოლსკის გამოკვლევების საფუძველზე ცეორე შესანიშნავმა რუსმა მეცნიერმა, ფიზიკოსმა ნ. უმოვმა (1846 — 1915) გამოთქვა აზრი, რომ ცეფეიდები ორჯერადი კი არა, ცალმაგი ვარსკვლავებია, მაგრამ მათი ზომები მუდმივი არ არის. ისინი „ფეთქავენ“: შინაგანი ფიზიკური მიზეზების გამო პერიოდულად ხან ფართოვდებიან, ხან იკუმშებიან. ვარსკვლავის გაფართოებისას მისი ზედაპირი გვიახლოვდება, რითაც იწვევს სპექტრის ხაზების გადაადგილებას იისფერი ბოლოსაკენ. ვარ-



არისტარქე აპოლონის ძე ბელოპოლსკი.

სკვლავის შეკუმშვისას საწინააღმდეგო მოვლენა ხდება. ვარსკვლავის გაფართოებებთან და შეკუმშვებთანაა დაკავშირებული მისი სიკაშკაშისა და ტემპერატურის ცვლილებები.

დოპლერის პრინციპის გამოყენებით არისტარქე ბელოპოლსკი სხვა ამოცანებსაც წყვეტდა. თავის დროზე მათემატიკური გამოთვლების საფუძველზე მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ სატურნის რგოლი არ შეიძლება მთლიანი იყოს, იგი დიდი რაოდენობის მცირე სხეულებისაგან უნდა შედგებოდეს. ბელოპოლსკიმ გადაწყვიტა მათემატიკოსების გამოთვლები სპექტრული დაკვირვებებით შეემოწმებინა. მან გაზომა ხაზების გადაადგილება პლანეტასთან რგოლის უფრო ახლობელი და უფრო შორეული ნაწილების სპექტრში და დარწმუნდა, რომ რგოლი ისე ბრუნავს, როგორც შეუძლია ბრუნვა არამთლიანი მასის მქონე სხეულს. პლანეტასთან ახლოს მყოფი რგოლის ნაწილები სწრაფად ბრუნავენ, შორეულები კი უფრო ნელა. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ რგოლი დიდი რაოდენობის მცირე სხეულისაგან შედგება.

ბელოპოლსკისთან ერთდროულად ეს ნოვლენა აღმოაჩინეს ამერიკელმა ასტრონომმა კილერმა (1857 — 1903) და ფრანგმა ასტრონომმა დელანდრმა (1853 — 1948).

ამრიგად, დოპლერის პრინციპის გამოყენებით ბელოპოლსკიმ მიაღწია შესანიშნავ მეცნიერულ წარმატებებს. მაგრამ დოპლერის პრინციპი სინათლის რხევების მიმართ ლაბორატორიაში ცდებით

ჯერ კიდევ არ იყო შემოწმებული. მეცნიერთა უმრავლესობას ასეთი შემოწმება, საერთოდ, შეუძლებლად მიაჩნდა, რადგან ციური სხეულების სპექტრული ხაზების გადაადგილება გამოწვეულია ამ სხეულთა ისეთი სიჩქარით, რის განხორციელებაც ლაბორატორიაში შეუძლებელი ეგონათ. თითქოს ცდებით შემოწმებაზე ოცნებაც არ შეიძლებოდა. შემოწმების გარეშე კი ბევრ მეცნიერს ეეჭვებოდა, შესაძლო იყო თუ არა სპექტრში ხაზების გადაადგილების მიხედვით ციურ სხეულთა მოახლოებაზე ან დაშორებაზე დასკვნების გამოტანა. ამის გამო დოპლერის პრინციპის შემოწმება აუცილებელი იყო.

ბელოპოლსკი არა მარტო თეორეტიკოსი, არამედ შესანიშნავი გამომგონებელი და კონსტრუქტორიც გახლდათ. მან დაადასტურა დოპლერის პრინციპი, და, მაშასადამე, მისი დახმარებით მიღებული ასტრონომიული დასკვნების სისწორე. მან ააგო ხელსაწყო, რომელშიც მზის სინათლის სხივი ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით მბრუნავი რამდენიმე სარკიდან მრავალგზის აირეკლებოდა და სპექტროგრაფის ჭვრიტეს ხვდებოდა, იქიდან კი ფოტოფირფიტას. მოძრავი სარკეებიდან სინათლის არეკვლას უნდა მოეცა იგივე ეფექტი — სპექტრის ხაზების გადაადგილების თვალსაზრისით — რასაც თვითონ სინათლის წყაროს (მოცემულ შემთხვევაში მზის) მოძრაობის დროს მივიღებდით. სწორედ ასეც მოხდა და დოპლერის პრინციპი დადასტურდა ცდით.

არისტარქე ბელოპოლსკის მრავალი ნაშრომი მიეძღვნა XIX საუკუნის ბოლოსა და XX საუკუნის პირველ მეოთხედში ანთებულ ახალ ვარსკვლავთა სპექტრულ გამოკვლევებს, იუპიტერისა და ვენერას ბრუნვის პერიოდის განსაზღვრას, კომეტების შესწავლასა და სხვა საკითხებს.

პულკოვოში ბელოპოლსკი სიცოცხლის უკანასკნელ დღემდე განაგრძობდა ჯერ კიდევ მოსკოვში დაწყებულ მზის ბრუნვის გამოკვლევებს. სპექტროგრაფის დახმარებითა და დოპლერის პრინციპზე დაყრდნობით მან განსაზღვრა მზის ზედაპირის ცალკეული წერტილების მოახლოება და დაშორება. ამით დაადასტურა თავისი ადრინდელი დასკვნები ეკვატორიდან პოლუსებისაკენ მზის ბრუნვის სიჩქარის შემცირების შესახებ (პოლუსების მახლობლად მზის ბრუნვის პერიოდი 34 დღე-ღამემდე აღწევს, მაშინ, როდესაც ეკვატორზე ის სულ 25 დღე-ღამეს შეადგენს).

1900 წელს ბელოპოლსკი აკადემიკოსად აირჩიეს. 1917-დან 1919 წლამდე პულკოვოს ობსერვატორიის დირექტორი იყო. დიდი ოქტომბრის რევოლუციას ბელოპოლსკი ღრმა მოხუცი შეხვდა, მაგრამ ამას ხელი არ შეუშლია, ახალგაზრდული ენერგიით ჩაბმულიყო საბჭოთა მეცნიერების შექმნის საქმეში. თითქმის ოთხმოცი წლის ბელოპოლსკიმ აქტიური მონაწილეობა მიიღო ჩვენი ქვეყნის სამხრეთში დიდი ასტროფიზიკური ობსერვატორიის ასაგები ადგილის შესარჩევად მოწყობილ ექსპედიციაში. ბელოპოლსკი გარდაიცვალა 1934 წელს.

არისტარქე ბელოპოლსკი მთელი სიცოცხლე დაუღალავად შრომობდა, ქმნიდა ხელსაწყოებს, რომლებითაც თვითონ მუშაობდა. მის კალამს 270-ზე მეტი ნაშრომი ეკუთვნის. მან ასტრონომების რამდენიმე თაობა აღზარდა.

ბელოპოლსკი ეკუთვნოდა იმ მოწინავე მეცნიერ-მატერიალისტთა რიცხვს, რომლებსაც მიაჩნდათ, რომ ბუნებაში არ არსებობს გადაუწყვეტელი ამოცანები; რომლებიც გაბედულად ეძებდნენ და პოულობდნენ სამყაროს შორეულ სიღრმეებში შეღწევის ახალ გზებს.

ედუარდ ჩარლზ პიკერინგი

XIX ს. მიწურულს, როცა გაჩნდა სპექტრული ანალიზი და ფოტოგრაფია, ვარსკვლავთ სამყაროს შესწავლა ახალ ფაზაში შევიდა. ამ დროისათვის უკვე ცნობილი იყო მრავალი ათასი ვარსკვლავის ზუსტი მდებარეობა და მათ საკუთარ მოძრაობებს ეცნობოდნენ. შესაძლებელი გახდა ვარსკვლავთა სპექტრების, მათი ტემპერატურების და, აქედან გამომდინარე, მათი ნივთიერებების მდგომარეობის შესწავლა.

ვარსკვლავთა სიკაშკაშის ცვალებადობა — ზოგის მკაცრად პერიოდული, ზოგის კი, პირიქით, არაწესიერი, — იმაზე მეტყველებდა, რომ ვარ-



ედუარდ ჩარლზ პიკერინგი.

სკვლავებში მიმდინარეობს რაღაც რთული ფიზიკური პროცესები. ამის ამოსახსნელად საჭირო იყო ცვალებადი ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავთ სპექტრების გულდასმითი შესწავლა. ასეთი ამოცანა დაისახა ამერიკელმა ასტრონომმა ედუარდ ჩარლზ პიკერინგმა (1846 — 1919). პიკერინგი თავდაპირველად ფიზიკოსი იყო. თავისი შესანიშნავი ნიჭის წყალობით 22 წლისა უკვე ბოსტონის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის ფიზიკის პროფესორი გახდა. შემდეგ იგი სამუშაოდ გადავიდა პირველ ამერიკულ ობსერვატორიაში, რომელიც ჰარვარდის უნივერსიტეტთან იყო შექმნილი. 1877 წ. პიკერინგი ამ ობსერვატორიას სათავეში ჩაუდგა და უნივერსიტეტში ასტრონომიის პროფესორად დანიშნეს.

როცა ვარსკვლავთა სპექტრების შესწავლა დაიწყეს, გამოირკვა, რომ ისინი მეტად მრავალფეროვანია, თუმცა ყველა ვარსკვლავის ქიმიური შედგენილობა დაახლოებით ერთნაირია. ვარსკვლავთა განსხვავებული სპექტრები განსაზღვრავენ მათ განსხვავებას ტემპერატურაში, აქედან გამომდინარე ნივთიერების მდგომარეობაშიც. ვარსკვლავთა პირველი კლასიფიკაცია მათი სპექტრების მიხედვით მოგვცა იტალიელმა ასტრონომმა ა. სეკიმ. ამ კლასიფიკაციის მიხედვით ვარსკვლავები იყოფოდა თეთრ — ყველაზე ცხელ, ყვითელ — ნაკლებად ცხელ (მათ განეკუთვნება მზეც) და წითელ — ცივ ვარსკვლავებად. სეკის კლასიფიკაცია არ იყო სრულყოფილი. შემდგომ ეს კლასიფიკაცია რამდენადმე განავითარა გერმანელმა ასტრონომმა გ. ფოგელმა. მაგრამ არც ფოგელის კლასიფიკაცია იყო სრულყოფილი, რადგან ვარსკვლავთა მცირე რაოდენობის სპექტრების შესწავლაზე იყო დაფუძნებული.

პიკერინგმა თავის მოწაფეებთან და თანამშრომლებთან ერთად დიდი მუშაობა ჩაატარა ვარსკვლავთა გაცილებით მეტი რაოდენობის სპექტრების შესახებ მონაცემების შეგროვებაში. ამ მონაცემების საფუძველზე შეიქმნა ვარსკვლავთა სპექტრების ახალი, ჰარვარდის კლასიფიკაცია, რომელშიც მოცემული იყო დაწვრილებითი „კიბე“ ყველაზე ცხელიდან ყველაზე ცივ ვარსკვლავებამდე. ამ კლასიფიკაციაში ვარსკვლავთა მთელი ერთობლიობა სპექტრულ კლასებადაა დაყოფილი. ყოველი კლასი მოიცავს ვარსკვლავებს, რომლებიც ახლო დგანან ერთმანეთთან ტემპერატურითა და სპექტრის მახასიათებლებით. ვარსკვლავთა სპექტრების ჰარვარდის ეს კლასიფიკაცია მტკიცედ შევიდა მეცნიერებაში და ასტრონომები მას დღესაც იყენებენ.

განსაკუთრებული ყურადღება პიკერინგმა ცვალებად ვარსკვლავებს დაუთმო. მათ შესწავლას იგი სამართლიანად თვლიდა ვარსკვლავთ სამყაროს აგებულებისა და განვითარების შესწავლის საფუძვლად. პიკერინგმა ობსერვატორიაში დააწესა სისტემატური სამუშაოები ახალი, ე. ი. მანამდე უცნობი, ცვალებადი ვარსკვლავების მოსაძებნად. ამ საქმეში მას ფოტოგრაფია დაეხმარა. ფოტოფირფიტების გულდასმითი შესწავლა, რომლებზედაც აღბეჭდილია სხვადასხვა დროს გადაღებული ცის ერთი და იგივე უბანი, საშუალებას გვაძლევს შევნიშნოთ ამა თუ იმ ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვალებადობა და საბოლოოდ დავადგინოთ, რომ ეს ცვალებადი ვარსკვლავია. მოცემულ ვარსკვლავზე შემდგომი დაკვირვებები საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ მისი სიკაშკაშის ცვალებადობის პერიოდი ან ამ ცვალებადობის არაწესიერი ხასიათი.

თავისი გამოკვლევების მსვლელობაში პიკერინგმა ე. წ. სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავების არსებობა აღმოაჩინა. ესაა ჩვენგან შორეული ვარსკვლავთ წყვილები (ზოგჯერ კი ჯერადი სისტემები). მათი შემადგენელი ვარსკვლავები ერთმანეთთან ისე ახლოსაა განლაგებული, რომ ამ ვარ-

სკვლავების ცალ-ცალკე დანახვა ყველაზე მძლავრ ტელესკოპებშიც კი შეუძლებელია.

რუსეთში ახალი ცვალებადი ვარსკვლავების პოვნა და შესწავლა სისტემატურად მოსკოვის ობსერვატორიაში დაიწყო მისმა დირექტორმა — დიდმა რუსმა ასტროფიზიკოსმა ვ. ცერასკიმ (1849 — 1925).

ფოტოსურათებზე ცვალებადი ვარსკვლავების ძებნას საუკუნის მეოთხედი მოახმარა ვ. ცერასკის ცოლმა ლ. ცერასკაიამ, სპეციალობით პედაგოგ-ენათმეცნიერმა. ეს ვარსკვლავები კი გამოიკვლია გამოჩენილმა ასტრონომმა ს. ბლაჟკომ (1870 — 1956), რომელიც შემდგომ სათავეში ჩაუდგა ობსერვატორიას. საბჭოთა ეპოქაში ცვალებადი ვარსკვლავების გამოკვლევამ დიდი გაქანება პოვა და მოსკოვის ობსერვატორია (დღეს პ. შტერნბერგის სახ. სახელმწიფო ასტრონომიული ინსტიტუტი) მეცნიერების ამ დარგში მსოფლიო ცენტრად იქცა.

პიკერინგის მიერ წამოწყებულ ცვალებად ვარსკვლავთა შესწავლას დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა მეცნიერებისათვის.

ჰაინრიხ ნორის რესელი

ვარსკვლავთა შესწავლაში დიდი დამსახურება მიუძღვის ამერიკელ ასტრონომს ჰაინრიხ ნორის რესელს (1877 — 1957). იგი სამეცნიერო მოღვაწეობას ეწეოდა ქ. პრინსტონში, აშშ-ის ჩრდილო-აღმოსავლეთში. აქ 1906 წ. რესელი იყო პრინსტონის უნივერსიტეტის ასტრონომიის პროფესორი და ობსერვატორიის დირექტორი.

ხანგრძლივი გამოკვლევების შედეგად რესელმა დაადგინა კავშირი ვარსკვლავების სპექტრებსა და მათ ბრწყინვალებას შორის. ამასთანავე გამოირკვა დიდი განსხვავება ვარსკვლავთა ბრწყინვალებებში. აღმოჩნდა, რომ თეთრი და ცისფერი, ე. ი. ყველაზე ცხელი ვარსკვლავები უდიდესი ბრწყინვალებით გამოირჩევიან, ხოლო ყვითელი და წითელი ვარსკვლავები მკვეთრად იყოფა ორ ჯგუფად: დიდი ბრწყინვალების ვარსკვლავებად, რომელთაც ასეულობით და რამდენიმე ათასჯერ მეტი ბრწყინვალება აქვთ, ვიდრე მზეს და შედარებით ნაკლები ბრწყინვალების ვარსკვლავებად, როგორიც, მაგალითად, მზეა, ან ოდნავ ნაკლები. ასე დაადგინეს, რომ ბრწყინვალების მიხედვით ვარსკვლავები იყოფიან გიგანტებად და ჯუჯებად. მოგვიანებით გამოირკვა, რომ ბრწყინვალებით გიგანტები და ჯუჯები სიდიდისა და მასის მიხედვითაც გიგანტებსა და ჯუჯებს წარმოადგენენ. თუმცა მასებში განსხვავება ისე დიდი არაა, როგორც ბრწყინვალებასა და სიდიდეში. ჩვენი გიგანტური მზე თავისი უდიდესი გამოსხივებით მხოლოდ და მხოლოდ ყვითელი ჯუჯა, ჩვენი გალაქტიკის რიგითი, ვარსკვლავია.

ამრიგად, დადასტურდა, რომ ვარსკვლავთა უმრავლესობა გიგანტები და ჯუჯებია, ამასთან ჯუჯები შეუდარებლად მეტია, ვიდრე გიგანტები. გამოირკვა აგრეთვე, რომ გიგანტებსა და ჯუჯებს გარდა, სამყაროში არსებობენ აგრეთვე ზეგიგანტები (ცხელი — თეთრ-ცისფერი და ცივი — წითლები), სუბგიგანტები და სუბჯუჯები (ე. ი. ვარსკვლავები, რომლებიც ბრწყინვალების მიხედვით გიგანტებს ან ჯუჯებს უახლოვდებიან) და, ბოლოს, თეთრი ჯუჯები.



ჰაინრიხ ნორის რესელი.

რესელმა და დანიელმა ასტრონომმა ე. ჰერცშპრუნგმა (დაიბადა 1873 წ.) ააგეს საგანგებო

დიაგრამა, რომელზეც ნაჩვენებია კავშირი ვარსკვლავთ სპექტრებსა და მათ ბრწყინვალებას შორის. ეს დიაგრამა (მას „სპექტრ-ბრწყინვალების“ ან ჰერცშპრუნგ-რესელის დიაგრამას უწოდებენ) დიდ როლს თამაშობს ვარსკვლავთ სამყაროს შესწავლაში. იგი განუწყვეტლივ ივსება და სწორდება ახალი მონაცემების საფუძველზე.

რესელი არის ვარსკვლავთ ბუნებისა და განვითარების გზების შესახებ თანამედროვე შეხედულებათა ფუძემდებელი. მას მიაჩნდა, რომ სხვადასხვა სპექტრის მქონე ვარსკვლავები განვითარების სხვადასხვა სტადიაში იმყოფებიან. მართალია, მან ვერ შეძლო ვარსკვლავთ განვითარების ზუსტი სქემის შედგენა, მაგრამ მისი იდეა სწორი იყო. ახლა დადგენილია, რომ ამჟამად არსებულ ვარსკვლავებს აქვს სხვადასხვა ასაკი და რომ მათ შორის ყველაზე ცხელი და კაშკაშა — თეთრი და ცისფერი — ახალგაზრდები არიან.

რესელი ასტრონომიის სხვა დარგებშიც ბევრს მუშაობდა, განსაკუთრებით მზის სისტემის კოსმოგონიის სფეროში. მრავალი გამოჩენილი ამერიკელი ასტრონომი მისი მოწაფე იყო.

კარლ შვარცშილდი და არტურ სტენლი ედინგტონი

XX ს. დასაწყისში სხვადასხვა ქვეყანამ მსოფლიოს მისცა ვარსკვლავთ სამყაროს ბევრი გამოჩენილი ასტრონომ-მკვლევარი. ამ სტატიის მოცულობა საშუალებას არ იძლევა გაგაცნოთ ყველა მათგანის ცხოვრება და მოღვაწეობა. ამიტომ გესაუბრებით მხოლოდ ორ ასტროფიზიკოსზე — გერმანელ მეცნიერ კარლ შვარცშილდსა (1873 — 1916) და ინგლისელ — არტურ სტენლი ედინგტონზე (1882 — 1944).

კარლ შვარცშილდი მიუნჰენის უნივერსიტეტში სწავლობდა. აქ მისი მასწავლებელი იყო გამოჩენილი გერმანელი ასტრონომი ჰ. ზეელიგერი (1849 — 1924), რომელიც ბევრს მუშაობდა ირმის ნახტომის აგებულების შესწავლაზე. ზეელიგერის გავლენამ წარმართა შვარცშილდის მეცნიერული ინტერესები. 1901 წლიდან 1909 წლამდე შვარცშილდი იყო გეტინგენის უნივერსიტეტის პროფესორი და ობსერვატორიის დირექტორი, 1909 წლიდან ხელმძღვანელობდა პოტსდამის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიას.

შვარცშილდმა ბევრი რამ გააკეთა ვარსკვლავთა სიკაშკაშის შესწავლის საქმეში. აქ მან კვლევის ფოტოგრაფიული მეთოდები გამოიყენა. მისი შედგენილი კატალოგი, რომელშიც 3500 ვარსკვლავის სიკაშკაშის ზუსტი მონაცემებია შეტანილი, მეცნიერებისთვის ფასდაუდებელ შენაძენს წარმოადგენს.

განსაკუთრებით ბეჯითად მუშაობდა შვარცშილდი ჩვენს გალაქტიკაში ვარსკვლავთ მოძრაობების შესასწავლად. მისმა გამოკვლევებმა ბევრი რამ შესძინა მეცნიერებას გალაქტიკის აგებულების შეცნობისა და მასში ვარსკვლავთ მოძრაობების კანონზომიერების გამორკვევის საკითხში.

შვარცშილდმა, ერთ-ერთმა პირველმა მეცნიერებში, სერიოზულად მოჰკიდა ხელი ვარსკვლავთ



არტურ სტენლი ედინგტონი.

ატმოსფეროებისა და ვარსკვლავთა შინაგანი აგებულების შესწავლის საქმეს. ცნობილია, რომ მზის ატმოსფეროს აგებულება რთულია. მაგრამ მზე რიგითი ვარსკვლავია. მაშასადამე, არც სხვა ვარ-

სკვლავების ატმოსფეროა ნაკლებ რთული, ხოლო, მაგალითად, ვარსკვლავ-გიგანტების ატმოსფეროები გაცილებით უფრო ვრცელიცაა, ვიდრე რიგითი ვარსკვლავებისა. შვარცშილდმა პირველმა დაამუშავა ვარსკვლავთ ატმოსფეროების აგებულების თეორია. XX ს. მეორე ნახევარში, როდესაც გაცილებით მეტი იცოდნენ ვარსკვლავთ ფიზიკური ბუნების შესახებ, ვიდრე შვარცშილდის დროს იყო ცნობილი, მეცნიერები ავითარებენ და აღრმავებენ წარმოდგენებს ვარსკვლავებისა და მათი ატმოსფეროების შესახებ.

ადრე შეწყდა შვარცშილდის ცხოვრება და მოღვაწეობა. 1914 წ. იგი ჯარში გაიწვიეს და ფრონტზე დაიღუპა.

ამჟამად აშშ-ში ვარსკვლავთ აგებულებისა და განვითარების შესწავლაზე მუშაობს გამოჩენილი მკვლევარი, კ. შვარცშილდის ვაჟიშვილი მარტინ შვარცშილდი.

არტურ სტენლი ედინგტონი სწავლობდა კემბრიჯის უნივერსიტეტში (ინგლისი). 1906 წლიდან 1913 წლამდე იგი იყო ინგლისის უძველესი, გრინვიჩის ობსერვატორიის ასისტენტი, ხოლო 1913 წლიდან — კემბრიჯის უნივერსიტეტის პროფესორი და ობსერვატორიის დირექტორი.

ედინგტონიც ბევრს მუშაობდა ვარსკვლავთა მოძრაობის შესწავლაზე, მაგრამ მისი მთავარი დამსახურება ისაა, რომ მან პირველმა დაამუშავა ვარსკვლავთა შინაგანი აგებულების თეორია. ფიზიკა ედინგტონის დროისათვისაც დღევანდელთან შედარებით დაბალ დონეზე იდგა, ამიტომ მისი ვარაუდები და გამოთვლები ვარსკვლავთა აგებულებისა და მათში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესახებ სრულყოფილი ვერ იქნებოდა.

შვარცშილდმა და ედინგტონმა საფუძველი ჩაუყარეს ვარსკვლავთ აგებულების შესწავლას. ახლა ჩვენ ამ მხრივ გაცილებით მეტი ვიცით. ■

ედვინ ჰაგლი

კანტი, ლამბერტი და სხვა სწავლულები XVIII საუკუნის მეორე ნახევრის დასაწყისში ვარაუდობდნენ, რომ ჩვენი გალაქტიკა ერთ-ერთი სისტემაა უსასრულო სამყაროში არსებულ უთვალავ ვარსკვლავთ სისტემას შორის. ეს ვარაუდი თავის დროზე მხოლოდ გაბედული მოსაზრება გახლდათ. ამის შემოწმება იმ დროს შეუძლებელი იყო. მეცნიერებას ჯერ კიდევ არ გააჩნდა რაიმე ცნობა თვით გალაქტიკის ფორმისა და ზომის შესახებ. მიუხედავად ამისა, XVIII საუკუნის დასასრულისა და XIX საუკუნის პირველი ნახევრის მოწინავე მეცნიერები იზიარებდნენ ამ აზრს, თუმცა მისი განმტკიცება არაფრით არ შეეძლოთ.

უ. ჰერშელისა და ვ. სტრუვეს შრომებმა დიდად წასწიეს წინ გალაქტიკის შესწავლის საქმე. XIX საუკუნის შუა წლებში ირლანდიელმა ასტრონომმა ე. პარსონსმა თავისი ვეება ტელესკოპის დახმარებით აღმოაჩინა, რომ მრავალ ნისლეულს, რომლებიც ცალკეულ ვარსკვლავებად არ იშლებიან, სპირალური ფორმა აქვთ. სპექტრული ანალიზის აღმოჩენისა და ცის სხეულთა შესწავლაში მისი გამოყენების შემდეგ კი გამოირკვა, რომ მრავალი ნისლეულის, განსაკუთრებით სპირალური ნისლეულების, სპექტრი არ განსხვავდება ვარსკვლავთა ჩვეულებრივი სპექტრისაგან. ამით თითქოს დასტურდებოდა, რომ ამგვარი ნისლეულები, შეიძლება შორეული ვარსკვლავთ სისტემები ყოფილიყო. მიუხედავად ამისა, XIX საუკუნის მეორე ნახევარში მეცნიერების უმრავლესობა არ იზიარებდა აზრს ვარსკვლავთა მრავალრიცხოვანი სისტემის არსებობის შესახებ. მათ ჩვენი გალაქტიკა სამყაროს ერთადერთ ვარსკვლავთ სისტემად მიაჩნდათ, თვით სამყაროს კი, მათი შეხედულებით, სასრულო ზომები ჰქონდა.

XX საუკუნის დასაწყისში ახალმა აღმოჩენებმა მეცნიერები აიძულა მეტი ყურადღება მიექციათ სპირალური და სხვა „დაუშლელი“ ნისლეულების ბუნების საკითხისათვის. ზოგიერთ მათგანში (კერძოდ, ანდრომედას თანავარსკვლავედის დიდ ნისლეულში) ახლად ანთებული ვარსკვლავები შეამჩნიეს. როცა სპექტრული ანალიზის დახმარებით ზოგიერთი ნისლეულის მოძრაობის სიჩქარე გაზომეს, აღმოჩნდა, რომ ისინი უდიდესი სიჩქარით— წამში ათასობით კილომეტრის სიჩქარით მოძრაობ-

დნენ. ამავე დროს ყოველგვარი ცდა — უშუალოდ გაეზომათ ნისლეულების გადაადგილება ცის ფონზე, უშედეგო აღმოჩნდა. ეს კი იმას ნიშნავდა, რომ ისინი გაცილებით უფრო შორს იმყოფებოდნენ, ვიდრე ირმის ნახტომის ყველაზე შორეული ვარსკვლავები.

ამ მანძილების რამდენადმე ზუსტი განსაზღვრა დიდი ხნის განმავლობაში არ ხერხდებოდა. 1920 წელს შვედმა ასტრონომმა ლუნდმარკმა გვიჩვენა, რომ მანძილი ანდრომედას ნისლეულამდე შეადგენს არა ნაკლებ 650000 სინათლის წელს. იმავე წელს ამერიკელმა ასტრონომმა კერტისმა მოიყვანა მნიშვნელოვანი საბუთები იმის დასამტკიცებლად, რომ სპირალური ნისლეულები ვარსკვლავთა სისტემებია და ჩვენგან ასეულ ათასობით, მილიონობით და ათეულ მილიონობით სინათლის წლითაა დაშორებული. მიუხედავად ამისა, მრავალი ასტრონომი ეწინააღმდეგებოდა ლუნდმარკისა და კერტისის დასკვნებს და კიდევ ფიქრობდნენ, რომ სპირალური ნისლეულები ჩვენს ვარსკვლავთა სისტემას ეკუთვნიან და თვითონ არ წარმოადგენენ ვარსკვლავთ სისტემებს.



ედვინ ჰაბლი.

1924 წელს მთელ მსოფლიოს ეუწყა, რომ ამერიკელმა ასტრონომმა ედვინ ჰაბლმა მაუნტ-უილსონის (კალიფორნია) ობსერვატორიაში ახლად დადგმული 250 სმ დიამეტრის სარკის მქონე გიგანტური ტელესკოპის დახმარებით საბოლოოდ დაამტკიცა, რომ ანდრომედას ნისლეულსა და ზოგიერთ სხვა ნისლეულს ვარსკვლავური აღხაგობა აქვთ და ირმის ნახტომის ფარგლებს გარეთ იმყოფებიან.

ამრიგად, პირველად დაამტკიცეს, რომ ჩვენი გალაქტიკა სამყაროში ერთადერთი ვარსკვლავთ სისტემა როდია. ასტრონომიის ისტორიაში დაიწყო ახალი ეპოქა, სხვა ვარსკვლავთა სისტემების აღმოჩენის, შესწავლისა და სამყაროს უსასრულო სივრცეების გამოკვლევებისა. ამ ეპოქის დასაწყისი და მრავალი შემდგომი მიღწევა დაკავშირებულია ედვინ ჰაბლის სახელთან.

ჰაბლი დაიბადა 1889 წელს მისურის შტატში (აშშ). სწავლობდა ჩიკაგოს უნივერსიტეტში, შემდეგ ინგლისში, ოქსფორდის უნივერსიტეტში. 1914 წელს დაბრუნდა ჩიკაგოში და მოეწყო ასისტენტად იერკსის ობსერვატორიაში (ჩიკაგოს მახლობლად), სადაც მსოფლიოში უდიდესი, 102 სმ ობიექტივის მქონე რეფრაქტორი დგას. ჰაბლის სამეცნიერო მუშაობა პირველმა მსოფლიო ომმა შეწყვიტა. იგი ჯარში გაიწვიეს. ჯარიდან დაბრუნების შემდეგ ჰაბლი მაუნტ-უილსონის, მსოფლიოს ერთ-ერთი უდიდესი ასტროფიზიკური ობსერვატორიის, ასტრონომი გახდა.

პირველი შრომები ჰაბლმა მკრთალი ნისლეულების ფოტოგრაფიულ შესწავლას მიუძღვნა. თავის შრომებში იგი სპირალური ნისლეულების ვარსკვლავურ ბუნებას ამტკიცებდა. ამ ნისლეულებს ჰაბლმა გარეგალაქტიკური, ე. ი. ჩვენი გალაქტიკის ფარგლებს გარეთ მდებარე ნისლეულები უწოდა.

1924 წლის აღმოჩენამ ჰაბლს მსოფლიო სახელი მოუხვეჭა. 250 სანტიმეტრიანი რეფლექტორის დახმარებით ჰაბლის მიერ მიღებულ ფოტოსურათებზე სამი ნისლეულის — ანდრომედას, სამკუთხედისა და კატალოგში 6822 ნომრით აღნიშნული ნისლეულის—განაპირა (ნაკლებად კაშკაშა) უბნები გარკვევით იშლებოდა ვარსკვლავებად. ფოტოსურათების შესწავლით გამოირკვა, რომ ამ ვარსკვლავებს შორის ბევრია ცვალებადი ვარსკვლავი — ცეფეიდები. ამ გარემოებას უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა.

ჯერ კიდევ XIX საუკუნის ბოლოს გამოჩენილმა ამერიკელმა ასტრონომმა ე. პიკერინგმა ჰარვარდის უნივერსიტეტის ობსერვატორიაში დაიწყო ცვალებად ვარსკვლავთა ვრცელი გამოკვლევები. 1908 წელს პიკერინგის თანამშრომელმა ქალმა ლივიტმა (1868—1921) აღმოაჩინა ცვალებადი ვარსკვლავების — ცეფეიდების — შესანიშნავი თავისე-

ბურება: რაც უფრო დიდია ცეფეიდების სიკაშკაშის ცვლილების პერიოდი, მით მეტია მათი ბრწყინვალება, ე. ი. მათი ჭეშმარიტი სინათლის ძალა. ეს იმას ნიშნავს, რომ, თუ რომელიმე ცეფეიდზე დაკვირვების შედეგად მისი სიკაშკაშის ცვლილების პერიოდის სიდიდე დადგინდა, მაშინ განსაზღვრული ფორმულის საშუალებით გამოითვლება მისი სინათლის ძალაც მზესთან შედარებით. ამის შემდეგ უკვე ადვილია გამოვითვალოთ, რა მანძილზე უნდა იმყოფებოდეს ჩვენგან ეს ცეფეიდი, თუკი დადგენილი ბრწყინვალებისას დედამიწიდან გარკვეული ხილული ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავად ჩანს. რადგანაც ცეფეიდები უდიდესი ბრწყინვალების მქონე ვარსკვლავებია (ისინი გივანტები ან ზეგიგანტები არიან), ასტრონომებმა ისინი პირველ რიგში აღმოაჩინეს გარეგალაქტიკურ ნისლეულებში, რომელთა ვარსკვლავური აღნაგობა ჰაბლმა დაადგინა.

ამრიგად, ჰაბლმა განსაზღვრა მანძილები მის მიერ გამოკვლეულ გარეგალაქტიკურ ნისლეულებამდე. მანძილი ანდრომედას ნისლეულამდე მილიონამდე სინათლის წლის ტოლი აღმოჩნდა. ამჟამად ახალი მონაცემების საფუძველზე ეს მანძილი მილიონნახევარი სინათლის წლის ტოლადაა მიჩნეული.

დაახლოებით ასეთივე აღმოჩნდა მანძილი სამკუთხედის თანავარსკვლავედში მყოფ ნისლეულამდე. ამრიგად, მანძილებმა ჩვენგან უახლოეს ნისლეულებამდე რამდენიმე ათეულჯერ გადააჭარბა ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის ზომებს.

ეს მხოლოდ დასაწყისი იყო. შემდგომ წლებში ჰაბლმა გამოიკვლია მრავალი გარეგალაქტიკური ნისლეული. მათ ახლა გარეგალაქტიკებს უწოდებენ. აღმოჩნდა, რომ ყველა ნისლეული სპირალური ფორმისა არ არის. ბევრს ელიფსური ფორმა აქვს, ზოგს — არაწესიერი. ასეთებია, მაგალითად, მაგელანის ღრუბლები (დიდი და მცირე) — ვარსკვლავთა უზარმაზარი გროვები, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალითაც ჩანს ცის სამხრეთ ნახევარსფეროში.

ჰაბლმა გარეგალაქტიკების ფორმისა და სხვა თავისებურებათა მიხედვით მოახდინა მათი დაწვრილებითი კლასიფიკაცია.

შემდგომი წლების განმავლობაში ჰაბლისა და სხვა ასტრონომების შრომების წყალობით სწრაფად ფართოვდებოდა სამყაროს შესწავლილი ნაწილის ფარგლები. ფოტოგრაფიის დახმარებით (ფოტოფირფიტებზე) აღმოაჩინეს სულ უფრო და უფრო შორეულ მანძილებზე მყოფი მილიონობით გალაქტიკა, აგრეთვე გალაქტიკების გროვები და მთელი „ღრუბლები“.

1941 წელს ჰაბლის სამუშაოები ისევ შეწყდა. იგი სამხედრო-ტექნიკურ ღონისძიებებში მონაწილეობის მისაღებად გაიწვიეს. ომის შემდეგ ჰაბლმა განაახლა გამოკვლევები მაუნტ-უილსონის ობსერვატორიაში და ერთდროულად საქმიანი მონაწილეობა მიიღო მთა პალომარზე ახალი ობსერვატორიის დაპროექტებაში. ამ ობსერვატორიაში ომის შემდგომ წლებში მსოფლიოში უდიდესი 508 სმ დიამეტრიანი სარკის მქონე რეფლექტორი დაიდგა.

ჰაბლი გარდაიცვალა 1953 წელს. ის იყო ჩვენი ეპოქის ერთ-ერთი გამოჩენილი, ნიჭიერი ასტრონომი და ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი შორეულ ვარსკვლავთ სისტემების შესწავლის პიონერი.

ჩვენი ეპოქა სამყაროს შეცნობის განუწყვეტელი და უჩვეულოდ სწრაფი ზრდისა და სამყაროს სულ უფრო და უფრო შორეულ სიღრმეებში შეჭრის ეპოქაა, რასაც ხელს უწყობს არა მარტო სპექტრული ანალიზი და ფოტოგრაფია, არამედ ახალი მძლავრი საშუალება — რადიოგამოკვლევები.

გრიგოლ აბრამის ძე შაინი

გამოჩენილი საბჭოთა მეცნიერის, ჩვენი ეპოქის ერთ-ერთი უდიდესი ასტროფიზიკოსის, გრიგოლ აბრამის ძე შაინის (1892 — 1956) ცხოვრება მნიშვნელოვანი და ნაყოფიერი მიღწევებით დაგვირგვინებული, დაუღალავი შემოქმედებითი მეცნიერული შრომის ბრწყინვალე მაგალითია.

გ. შაინი დაიბადა და გაიზარდა ოდესაში, ღარიბი ხელოსნის ოჯახში. მას პატარაობიდანვე იზიდავდა მეცნიერებისა და ხელოვნების სხვადასხვა დარგი. ოჯახის ხელმოკლეობამ მომავალ მეცნიერს გიმნაზიაში სწავლის შესაძლებლობა მოუსპო, ამიტომ იძულებული იყო დამოუკიდებლად

ემეცადინა. ცხრამეტი წლისამ ექსტერნად ჩააბარა გიმნაზიის სრული კურსის გამოცდა. მაგრამ მანამდე წარმატებით მუშაობდა მისთვის საყვარელ ასტრონომიაში, ცდილობდა ღრმად დაუფლებოდა ამ მეცნიერებას და მთელი მონდომებით სწავლობდა მათემატიკასა და ფიზიკას. ჯერ კიდევ მაშინ სახლის სახურავიდან გატაცებით აკვირდებოდა ცას უმარტივესი ასტრონომიული ხელსაწყოებით. მან გაიცნო ოდესის უნივერსიტეტის ობსერვატორიის ასტრონომები, რომლებმაც იგი ობსერვატორიაში სამუშაოდ მიიღეს. საშუალო სკოლის პროგრამით გამოცდების ჩაბარების დროისათვის შაინს უკვე დაბეჭდილი ჰქონდა ნაშრომი, სადაც გამოიკვლია ერთ-ერთი მეტეორული ნაკადის ორბიტა.

1912 წლიდან გ. შაინი სწავლობდა იურიევის უნივერსიტეტში, შემდეგ მუშაობდა პერმისა და ტომსკის უნივერსიტეტებში ასტრონომიის პროფესორების ასისტენტად. 1921 წლიდან პულკოვოს ობსერვატორიის ასტრონომი გახდა, ხოლო 1923 წლიდან ამ ობსერვატორიის სიმეიზის განყოფილებაში მუშაობდა ყირიმში.

ამ წლებში გაირკვა გ. შაინის შემდგომი შრომების ძირითადი მიმართულება. მან ამოცანად დაისახა ვარსკვლავებისა და ნისლეულების ფიზიკური ბუნებისა და ვარსკვლავთ სისტემების აღნაგობის გამოკვლევა. შაინი სრულყოფილად დაეუფლა ცის სხეულების სპექტრული ანალიზისა და ფოტოგრაფიის მეთოდებს. მისი მასწავლებელი იყო ა. ბელოპოლსკი.

1924 წელს სიმეიზის ობსერვატორიაში დადგეს 102 სმ სარკიანი რეფლექტორი, რომელიც დიდი ხნის განმავლობაში ერთ-ერთ უდიდეს რეფლექტორად ითვლებოდა ევროპაში. ამ რეფლექტორის დადგმას შაინი ხელმძღვანელობდა. შაინმა ეს მძლავრი ხელსაწყო ვარსკვლავთა სპექტრული გამოკვლევებისათვის გამოიყენა. მან სიმეიზის მეორე ასტრონომ ვ. ალბიცკისთან (1891 — 1952) ერთად ბევრი ვარსკვლავის სხივური სიჩქარეები განსაზღვრა.

თავის დროზე ჯერ კიდევ გალილეი ტელესკოპით აკვირდებოდა მზის დისკოზე ლაქების გადაადგილებას და მართებულად დაასკვნა, რომ მზე ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ, რითაც აიხსნება მასზე ლაქების გადაადგილება. მზე ერთ-ერთი ვარსკვლავია. მაშასადამე, ვარსკვლავებიც უნდა



გრიგოლ აბრამის ძე შაინი.

ბრუნავდნენ. მაგრამ თანამედროვე უძლიერეს ტელესკოპებშიც კი ვარსკვლავები მნათ წერტილებად მოჩანს. ამიტომ ფიქრიც არ შეიძლება იმაზე, რომ ვარსკვლავებზე დაენახათ მზის ლაქების მსგავსი რაიმე ნიშნები, რომელთა გადაადგილების მიხედვითაც შესაძლებელი იქნებოდა ვარსკვლავთა ბრუნვის დადგენა. ამის გაკეთება შეიძლებოდა მხოლოდ დოპლერის პრინციპზე დამყარებული (იხ. გვ. 387) უზუსტესი სპექტრული გამოკვლევების გზით. ასეთი გამოკვლევები ჩაატარა გრიგოლ შაინმა აშშ-ში მომუშავე ვ. სტრუვეს ბადიშიშვილ, გამოჩენილ ასტრონომ ო. სტრუვესთან (1897 — 1963) ერთად. მათ არა მარტო დაადგინეს, რომ ვარსკვლავები ბრუნავენ, არამედ მათი ბრუნვის სიჩქარეც განსაზღვრეს. ამასთან აღმოჩნდა, რომ ყველაზე უფრო ცხელი ვარსკვლავები თავიანთ ეკვატორებზე წამში ასეულობით კილომეტრი სიჩქარით ბრუნავენ, მაშინ როდესაც მზის ბრუნვის სიჩქარე მის ეკვატორზე მხოლოდ 2 კმ/წმ შეადგენს.

ვარსკვლავთ ბრუნვის აღმოჩენამ და მათი სხივური სიჩქარეების გამოკვლევამ, ამავე წლებში შესრულებულ სხვა ნაშრომებთან ერთად, შაინს ფართოდ გაუთქვა სახელი ყველა ქვეყნის ასტრონომებში. 1939 წელს ის აკადემიკოსად, შემდეგ კი მსოფლიოში უძველესი, ლონდონის ასტრონომიული საზოგადოების წევრად აირჩიეს.

შაინის სამუშაოები სიმეიზში დიდმა სამამულო ომმა შეწყვიტა. ყირიმის აღებისას ფაშისტმა დამპყრობლებმა სიმეიზის ობსერვატორია დაანგრიეს, მისი 102 სანტიმეტრიანი რეფლექტორის ევაკუაცია არ მოხერხდა და მტრებს ჩაუვარდა ხელთ. მათ რეფლექტორი გერმანიაში წაიღეს და დააზიანეს.

ომის მრისხანე წლებში, ყველა სიძნელის მიუხედავად, შაინმა თავისი გამოკვლევები აბასთუმანში, საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ობსერვატორიაში განაგრძო. ყირიმის განთავისუფლების შემდეგ გ. შაინი და სხვა ასტრონომები დაუყოვნებლივ დაბრუნდნენ სიმეიზში. ომის შემდგომ წლებში სიმეიზის ობსერვატორია არა მარტო აღადგინეს, არამედ მის მახლობლად, სოფელ პარტიზანსკოეში, ახალი მძლავრი ობსერვატორია ააგეს. ორივე ობსერვატორიამ შეადგინა ერთი სამეცნიერო დაწესებულება — სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ყირიმის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, ერთი უდიდესთაგანი მსოფლიოში. აკადემიკოსი გ. შაინი ახალ ობსერვატორიის დირექტორად დანიშნეს. მასვე დააკისრეს ობსერვატორიის მშენებლობისა და მისი მაღალი ხარისხის ხელსაწყოებითა და იარაღებით აღჭურვის ხელმძღვანელობა. შაინმა შესანიშნავად გაართვა თავი ამ ძნელ საქმეს.

როგორც კი ობსერვატორიაში პირველი ხელსაწყოები დადგეს, შაინმა მაშინვე განაგრძო კვლევა.

XX საუკუნის პირველ ნახევარში ვარსკვლავების შესწავლამ ვარსკვლავთა სამყაროს მთელი მრავალფეროვნება გადაგვიშალა. აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავები თავიანთი ზომებითა და სინათლის ძალის მიხედვით გიგანტებად და ჯუჯებად იყოფიან. ასტრონომებმა დააზუსტეს ვარსკვლავთა განსხვავებანი მათი სპექტრების თავისებურებების მიხედვით, შეაგროვეს მრავალი მონაცემი ვარსკვლავთა მასებისა და ტემპერატურების შესახებ, მათ მოძრაობებზე და სივრცეში მათ განაწილებაზე. ყოველივე ამან ასტრონომები იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ ამჟამად არსებულ ვარსკვლავებს განსხვავებული ასაკი აქვთ: ისინი ერთდროულად არ წარმოქმნილან. ვარსკვლავთა წარმოშობა ახლაც გრძელდება.

მაგრამ, რისგან წარმოიქმნება ვარსკვლავები? ცხადია, ნივთიერების იმ ფორმებიდან, რომლებიც ჩვენსა და სხვა ვარსკვლავთ სისტემებში არსებობს. ნივთიერების ასეთი ფორმა შეიძლება იყოს გაზოვანი და გაზოვან-მტვეროვანი ნისლეულები. ჩვენს გალაქტიკაში (ისევე როგორც სხვებში) ისინი დიდი რაოდენობით აღმოჩნდა. მათი სიმკვრივე უმნიშვნელოა, მაგრამ ვარსკვლავებთან შედარებით ძალზე დიდი ზომისანი არიან, ხოლო მათი საერთო მასა შეიძლება შევადაროთ გალაქტიკის ყველა ვარსკვლავის მასას. მაშასადამე, გაზოვანი ნისლეულების გულდასმით გამოკვლევა აუცილებელია ვარსკვლავებისა და თვით ნისლეულების წარმოშობის საკითხის გადასაწყვეტად. ნისლეულების შესწავლაში უდიდესი წვლილი შეიტანა გ. შაინმა.

შაინი არ შემოისაზღვრა უკვე ცნობილი გაზოვანი ნისლეულების გამოკვლევით. მან ჩვენსა და სხვა გალაქტიკებში აღმოაჩინა გაიშვიათებული წყალბადისაგან შემდგარი ბევრი ახალი გაზოვანი ნისლეული, რომლებიც ტელესკოპში თვალით არ ჩანან და რომელთა შემჩნევა მხოლოდ განსაკუთრებული ფოტოგადაღების გზით შეიძლება. შაინმა თავის თანამშრომლებთან ერთად 300-ზე მეტი ასეთი ნისლეული აღმოაჩინა. გამოირკვა, რომ ზოგიერთი ნისლეული წარმოადგენს გაზის არა უფორმო მასას, არამედ მკვეთრად გამოსახული, ბოჭკოვანი აგებულება აქვს და შიგ შეინიშნება სხვადასხვაგვარი ფიზიკური (კერძოდ, მაგნიტური) მოვლენა. აღმოჩნდა, რომ მრავალ ნისლეულს უზარმაზარი მასა აქვს — მზის მასაზე რამდენიმე ათასჯერ მეტი. ნისლეულებს შაინმა მრავალი გამოკვლევა მიუძღვნა, რომელთა ნაწილი თავის თანამშრომელ ქალთან — ნიჭიერ ასტრონომ ვერა თევდორეს ასულ გაზესთან (1899 — 1954) ერთად შეასრულა.

დიდი მნიშვნელობა აქვს შაინის სხვა გამოკვლევებსაც. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მისი შრომები ისეთ ვარსკვლავებზე, რომლებიც უხვად შეიცავენ ნახშირბადს. ის ბევრს და წარმატებით მუშაობდა აგრეთვე სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავების შესწავლასა და სხვა საკითხებზე.

შაინს ჯანმრთელობა ხელს არ უწყობდა. 1952 წელს იძულებული იყო ობსერვატორიის დირექტორის თანამდებობიდან განთავისუფლება ეთხოვა. მისი თხოვნა დააკმაყოფილეს, მაგრამ სამეცნიერო მუშაობისათვის სიცოცხლის უკანასკნელ დღემდე არ დაუნებებია თავი.

მეცნიერი-რევოლუციონერი პავლე კარლის ძე შტერნბერგი

ყველა მკითხველმა როდი იცის, რომ პავლე კარლის ძე შტერნბერგი, რომლის სახელს მოსკოვის უნივერსიტეტის ასტრონომიული ინსტიტუტი ატარებს, არა მარტო გამოჩენილი ასტრონომი, არამედ შესანიშნავი რევოლუციონერი, დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის აქტიური მონაწილე იყო.

შტერნბერგი დაიბადა 1865 წელს ქ. ორიოლში. ის ბავშვობიდანვე მუშაობაში მტკიცე და შეუპოვარი იყო, უყვარდა დაწყებული საქმის დაბოლოება. შტერნბერგი ადრევე გაიტაცა ასტრონომიამ. ჯერ კიდევ გიმნაზიაში სწავლობდა, როცა საჩუქრად მიღებული ასტრონომიული მილისათვის თვითონ დაამზადა სადგარი, სახლის სახურავზე აიტანა და გამუდმებით აკვირდებოდა ცას.

გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ, 1883 წელს, შტერნბერგი მოსკოვის უნივერსიტეტში შევიდა და ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე თ. ბრედიხინის მოწაფე გახდა. 1887 წელს, უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ, შტერნბერგი მოსკოვის ობსერვატორიაში მიიწვიეს სამუშაოდ. პირველ წლებში ობსერვატორიის რიგითი თანამშრომელი იყო და ბრედიხინს ეხმარებოდა კომეტების გამოკვლევაში, ხოლო 1890 წლიდან ასტრონომ-დამკვირვებლად მუშაობდა და თან უნივერსიტეტშიც მასწავლებლობდა.

ახალგაზრდა მეცნიერი აქტიურ მონაწილეობას იღებდა ობსერვატორიის გადაკეთებისა და მისი სამეცნიერო მუშაობის გაფართოების საქმეში.

სამეცნიერო მუშაობისათვის შტერნბერგი მუდამ ისეთ თემებს ირჩევდა, რომლებიც განსაკუთრებული სიზუსტის დაკვირვებებსა და გაზომვებს მოითხოვდა. მისი ნაშრომები შესრულების სიზუსტის მხრივ ასტრონომებისათვის ყოველთვის სანიმუშო იყო.

XIX საუკუნის 90-იან წლებსა და XX საუკუნის დასაწყისში შტერნბერგი მუშაობდა მოსკოვის ობსერვატორიის განედის ზუსტ განსაზღვრაზე პოლუსების მოძრაობასთან დაკავშირებით. დედამიწის პოლუსები უძრავ წერტილებს როდი წარმოადგენენ, ისინი გადაადგილდებიან დედამიწის ზედაპირზე. ეს გადაადგილებანი მეტად უმნიშვნელოა, სულ რამდენიმე მეტრით განიზომება, მაგრამ მაინც იწვევენ დედამიწის სხვადასხვა ადგილის განედის ცვლილებას.

გულმოდგინე გამოკვლევებით შტერნბერგმა დაასკვნა, რომ პოლუსების მოძრაობას მეტად რთული ხასიათი აქვს და მის ასახსნელად საჭიროა დაკვირვებები დედამიწის ორივე ნახევარსფეროში ვაწარმოოთ. შტერნბერგი აღნიშნავდა აგრეთვე შესაძლო კავშირს პოლუსების მოძრაობასა და დედამიწის ისტორიაში ისეთ მოვლენებს შორის, როგორიცაა, მაგალითად, ყინულოვანი ეპოქები და ზღვის არაერთგზისი შემოტევები ხმელეთზე.

შტერნბერგი დიდ ყურადღებას უთმობდა აგრეთვე რუსეთის ევროპულ ნაწილში სიმძიმის ძალის განსაზღვრას. ამ სამუშაოებს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს: ისინი დახმარებას უწევენ გეოლოგებს სასარგებლო წიაღისეულის აღმოჩენაში. საბჭოთა ეპოქაში ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიაზე ფართოდ გაიშალა ასეთი გამოკვლევები, მაგრამ XIX და XX სს. მიჯნაზე პავლე შტერნბერგი ამ საქმეში გაბედულ ნოვატორად გვევლინება.

შტერნბერგი დიდ დროს ანდომებდა მასწავლებლობას არა მარტო უნივერსიტეტში, არამედ საშუალო სკოლაშიც. იგი მოსწავლეებს ცოცხლად და დიდის გატაცებით გადასცემდა ცოდნას მათემატიკასა და ფიზიკაში. როცა 1900 წელს მოწინავე მოსკოველმა პროფესორებმა, მიუხედავად ხელისუფლების დიდი წინააღმდეგობისა, ნებართვა მიიღეს მოსკოვში საუნივერსიტეტო პროგრამით ქალთა უმაღლესი კურსები აღედგინათ, შტერნბერგი ამ კურსებზე ასტრონომიის პროფესორი გახდა.

შტერნბერგი იმ დროს ცხოვრობდა და მოღვაწეობდა, როდესაც რუსეთის მუშათა კლასი დიდი ბრძოლებისათვის ემზადებოდა კაპიტალიზმისა და თვითმპყრობელობის წინააღმდეგ. მარქსისა და ლენინის შრომების შესწავლამ და მუშების ცხოვრებასა და ბრძოლაზე დაკვირვებამ საბოლოოდ განსაზოვრა მეცნიერის პოლიტიკური შეხედულებანი. მან გადაწყვიტა, გაჰყოლოდა ლენინის პარტიას, ებრძოლა კაპიტალიზმის დამხობისა და სოციალისტური წყობილების დამყარებისათვის.

შტერნბერგი 1905 წლის დეკემბრის შეიარაღე-

ბული აჯანყების დღეებში მოსკოვში არ ყოფილა. ის მივლინებული იყო საზღვარგარეთ და მხოლოდ 1906 წლის დასაწყისში დაბრუნდა, როდესაც აჯანყება უკვე ჩახშობილი იყო. შტერნბერგი ჩამოსვლისთანავე ჩაება ბოლშევიკური ორგანიზაციის მუშაობაში. ეს ის დრო იყო, როდესაც რევოლუციას შორდებოდნენ შემთანხმებლები და მერყევები, პარტია კი რაზმავდა და აძლიერებდა თავის რიგებს იმისათვის, რომ დამარცხების შემდეგ ორგანიზებულად დაეხია უკან და ძალები მოეკრიბა ძლევამოსილი რევოლუციის მოსამზადებლად. შტერნბერგი კვლავ ობსერვატორიის ასტრონომად დარჩა, მაგრამ პარტიის პასუხსაგებ დავალებებსაც ასრულებდა. მაგალითად, მას დაავალეს დეკემბრის აჯანყების შემდეგ დარჩენილი იმ იარაღის მოვლა-პატრონობა, რომლის ერთი ნაწილი კარგა ხანს ინახებოდა ობსერვატორიაში.

რევოლუციურ მუშაობას პავლე შტერნბერგი უმკაცრესი კონსპირაციის პირობებში ეწეოდა; ობსერვატორიაში მის უახლოეს ამხანაგებსაც კი არ შეპარვიათ ეჭვი, რომ შტერნბერგი რევოლუციონერი-ბოლშევიკი იყო.

შეიარაღებული აჯანყების მოსამზადებლად აუცილებელი იყო მოსკოვის დაწვრილებითი გეგმა, სადაც აღნიშნული იქნებოდა ყველა მიხვეულ-მოხვეული ქუჩა და შესახვევი, გასასვლელი და ღია ეზო. მოსკოვის ასეთი გეგმა მეფის ხელისუფლებასაც კი არ გააჩნდა. შტერნბერგის ენერგიისა და გამომგონებლობის წყალობით მოსკოვის ბოლშევიკურმა ორგანიზაციამ შეადგინა ასეთი გეგმა ხელისუფლების თვალწინ და მათი დახმარებითაც კი. მოსკოვის სამეცნიერო წრეებში კარგად იცოდნენ, რომ შტერნბერგი ბევრს მუშაობდა სიმძიმის ძალის დაძაბულობის გამოკვლევებზე. ამიტომ არავის გაჰკვირვებია, როდესაც მან უნივერსიტეტში დააყენა საკითხი, ხელისუფლებისათვის ეთხოვა ნებართვა თვით მოსკოვის ტერიტორიაზე ჩაეტარებინა ასეთი გამოკვლევები სტუდენტებთან ერთად. შტერნბერგს მიზეზად ის მოჰყავდა, რომ ობსერვატორიაში მიმდინარე დაკვირვებები და პედაგოგიური სამუშაო საშუალებას არ აძლევდა ექსპედიცია მოსკოვის გარეთ მოეწყო.

უნივერსიტეტმა შტერნბერგისათვის ასეთი ნებართვა გამოითხოვა და მალე მოსკოვის ქუჩებში მცხოვრებლებისათვის უჩვეულო ხელსაწყოებით აღჭურვილი სტუდენტები გამოჩნდნენ. ყველას, ვისაც სურდა გაეგო, რა ხელსაწყოები იყო და რისთვის იყენებდნენ მათ, განუმარტავდნენ, რომ ზომავენ სიმძიმის ძალის დაძაბულობას, რათა გაიგონ, ხომ არ არის მოსკოვის ქვეშ რკინის ან სხვა ლითონის საბადოები. პოლიცია გააფრთხილეს, ხელი არ შეეშალა მათთვის მუშაობაში.

სინამდვილეში მოსკოვის ზუსტი აგეგმვა მიმდინარეობდა. ამ გაბედულ საქმეში მონაწილეობდნენ არა მარტო სტუდენტები, არამედ უმთავრესად სტუდენტებად გადაცმული მუშები, რომლებსაც შტერნბერგმა წინასწარ ასწავლა გეოდეზიური ხელსაწყოების ხმარება. ქალაქის რაიონების ამგვარად გადაღებულ გეგმებს გულმოდგინედ ინახავდნენ და შემდეგ 1917 წლის ოქტომბრის ბრძოლების დროს გამოიყენეს.

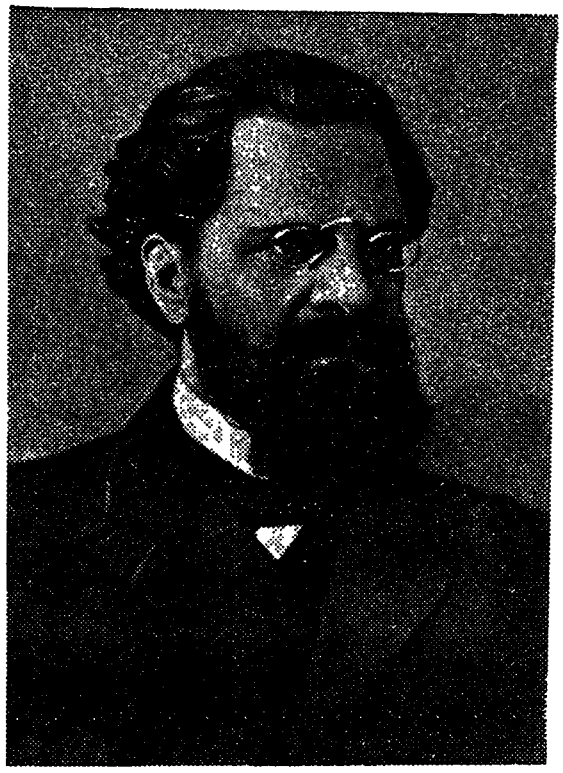
პარტიულ მუშაობასთან ერთად შტერნბერგი არც სამეცნიერო მოღვაწეობას ანელებდა. მოსკოვის ობსერვატორიის გარდაქმნის შემდეგ შტერნბერგი ყველაზე დიდი, თხუთმეტგოჯიანი ასტროგრაფით მუშაობდა, რომელსაც ასტრონომიაში ზუსტი ფოტოგრაფიული გაზომვებისათვის იყენებდა; მას მიზნად ჰქონდა დასახული, ერთ-ერთი შორეული ნისლეულის სივრცული გადაადგილება შეენიშნა.

როგორი დიდიც არ უნდა იყოს ციური სხეულები, მათი მოძრაობის აღმოსაჩენად უნდა ჩავატაროთ უზუსტესი გაზომვები სხვადასხვა დროს საგულდაგულოდ გადაღებულ ფოტოსურათებზე. შტერნბერგი აქაც შეუდარებელი სიზუსტის ხელოვანი აღმოჩნდა. ამ შრომაში დოქტორის სამეცნიერო ხარისხი და პროფესორის წოდება მიიღო, 1916 წელს კი ობსერვატორიის დირექტორი ვ. ცერასკი შეცვალა, რომელმაც სამუშაო ავადმყოფობის გამო დატოვა.

რუსეთში მსოფლიო ისტორიული მნიშვნელობის მოვლენები მწიფდებოდა. 1917 წლის 12 მარტს დაამხეს მეფის მთავრობა. თებერვლის რევოლუციის შემდეგ პირველ თვეებში შტერნბერგი მოსკოვის ბოლშევიკურ ორგანიზაციაში მუშაობდა ლეგალურად. ის მონაწილეობდა წითელი გვარდიის ჩამოყალიბებაში, რომელმაც მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ოქტომბრის ბრძოლებში.

მაგრამ პარტიის ლეგალური მუშაობა დიდხანს არ გაგრძელებულა. 1917 წლის ივლისში დროებითმა მთავრობამ ბოლშევიკების დევნა დაიწყო.

მრავალი პარტიული მოღვაწის დაპატიმრების, პარტიული ორგანიზაციებისა და გაზეთების დარ-



პავლე კარლის ძე შტერნბერგი.

ბევის შემდეგ ბოლშევიკები იძულებულნი გახდნენ იატაკქვეშ განეგრძოთ მუშაობა. პარტიის VI ყრილობამ მიზნად დაისახა შეიარაღებული აჯანყების მომზადება კაპიტალისტებისა და მემამულეთა ძალაუფლების დასამხობად.

პარტიის სხვა წევრებთან ერთად შტერნბერგიც ემზადებოდა გადამწყვეტი რევოლუციური ბრძოლებისათვის. მაგრამ ის ყველაზე დაძაბულ დროსაც კი არ ანებებდა თავს სამეცნიერო მუშაობას.

შტერნბერგი აქტიურ მონაწილეობას იღებდა მოსკოვში პროლეტარული რევოლუციის გამარჯვებისათვის ბრძოლებში. ბოლშევიკების პარტიის მოსკოვის კომიტეტის მიერ გამოყოფილმა საბრძოლო პარტიულმა ცენტრმა იგი თავის რწმუნებულად დანიშნა მოსკოვის ზამოსკვორეცკის რაიონში. აქედან უნდა აეტეხათ სროლა კრემლისათვის, სადაც კონტრრევოლუციის შტაბი იმყოფებოდა.

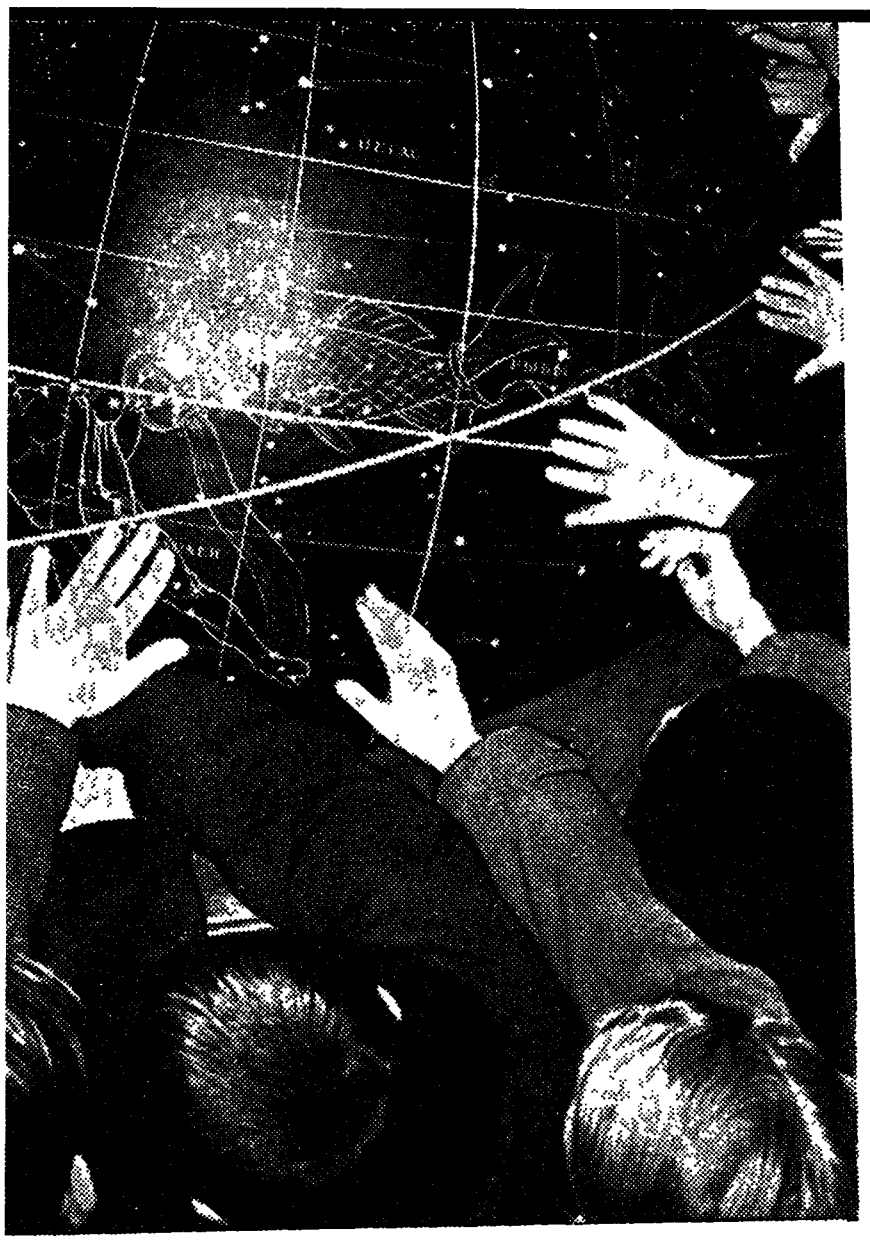
შტერნბერგმა აქ ნამდვილი ბოლშევიკური ხელმძღვანელის თვისებები გამოავლინა. მას ესმოდა, რომ, თუ კარგად შეიარაღებული და გამოცდილი მოწინააღმდეგე გყავს, საქმის წარმატებას წყვეტს გაბედული შეტევითი მოქმედება. შტერნბერგის ინიციატივითა და მისი ხელმძღვანელობით მოხერხდა კრემლის საარტილერიო დაბომბვა, რამაც უზრუნველყო ძლევამოსილი იერიში და კრემლში გამაგრებულ თეთრგვარდიელთა ჯარების დამარცხება.

სოციალისტური რევოლუციის გამარჯვების შემდეგ პავლე შტერნბერგი რამდენიმე ხანს მოსკოვის გუბერნიის კომისარი იყო, შემდეგ კი მთავრობამ უმაღლესი განათლების სისტემის გარდაქმნის მნიშვნელოვანი ამოცანა დააკისრა: უნივერსიტეტები და სხვა უმაღლესი სასწავლებლები, რომლებშიც რევოლუციამდე განათლებას მხოლოდ შეძლებული კლასის წარმომადგენლები იღებდნენ, მისაწვდომი უნდა გამხდარიყო მუშებისა და გლეხებისათვის. ეს კი არც ისე იოლი იყო. ამ საქმეს ისიც ართულებდა, რომ პროფესორ-მასწავლებელთა რეაქციული ნაწილი და ბურჟუაზიული სტუდენტობა ყოველნაირად ეწინააღმდეგებოდნენ მის განხორციელებას.

შტერნბერგის აქტიური მონაწილეობით შემუშავდა ახალი დებულება უმაღლესი სკოლების შესახებ, რომელმაც ფართოდ გაუღო კარები ხალხის წარმომადგენლებს. ამ საქმეში შტერნბერგს მხარს უჭერდა პროფ. კ. ტიმირიაზევი.

მძიმე დღეები დაუდგა ახალგაზრდა საბჭოთა რესპუბლიკას: კონტრრევოლუციის ძალები, რომლებსაც მხარს უჭერდნენ საზღვარგარეთელი იმპერიალისტები, გაერთიანდნენ საბჭოების ძალაუფლების წინააღმდეგ საბრძოლველად. პარტიამ შტერნბერგი გაგზავნა აღმოსავლეთის ფრონტზე კოლჩაკის წინააღმდეგ. როგორც აღმოსავლეთის ფრონტის ერთ-ერთი არმიის რევოლუციური სამხედრო საბჭოს, ხოლო შემდეგ მთელი ფრონტის რევოლუციური სამხედრო საბჭოს წევრი, იგი მონაწილეობდა კოლჩაკის არმიებზე პირველ გამარჯვებაში, შემდეგ კი მათ საბოლოო განადგურებაში. მძიმე ავადმყოფიც კი იგი ფრონტზე იყო, ვიდრე არ აიძულეს სამკურნალოდ მოსკოვში გამგზავრებულიყო, მაგრამ მისი განკურნება ფილტვების მძიმე დაავადებისაგან ვერ შეძლეს და 1920 წლის 1 თებერვალს შტერნბერგი გარდაიცვალა.

კ. ტიმირიაზევმა სამართლიანად უწოდა შტერნბერგს გმირი მეცნიერი. საბჭოთა ასტრონომები და მთელი საბჭოთა ხალხი პატივს სცემს გამოჩენილი მეცნიერისა და ბოლშევიკის პავლე კარლის ძე შტერნბერგის ხსოვნას.





ნორჩი ასტრონომები

ასტრონომიის მოყვარულებს

ძვირფასო მკითხველებო!

ზემოთ წაკითხულ სტატიებში თქვენ ციურ სხეულთა შორეულ სამყაროს გაეცანით. გაეცანით სამყაროს აღნაგობას, ვარსკვლავებს და ვარსკვლავთა სისტემებს, პლანეტებს, კომეტებს, მეტეორებს და სხვა ციურ სხეულებსა თუ მოვლენებს. თქვენ უკვე იმაზეც გაქვთ წარმოდგენა, როგორ ჩამოყალიბდა ასტრონომია, რა წარმატებას მიაღწია ამ მეცნიერებამ, რა მნიშვნელობა აქვს სამყაროს შეცნობას კაცობრიობის პროგრესისათვის.

ბევრი თქვენგანი ალბათ დაინტერესდა ასტრონომიით და გატაცებით წაიკითხავს ამ თემაზე დაწერილ წიგნებს. ზოგი თქვენგანი შესაძლებელია მხოლოდ წიგნების კითხვით არ შემოიფარგლოს და მოინდომოს რაიმე პრაქტიკული სარგებლობა მოუტანოს ასტრონომიას. სამყაროს შემსწავლელი მეცნიერება მხოლოდ პროფესიონალ-ასტრონომების შრომით არ ვითარდებოდა. სხვადასხვა დროს სხვადასხვა ქვეყანაში ასტრონომ-მოყვარულები — სხვადასხვა პროფესიის ადამიანები — თავისუფალ დროს ასტრონომიას ახმარდნენ და ბევრი რამ შესძინეს ამ მეცნიერებას.

როცა კითხულობთ, თუ რა დიდი მიღწევები აქვს ასტრონომიას ჩვენს დროში, როცა ეცნობით უზარმაზარ ტელესკოპებს და სხვა სრულყოფილ, რთულ ხელსაწყოებს, რომლებსაც ასტრონომები იყენებენ, შეიძლება იფიქროთ, რომ ჩვენს დროში შეუძლებელია არაპროფესიონალმა მეცნიერებაში აქტიური როლი ითამაშოს და რაიმე მნიშვნელოვანი აღმოაჩინოს. მართლაც, განა შეიძლება, რიგით მოყვარულს მძლავრი ტელესკოპი და თანამედროვე ასტროფიზიკის ურთულესი ხელსაწყოები ჰქონდეს? ამ ხელსაწყოთა აგებას ხომ უდიდესი სახსრები სჭირდება, ხოლო მათი გამოყენება ისეთ ცოდნასა და გამოცდილებას მოითხოვს, რაც მხოლოდ იმ ადამიანებს შეიძლება ჰქონდეთ, რომლებიც მთლიანად ასტრონომიას ახმარენ თავიანთ უნარს და კვლევის ყველა ხერხსა და საშუალებას არიან დაუფლებული.

მიუხედავად ამისა, ჩვენს დროში ასტრონომიის მოყვარულებს, განსაკუთრებით კი ნორჩ მოყვარულებს, უდიდესი შესაძლებლობა აქვთ არა მარტო შეისწავლონ ასტრონომია, არამედ დიდი სარგებლობაც მოუტანონ მეცნიერებას.

ასტრონომიის ბევრ დარგში მარტივ საშუალებათა გამოყენებით შეიძლება მიაღწიოთ მნიშვნელოვან შედეგებს. ასეთი დარგებია — მეტეორებზე დაკვირვება, ცვალებად ვარსკვლავთა გამოკვლევა, მთვარისა და დიდი პლანეტების შესწავლა და ბევრი სხვ. თუ ასტრონომიის მოყვარულს მარჯვე ხელი აქვს და საქმეს მთელი სულითა და გულით მოეკიდება, ჩვეულებრივი ბინოკლით, პატარა ტელესკოპით, უბრალო ფოტოგრაფიული მოწყობილობით შეუძლია ჩაატაროს დაკვირვება და ისიც შეიძლება, რომ მეცნიერებისთვის საჭირო, მნიშვნელოვანი რამ აღმოაჩინოს.

ნორჩ მოყვარულებს ჩვენში ყოველნაირად უწყობენ ხელს. ობსერვატორიები, პიონერთა სასახლეებთან და პლანეტარიუმებთან არსებული ასტრონომიული წრეები, საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოების განყოფილებებთან ჩამოყალიბებული ახალგაზრდული სექციები ყოველნაირად ეხმარებიან ნორჩ მოყვარულებს, მათ ენერგიასა და უნარს ყველაზე უფრო თვალწარმტაცი, მეცნიერული თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი ამოცანების გადაჭრისაკენ წარმართავენ.

ჩვენს ქვეყანაში ხორციელდება კომუნისტური საზოგადოების აშენების უდიდესი პროგრამა, რომელიც საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის XXII ყრილობამ დასახა. პარტიამ გამოაცხადა, რომ საბჭოთა ხალხის ახლანდელი თაობა კომუნიზმში იცხოვრებს. ხოლო კომუნისტური საზოგადოების ადამიანი ღრმად და მრავალმხრივად განსწავლული უნდა იყოს, ფართო ინტერესები უნდა ჰქონდეს. კომუნიზმის მშენებლობის პროგრამა სამუშაო დღის შემდგომ შემცირებას ითვალისწინებს. ყოველი პროფესიის ადამიანი (მუშა იქნება თუ ინჟინერი, სოფლის მეურნეობის მუშაკი, ექიმი, პედაგოგი თუ სხვა) თავისი ძირითადი საქმის სრულფასოვანი სპეციალისტიც იქნება და საკმაო დროც დარჩება იმისათვის, რომ იმუშაოს მეცნიერების, ხელოვნების და პრაქტიკული მოქმედების ამა თუ იმ დარგში, რომელიც თავის სპეციალობასთან ერთად ყველაზე უფრო აინტერესებს. ზოგს მუსიკა და თეატრი გაიტაცებს, ზოგს — სახვითი ხელოვნება, ზოგს—სპორტი, ზოგს—ტექნიკა. ზოგი კი (შეიძლება, საკმაოდ ბევრი) ასტრონომიის მოყვარული გახდება და ეს მიანიჭებს უდიდეს შემოქმედებით სიხარულს.

ეჭვი არაა, რომ ზოგი თქვენგანი, ნორჩო მკითხველებო, ასტრონომი-სპეციალისტი გახდება და დიდ ობსერვატორიებში იმუშავებს, მონაწილეობას მიიღებს მეცნიერულ ექსპედიციებში, რომლებიც მთვარეზე და მახლობელ პლანეტებზე მოეწყობა. ყოველი თქვენგანის საქმეა — თავის დროზე შეგნებულად, დაფიქრებით აირჩიოს სპეციალობა. ასტრონომიის აქტიური მოყვარული კი ის იქნება, ვისაც ეს მეცნიერება გაიტაცებს და მოისურვებს სარგებლობა მოუტანოს მას.

გთავაზობთ ორ სტატიას. ამ სტატიებით თქვენ მიიღებთ პირველდაწყებით ცოდნას, თუ როგორ დაამზადოთ ტელესკოპი, როგორ მოაწყოთ ასტრონომიული მოედანი, ცაზე სისტემატურად რას და როგორ დააკვირდეთ.

ასტრონომიის მოყვარულთა ტელესკოპი

თვითეული თქვენგანისათვის ალბათ ცნობილია, რომ ასტრონომის უმნიშვნელოვანესი ხელსაწყო, უმთავრესი იარაღი ტელესკოპია. ოღონდ, ყველამ არ იცის, რა უპირატესობა აქვს ტელესკოპს შეუიარაღებელ თვალთან შედარებით.

საერთოდ, ფიქრობენ, რომ ტელესკოპის უმთავრესი თვისება ციურ მნათობთა გამოსახულების გადიდებაა. ბავშვები ტელესკოპთან მისვლისას, ჩვეულებრივ, კითხულობენ: „რამდენჯერ ადიდებს?“ სინამდვილეში ტელესკოპის სიმძლავრე გამოსახულების გადიდების მიხედვით კი არ განისაზღვრება, არამედ მისი ობიექტივის დიამეტრით. რაც უფრო მეტია ობიექტივის დიამეტრი, მით უფრო მეტია მისი ფართობი, მაშ უფრო მეტია სინათლის რაოდენობაც, რომელსაც ობიექტივი კრებს. პატარა სასკოლო ტელესკოპიც კი, რომელსაც 80 მმ დიამეტრის მქონე ობიექტივი აქვს, 250-ჯერ მეტ სინათლეს კრებს, ვიდრე თვალი. ეს იმით აიხსნება, რომ თვალის გუგის დიამეტრი 5 მილიმეტრია, ე. ი. 16-ჯერ მცირეა სასკოლო ტელესკოპის დიამეტრზე, ხოლო $16^2=256$. ამიტომ სასკოლო ტელესკოპით 250-ჯერ სუსტ ვარსკვლავებს დავინახავთ, ვიდრე შეუიარაღებელი თვალით ვხედავთ. უნდა გვახსოვდეს, რომ თვით უძლიერეს ტელესკოპშიც კი ვარსკვლავები მანათობელი წერტილებივით მოჩანს, ამიტომ ამ შემთხვევაში ტერმინი „გადიდება“, საერთოდ, მიუღებელია.

სხვა ამბავია, როცა ლაპარაკია მზეზე, მთვარეზე, პლანეტებზე, კომეტებზე, ნისლეულებზე და სხვა, ეგრეთ წოდებულ, განფენილ ციურ სხეულებზე. ტელესკოპის ოპტიკურ სისტემაში ობიექტივისა და okულარის შეთავსება საშუალებას იძლევა, ამ მნათობთა გადიდებული გამოსახულება მივიღოთ. ვნახოთ, ეს როგორ ხდება.

ტელესკოპის ობიექტივი ლინზების სისტემაა, რომლის მიზანია ააგოს მნათობის ნამდვილი გამოსახულება. ეს გამოსახულება, რომელიც ობიექტივის მთავარ ფოკუსშია მიღებული, შეიძლება დავაგეგმილოთ ეკრანზე, მივიღოთ ფოტოგრაფიული გამოსახულება, თუ იქ ფოტოფირფიტას მოვათავსებთ, ან არადა, მისი გასინჯვა შეიძლება სპეციალური რთული ლუპით — okულარით. ობიექტივიდან ან okულარიდან მთავარ ფოკუსამდე მანძილს მათი საფოკუსო მანძილები ეწოდება. ყველა okულარს თავისი საფოკუსო მანძილი აქვს, რომელიც, ჩვეულებრივ, ბევრჯერ მცირეა ობიექტივის საფოკუსო მანძილზე. ტელესკოპის მიერ გამოსახულების გადიდება ობიექტივისა და okულარის საფოკუსო მანძილების შეფარდების ტოლია.

შეიძლება ვიფიქროთ, რომ უნდა მივაღწიოთ ტელესკოპის მიერ გამოსახულების ყველაზე მეტ გადიდებას და მაშინ შევძლებთ მთვარეზე, მარსზე და სხვა პლანეტებზე უმცირესი წვრილმანების გარჩევას. სინამდვილეში ეს ასე როდია. ტელესკოპის მიერ ამა თუ იმ უმცირესი წვრილმანის გარჩევის შესაძლებლობა (ტელესკოპის გარჩევის უნარი) გამოსახულების გადიდებით კი არ განისაზღვრება, არამედ, ისევ ობიექტივის დიამეტრით. თუ გვინდა, გავიგოთ, რა უმცირესი დეტალები შეიძლება გავარჩიოთ მოცემული ტელესკოპით, რიცხვი 120 ობიექტივის მილიმეტრებში გამოსახულ დიამეტრზე უნდა გავყოთ. მივიღებთ უმცირესი გასარჩევი დეტალების ხილულ ზომებს, გამოსახულს რკალის სეკუნდებში. გაგახსენებთ, რომ რკალის ერთი სეკუნდი გრადუსის 1/3600 ნაწილია. ეს არის კუთხე, რომლითაც ასანთის ღერი 400 მეტრის მანძილიდან ჩანს. მთვარის მანძილზე რკალის ერთ სეკუნდს შეესაბამება 2 კმ სიგრძე, მარსის მანძილზე კი (დიდი პირისპირდგომის პერიოდში) — 300 კილომეტრი. ასეთი დეტალები შეიძლება გავარჩიოთ ტელესკოპით, რომლის ობიექტივს 120 მმ და მეტი ზომის დიამეტრი აქვს.

გამოსახულების გადიდების გამოყენება, რა თქმა უნდა, საშუალებას გვაძლევს, უფრო უკეთესად შევამჩნიოთ მთვარის ან პლანეტების ზედაპირის მცირე დეტალები. მაგრამ გამოსახულების მეტ გადიდებას უარყოფითი მხარეებიც აქვს. მეტი გადიდებისას გამოსახულება მკრთალი და ბუნდოვანი ხდება, რადგან ობიექტივის მიერ შეკრებილი სინათლის რაოდენობა გამოსახულების მეტ ფართობზე ნაწილდება. რაც უფრო მეტად გავადიდებთ გამოსახულებას, მით უფრო მეტად გაიზრდება გამოსახულების რხევები, რომლებსაც დედამიწის ატმოსფერო იწვევს. იზრდება, აგრეთვე, გამო-

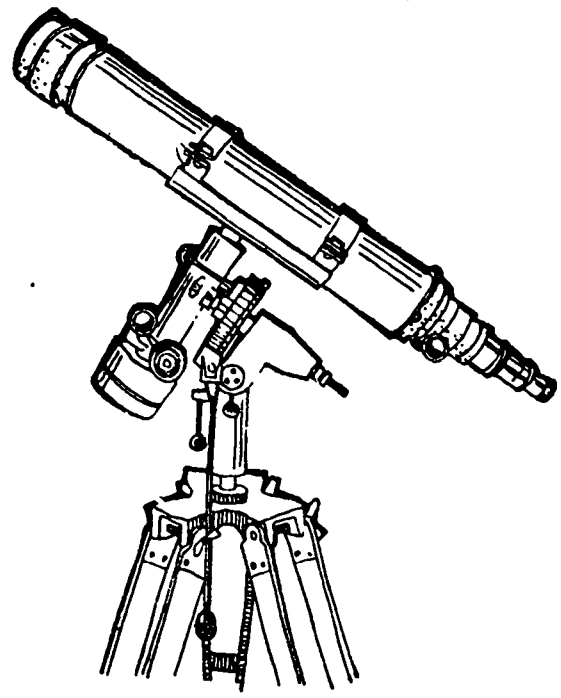
სახულებების დამახინჯებანი, რაც ტელესკოპის ოპტიკის ნაკლოვანებათა (აბერაციების) ზრდის შედეგია. ამიტომ არ უნდა გამოვეკიდოთ ზედმეტ გამადიდებლობას, უკეთესია, ისეთი გადიდება შევარჩიოთ, როცა მნათობი მოცემულ ტელესკოპში ყველაზე უფრო მკაფიოდ მოჩანს.

ტელესკოპები სხვადასხვა სახისაა. მათგან ძირითადებია: რეფრაქტორები, რეფლექტორები და მენისკური ტელესკოპები.

რ ე ფ რ ა ქ ტ ო რ ი ტელესკოპის ყველაზე უძველესი სახეა. სიტყვა „რეფრაქტორი“ ნიშნავს „გარდამტეხს“. რეფრაქტორის ობიექტივი შედგება ლინზებისაგან, რომლებიც მათზე დაცემულ სხივებს გარდატეხს. რეფრაქტორის ოპტიკური სისტემის აგებულება ზემოთ იყო აღწერილი.

საბჭოთა კავშირში სკოლებისათვის ორი სახის ტელესკოპ-რეფრაქტორებს ამზადებენ. დიდი მოდელი (ნახ. 1) 80 მმ დიამეტრის მქონე ობიექტივიანი ტელესკოპია. მისი საფოკუსო მანძილი 800 მილიმეტრია, აქვს სამი ოკულარი, რომლებიც გამოსახულებას 28-ჯერ, 40-ჯერ და 80-ჯერ ადიდებენ. ტელესკოპი ეგრეთ წოდებულ ე კ ვ ა ტ ო რ უ ლ დანადგარზეა დამონტაჟებული. როცა ტელესკოპი მნათობისკენაა მიმართული, დანადგარი საშუალებას იძლევა დაკვირვება დიდხანს ვაწარმოოთ ტელესკოპის მხოლოდ ერთი ღერძის ირგვლივ ბრუნვით. ამ ღერძს პ ო ლ ა რ უ ლ ი ღერძი ეწოდება. იგი მიმართული უნდა იყოს პოლარული ვარსკვლავისაკენ. პოლარული ღერძის დახრა ჰორიზონტის მიმართ ტოლი უნდა იყოს იმ ადგილის განედისა, სადაც იმყოფებით. განედის განსაზღვრა გეოგრაფიული რუკის საშუალებით შეგიძლიათ. პოლარული ღერძის პერპენდიკულარულად გადის დ ა ხ რ ი ლ ო ბ ი ს ღ ე რ ძ ი. ტელესკოპის მილს ორივე ღერძის ირგვლივ ბრუნვით მნათობისკენ მივმართავთ და მილს მოსაჭერი ხრახნებით ვამაგრებთ. შემდეგ მნათობს თვალს ვადევნებთ ოკულარში და მიკრომეტრული მიმმართველის საშუალებით ტელესკოპს ნელა ვაბრუნებთ.

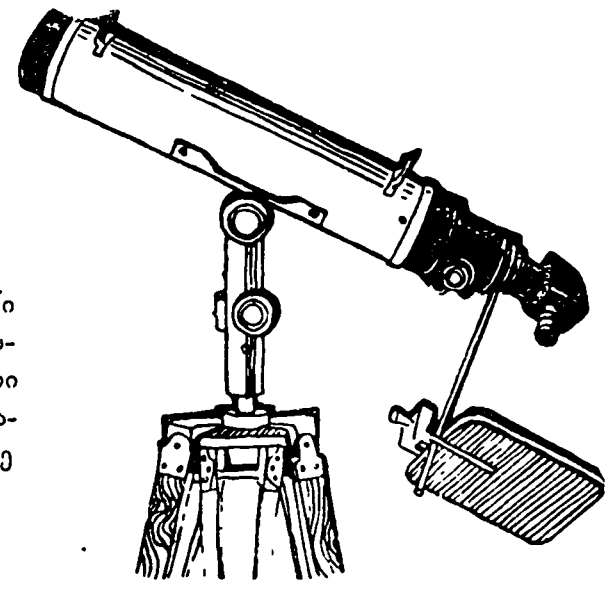
სასკოლო ტელესკოპ-რეფრაქტორის (ნახ. 2) მცირე მოდელს აქვს 60 მმ დიამეტრის ობიექტივი და 600 მმ საფოკუსო მანძილი. იგი აღჭურვილია ოკულარებით, რომლებიც გამოსახულებას 30-ჯერ და 60-ჯერ ადიდებენ. სასკოლო ტელესკოპის მცირე მოდელს დიდი მოდელისაგან განსხვავებით ა ზ ი მ უ ტ უ რ ი დანადგარი აქვს. ამ დანადგარში



ნახ. 1. 80 მმ-იანი სასკოლო ტელესკოპ-რეფრაქტორი ეკვატორულ დანადგარზე (დიდი მოდელი).

ტელესკოპის მილს ორი ღერძის — ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ღერძის ირგვლივ შეუძლია იბრუნოს. იმისათვის, რომ თვალყური ვადევნოთ მნათობს, ტელესკოპი საჭიროა ორივე ღერძის ირგვლივ ერთდროულად ვაბრუნოთ. ეს ძალზე უხერხულია[1]. მნათობის დღეღამური გზა ცაზე ხომ, ჩვეულებრივ, ჰორიზონტალური მიმართულებისადმი დახრილად გადის, ამასთანავე დახრის კუთხე მნათობის მოძრაობასთან ერთად იცვლება.

ორივე ტელესკოპს თან მოჰყვება დამატებითი მოწყობილობა: მზის ეკრანი, ზენიტ-პრიზმა, მუქი მინები, შუქფილტრები და სხვა.



ნახ. 2. 60 მმ-იანი სასკოლო ტელესკოპ-რეფრაქტორი აზიმუტურ დანადგარზე (მცირე მოდელი).

[1] იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა ავიცილოთ თავიდან ეს უხერხულობა, მოთხრობილია პ. კულიკოვსკის წიგნში „ასტრონომიის მოყვარულის ცნობარი“ (ფიზმატგიზი, 1961, გვ. 246 რუსულ ენაზე).

ასტრონომიის ნორჩ მოყვარულს ხშირად არ შეუძლია ტელესკოპი შეიძინოს, მაგრამ გულით უნდა თავისი ხელით გააკეთოს პატარა ტელესკოპი.

როგორ შეიძლება თვითნაკეთი ტელესკოპის დამზადება და რა შეიძლება დავინახოთ ამ ტელესკოპით?

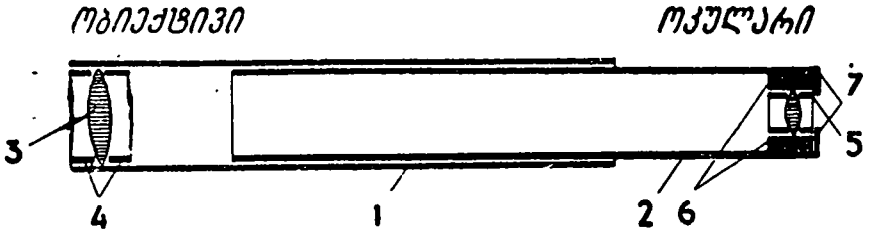
გთავაზობთ თვითნაკეთი ტელესკოპის ორ ვარიანტს: დამწყებ მოყვარულთათვის — სათვალის მინების რეფრაქტორს, უფრო გაწაფულთათვის კი — თვითნაკეთ რეფლექტორს.

თვითნაკეთი რეფრაქტორის დამზადება ძალზე იოლი და ყველა მოსწავლისათვის ხელმისაწვდომია. უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა ოპტიკის: ობიექტივისა და okულარის შოვნა. ობიექტივად გამოგადგებათ უბრალო, ორმხრივ ამოზნექილი ლინზა — 1 დიოპტრის (მისი საფოკუსო მანძილი 1 მეტრის ტოლია) სათვალის მინა „კონვექსი“. ასეთი ლინზა ოპტიკურ მაღაზიაში ან აფთიაქში შეგიძლიათ შეიძინოთ. თუ ვერ იშოვით 1 დიოპტრის ლინზას, შეგიძლიათ 0,75 ან 1,25 დიოპტრის (მათი საფოკუსო მანძილები შესაბამისად 133 და 80 სანტიმეტრის ტოლი იქნება) ლინზა შეიძინოთ. ლინზა აუცილებლად მრგვალი უნდა იყოს და რაც შეიძლება დიდი დიამეტრი უნდა ჰქონდეს (50 მმ-მდე).

okულარად შეგიძლიათ მცირედიამეტრიანი ძლიერი ლუპა გამოიყენოთ. ამისათვის გამოგადგებათ მიკროსკოპის (მათ შორის სასკოლო მიკროსკოპის, რომელიც მაღაზიებში იყიდება), ძველი თეოდოლიტის, ნიველირის ან ბინოკლის okულარი.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ, რამდენად ადიდებს გამოსახულებას ჩვენი ტელესკოპი, უნდა გავზომოთ okულარის საფოკუსო მანძილი (ობიექტივის საფოკუსო მანძილი ტოლია 100 სმ გაყოფილი სათვალის ლინზის დიოპტრების რიცხვზე). okულარის საფოკუსო მანძილი ასე უნდა გავზომოთ: მოწმენდილ დღეს okულარი მზისკენ უნდა მივმართოთ, okულარს იქით კი თეთრი ქაღალდის ფურცელი მოვათავსოთ. ქაღალდი okულარს უნდა დავუახლოვოთ და დავაშოროთ მანამდე, სანამ მზის ყველაზე მცირე და მკაფიო გამოსახულებას არ მივიღებთ (იმისათვის, რომ ქაღალდი არ დაიწვას, okულარს შუქმოხვედრილი ფირი ან ფირფიტა უნდა მივაფაროთ). საფოკუსო მანძილი okულარის ცენტრიდან გამოსახულებამდე ქანძილის ტოლი იქნება. ობიექტივის საფოკუსო მანძილს გავყოფთ okულარის საფოკუსო მანძილზე და მივიღებთ ტელესკოპის გამადიდებლობას. თვითნაკეთი ტელესკოპი გამოსახულებას 20 — 50-ჯერ გაადიდებს.

ტელესკოპის მილი (ნახ. 3) ქაღალდისაგან ან მუყაოსაგან შეიძლება დამზადდეს (ქაღალდის მილი უფრო უკეთესია და იოლადაც კეთდება). ამისათვის უნდა იშოვოთ რამდენიმე დიდი ფორმატის ფურცელი (ქაღალდი დასამზადებელი მილის სიგრძეზე ნაკლები არ უნდა იყოს), დაამზადოთ ხის მრგვალი ღერო. ღეროს მილის სიგრძე უნდა ჰქონდეს, დიამეტრი კი 2—3 მმ-ით მეტი, ვიდრე ობიექტივის ლინზაა. ამ ღეროზე ქაღალდი რამდენჯერმე დაახვიეთ, სანამ საჭირო სიმტკიცისა და სისქის მილს არ მიიღებთ. დახვევისას ქაღალდის ფენებს წებო უნდა წაუსვათ. დასაწებებლად შეგიძლიათ გამოიყენოთ ჩვეულებრივი საკანცელარიო წებო, კაზეინის ან სახამებლის წებო, რომელიც კარტოფილის ფქვილისაგან, ან მსხვილად დაფქვილი პურის ფქვილისაგან მზადდება. მილი გარედან კარგად უნდა დაფაროთ ლაქით, შიდა მხარე კი ტუშით უნდა გააშავოთ, იმისათვის, რომ თავიდან აიცილოთ მილის კედლებიდან სინათლის საზიანო ანარეკლი. ჯობია ტუში მილს დაწებებამდე წაუსვათ.



ნახ. 3. სათვალის მინებისაგან დამზადებული თვითნაკეთი ტელესკოპ-რეფრაქტორის სქემა: 1 — მთავარი მილი; 2 — okულარის მილი, 3 — ობიექტივი, 4 — ობიექტივის ჩარჩო, 5 — okულარი, 6 — okულარის ჩარჩო, 7 — დიაფრაგმა.

ამგვარადვე დაამზადეთ okულარისათვის მცირე დიამეტრის გამოსაწევი მილი (ნახ. 3). მილის შიდა დიამეტრი უნდა ეფარდებოდეს okულარის ბუდის გარეთა დიამეტრს, რომლის მიხედვით უნდა დამზადდეს ამავე დიამეტრის ხის მეორე ღეროც.

მთავარი მილის (1) სიგრძე ობიექტივის საფოკუსო მანძილზე ათამდე სანტიმეტრით ნაკლები უნდა იყოს, okულარის მილის სიგრძე კი დაახლოე-

ბით 40 სანტიმეტრი. ოკულარის მილი (2) მჭიდროდ უნდა იყოს ჩამჯდარი და მოძრაობის დროს არ უნდა ყანყალებდეს, რათა შეიძლებოდეს ტელესკოპის ფოკუსში („მკაფიო ხედვაზე“) დაყენება. ტელესკოპის ფოკუსში დაყენების შემდეგ ვარსკვლავები მკაფიო წერტილებივით უნდა მოჩანდეს და არა გათხაპნილი დისკოებივით.

ობიექტივის ლინზა (3) მილს წინა მხრიდან უკეთდება ჩარჩოს (4) საშუალებით. ჩარჩო მზადდება მუყაოს ორი ჭრილიანი რგოლისა და ქაღალდის ორი მოკლე მილისაგან, რომელთაც ლინზაზე ოდნავ მცირე დიამეტრი უნდა ჰქონდეთ. ამ მოკლე მილების შემწეობით ლინზა მჭიდროდ მაგრდება მუყაოს რგოლებს შორის.

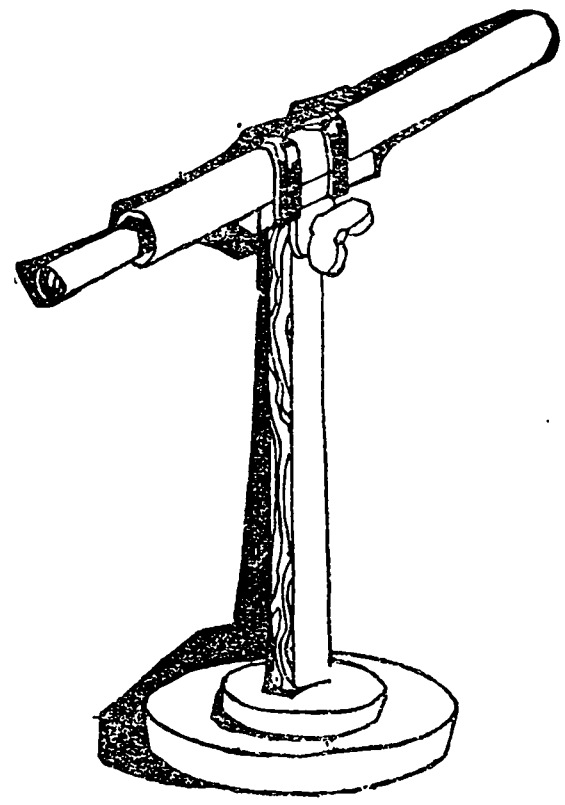
რა თქმა უნდა, მილი შეგიძლიათ სხვა დამხმარე მასალითაც დაამზადოთ: თუნუქის ფურცლისაგან, დურალუმინისაგან და სხვა.

ხელში მილის დაჭერა და დაკვირვება ძალზე მოუხერხებელია. ამიტომ თქვენი ტელესკოპისათვის უბრალო, მაგრამ მოხერხებული შტატივი უნდა დაამზადოთ. ყველაზე იოლია ხის აზიმუტური შტატივის დამზადება, რომელზეც მილი ორი ღერძის — ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ღერძის ირგვლივ იბრუნებს (ნახ. 4). ოღონდ, შტატივის ასეთი კონსტრუქციით მილს ზენიტის მახლობელი ცის არისაკენ ვეღარ მიმართავთ.

ეს უხერხულობა შეიძლება თავიდან აიცილოთ. ამისათვის, ოდნავ უნდა შეცვალოთ შტატივის კონსტრუქცია, ისე როგორც ნახ. 5-ზეა ნაჩვენები. ჰორიზონტალური ღერძის მეორე ბოლოში მილი საწონით უნდა გააწონასწოროთ. მილი განუწყვეტლივ ხელით რომ არ გეჭიროთ, ამისათვის სამაგრი ხრახნი უნდა დაამზადოთ. უმჯობესია, ორი ხრახნი: ერთი ვერტიკალური და მეორე ჰორიზონტალური ღერძისათვის.

მოყვარულს ეკვატორული შტატივის დამზადებაც შეუძლია ნახ. 1-ზე ნაჩვენები ნიმუშის მიხედვით. ამ შემთხვევაში კეთდება მრგვალკვეთიანი პოლარული ღერძი და მაგრდება ორ მილში ჰორიზონტალური სიბრტყისადმი დახრილად. დახრის კუთხე მოცემული ადგილის განედის ტოლია. მეორე ღერძი (ეგრეთ წოდებული დახრილობის ღერძი) პოლარული ღერძის პერპენდიკულარულად უნდა დააყენოთ, ისე როგორც ნახ. 5-ზეა ნაჩვენები.

თვითნაკეთი რეფრაქტორი მოყვარულს საშუალებას მისცემს, დაათვალიეროს მთვარის მთები,

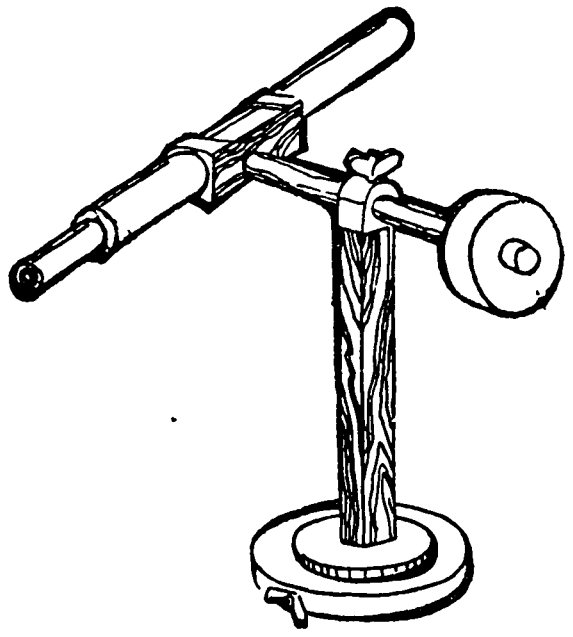


ნახ. 4. ხის მარტივი აზიმუტური შტატივი თვითნაკეთი ტელესკოპისათვის.

მზის ლაქები (ოკულარს აუცილებლად მუქი მინა უნდა დააფაროთ!), სატურნის რგოლი, ვენერას ფაზები, იუპიტერის დისკო და ზოლები, მისი ოთხი თანამგზავრი, მარსის დისკო, ორჯერადი ვარსკვლავები, ვარსკვლავთა ზოგიერთი გროვა (პლეადები, ბაგები, ხი (x) და ჰაშ (h) პერსევსისა). მაგრამ სერიოზული დაკვირვებისათვის ეს ხელსაწყო, რა თქმა უნდა, საკმარისი არ იქნება.

თუ ასტრონომიის მოყვარული მოთმინებასა და გამჭრიახობას გამოიჩენს, შეძლებს კარგი ტელესკოპ-რეფლექტორის დამზადებას, რომელსაც მთავარი სარკის დიამეტრი 100 — 150 მმ ექნება (როცა საკმაო გამოცდილებას შეიძენს, მაშინ კი უფრო დიდი ზომის ტელესკოპ-რეფლექტორსაც დაამზადებს).

რ ე ფ ლ ე ქ ტ ო რ ი ამრეკლავი ტელესკოპია. ამ ტელესკოპში ობიექტივის როლს ჩ ა ზ ნ ე ქ ი ლ ი ს ა რ კ ე ასრულებს. თუ სარკის ამრეკლავ ზედაპირს ბრუნვის პარაბოლოიდის ფორმას მივცემთ, მნათობის სხივები, რომლებიც სარკეს პარალელურ კონად ეცემა, არეკვლის შემდეგ მ თ ა ვ ა რ ფ ო კ უ ს ს ი შ ი შეიკრიბება და მნათობის ნამდვილ გამოსახულებას მივიღებთ. შესაძლებელი რომ გახდეს ამ გამოსახულებაზე დაკვირვება, ან ფოტოსურათის გადაღება ისე, რომ სხივების კო-



ნახ. 5. გართულებული აზიმუტური შტატივი საპირწონეთი.

ნას გზა არ გადავუღობოთ, ამისათვის სარკესა და ფოკუსს შორის, ამ უკანასკნელთან ახლოს 45°-ით აყენებენ ბრტყელ დამატებით სარკეს, რომელიც სხივთა კონას გვერდით არეკლავს. ასეთ სისტემაში, რომელსაც ნიუტონის სისტემა ეწოდება (ნახ. 6), okულარი მილის გვერდითაა მოთავსებული. რეფლექტორების სხვა სისტემებიც არსებობს, მაგრამ ისინი უფრო რთულია და მოყვარულისათვის ძნელი გასაკეთებელი.

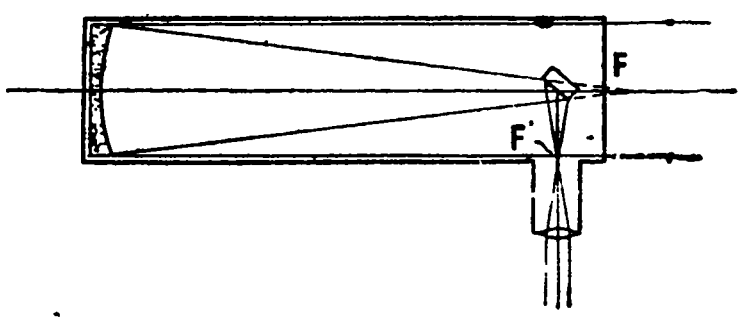
დასაწყისისათვის სფერული მთავარი სარკის დამზადება უნდა ვიკმაროთ. სფერული სარკე სავსებით შეცვლის პარაბოლურს და რთული სახეხი მანქანებიც აღარ დაგჭირდებათ. საკმარისი იქნება პატარა, მაგრამ მაგარი მრგვალი მაგიდა, ორი ერთნაირი 100 — 150 მმ დიამეტრისა და 10 — 18 მმ სისქის მინის დისკო, ცოტაოდენი სახეხი მასალა (აბრაზივი) და ხის ზოგიერთი მარტივი მოწყობილობა.

მინის დისკოების შოვნა შეიძლება საავტომობილო მინის ქარხანაში, სახომალდო საილუმინატორო მინის ქარხანაში, ან სარკის სახელოსნოებში. შეგიძლიათ სქელი სასარკე მინა სახელოსნოში მიიტანოთ და საჭირო დიამეტრის დისკოები გამოაჩარხვინოთ [1].

აბრაზივად ყველაფერს კარბორუნდი (კაჟის კარბიდი) აჯობებს, კორუნდი და ზუმფარა ცოტა უფრო მდარეა კარბორუნდზე. აბრაზივი შედგება მრავალი მარცვლისაგან. დაგჭირდებათ აბრაზივები სხვადასხვა ზომის მარცვლებით. აბრაზივი ჩვეულებრივ დანომრილია № 40-დან (ყველაზე მსხვილმარცვლოვანი) № 200-მდე (ყველაზე წვრილმარცვლოვანი). ყურადღება უნდა მიაქციოთ იმას, რომ სხვადასხვა ზომის აბრაზივები ერთმანეთში არ აირიოს.

მუშაობის პროცესში უფრო წვრილი აბრაზივების დამზადება მოგიხდებათ. ამ წვრილ აბრაზივებს წუთიანები ჰქვია. აიღეთ 30 სმ სიმაღლის მინის ქილა, წყლით გაავსეთ და შიგ გამოყენებული აბრაზივების ნარევი ჩაყარეთ. 5 წუთის შემდეგ წყალი ფრთხილად გადაასხით მეორე ქილაში, დალექილი მარცვლები კი მოაგროვეთ. ეს იქნება ხუთწუთიანი აბრაზივი. ასეთივე ხერხით შეგიძლიათ დალექოთ 10—20—40—60—120 და 240 წუთიანი აბრაზივები. აბრაზივის უკანასკნელი დანალექი ყველაზე წმინდაა. ამ აბრაზივის მარცვალს დაახლოებით 0,001 მმ დიამეტრი აქვს.

გახეხვის დროს ერთ-ერთი დისკო მჭიდროდ უნდა დაამაგროთ მაგიდაზე ან კასრზე ფიცრის პატარა ნაჭრისა და სამი ლურსმნის დახმარებით. ლურსმნებს ზედ კორპები უნდა ჰქონდეს წამოცმული (ნახ. 7). მინის მეორე დისკოს ფისით მიაწებეთ ხის სახელური, რომლითაც ზედა დისკოს ქვედაზე ამოძრავებთ. ხეხვა დაიწყეთ ყველაზე მსხვილი აბრაზივით (№ 40). აბრაზივის ფხვნილი წყალში ურიეთ მანამდე, სანამ საკმაოდ სქელ ფაფას არ მიიღებთ. ქვედა დისკო აბრაზივის ფაფის თხელი ფენით დაფარეთ და ზემოდან მეორე დისკო დაადეთ.



ნახ. 6. ნიუტონის სისტემის რეფლექტორის სქემა.

ხეხვის პროცესი შემდეგნაირია. ზედა დისკო ფრთხილად, ისე რომ სახელურს არ დააწვეთ, წაწიეთ წინ, და მერე თქვენკენ გამოწიეთ იმგვა-

[1] თუ დისკოების მასალად ძველ სარკეს გამოიყენებთ, მაშინ უკანა ზედაპირზე ლაქი და ვერცხლის ფენა უნდა მოაცილოთ.

რად, რომ დისკოების ცენტრები ერთიმეორეს რადიუსის $^1/_3$ — $^1/_2$-ით გადასცილდეს. შეასრულეთ ასეთი მოძრაობა (შტრიხი) და მაგიდის მიმართ ოდნავ გადაინაცვლეთ. ზედა დისკოს სახელურს ხელი არ გაუშვათ და ახალი შტრიხი შეასრულეთ. შემდეგ კიდევ გადაინაცვლეთ მაგიდის გარშემო, ოღონდ ახლა სახელურს ხელი გაუშვით და მესამე შტრიხი შეასრულეთ. ასე შეუნაცვლეთ ერთმანეთს მაგიდის ირგვლივ მოძრაობა სახელურით და უსახელუროდ. დისკოები ერთიმეორის მიმართ შებრუნდება, ხოლო თქვენ მაგიდისა და ორივე დისკოს გარშემო იტრიალებთ და შტრიხებს სხვადასხვა რადიალური მიმართულებით შეასრულებთ.

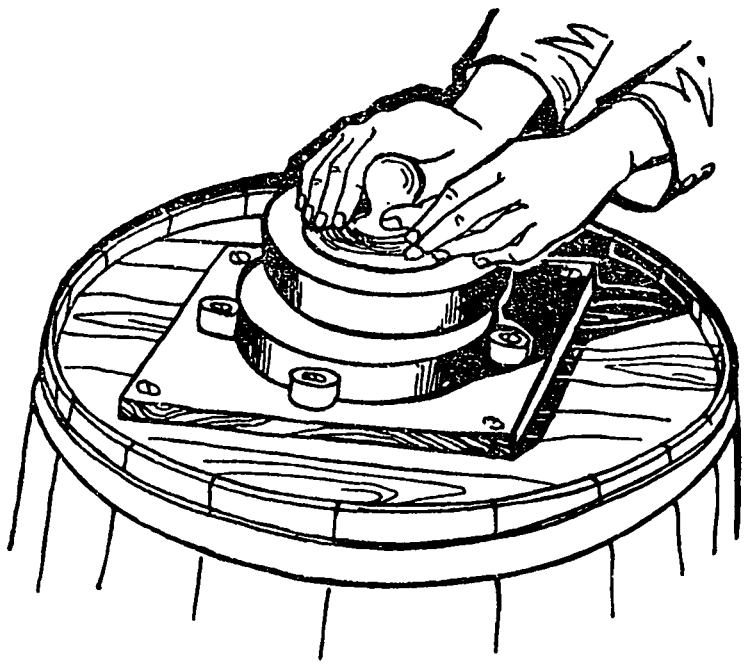
ასეთი პროცესის შედეგად, როგორც თეორია და გამოცდილება გვიჩვენებს, ზედა დისკო (მომავალი სარკე) ზუსტად სფერულად ჩაღრმავდება, ხოლო ქვედა დისკო (მხეხავი) ამგვარადვე ამოიბურცება.

იმისდაკვალად, რაც ჩაღრმავება წინასწარგამოთვლილს დაუახლოვდება, თანდათან უფრო და უფრო წვრილი აბრაზივი უნდა გამოიყენოთ, თანდათან უფრო წმინდად უნდა ხეხოთ. სარკის ხეხვას რომ მორჩებით, მერე უნდა გააპრიალოთ იგი. გასაპრიალებელ მასალად, ჩვეულებრივ, კროკუსს იყენებენ (მუმია უფრო მდარეა), ხოლო მაპრიალებლად — მხეხავს, რომელსაც ფისს უსვამენ და კვადრატულ უჯრედებად — ფასეტებად ყოფენ.

ჩვენ აქ არ შეგვიძლია მთლიანად აღვწეროთ სარკის ხეხვისა და გაპრიალების, აგრეთვე მოვერცხლვისა და გამოცდის, დიაგონალური ბრტყელი სარკის, რეფლექტორის მილისა და შტატივის დამზადების მთელი პროცესი.

ჩვენი მიზანი მხოლოდ ის იყო, რომ ასტრონომიის ნორჩ მოყვარულთათვის ეს პროცესი გაგვეცნო, გვეჩვენებინა, რომ ყველაფერი ეს რთული და მოსწავლისათვის მიუწვდომელი არ არის. ვისაც სურს თვითნაკეთი ტელესკოპ-რეფლექტორი დაამზადოს, უნდა გამოიყენოს მ. ნავაშინის წიგნი „ასტრონომიის მოყვარულთა ტელესკოპი“ (ფიზმატგიზი, 1962, რუსულ ენაზე), სადაც ტელესკოპის დამზადების მთელი პროცესი დაწვრილებით არის აღწერილი. შეგიძლიათ, გამოიყენოთ აგრეთვე „თვითნაკეთი რეფლექტორის დამზადების ინსტრუქცია“, რომელიც ასევე მ. ნავაშინის მიერ არის შედგენილი (სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა, 1962, რუსულ ენაზე).

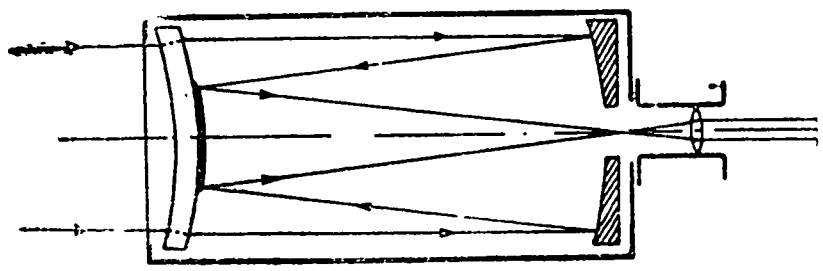
მესამე სახის ტელესკოპი მენისკური ტელესკოპია. მენისკური ტელესკოპი 1941 წელს გამოიგონა საბჭოთა მეცნიერმა, სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრკორესპონდენტმა დ. მაკსუტოვმა. ამ ტელესკოპში, ისევე როგორც რეფლექტორში, სინათლეს ჩაზნექილი სარკე კრებს, ოღონდ სარკე პარაბოლური კი არა, სფერულია. მაკსუტოვის ტელესკოპის მთავარი თავისებურება ისაა, რომ სხივთა გზაზე ჩადგმულია მენისკი — ჩაზნექილ-ამოზნექილი ლინზა. მენისკი მთავარი სარკის დამახინჯებებს ასწორებს.



ნახ. 7. მხეხავი დანადგარი კასრზე.

მენისკურ ტელესკოპს სხვა სახის ტელესკოპებთან შედარებით მთელი რიგი უპირატესობანი აქვს. გამოსახულების კარგ ხარისხთან და დიდ შუქძალასთან ერთად სხივთა კონა მენისკურ ტელესკოპში თითქოს სამმაგად იკეცება (ნახ. 8), მილი მოკლდება, თვით ტელესკოპი კი ამის გამო პორტატული ხდება.

სკოლებისათვის უშვებენ ეგრეთ წოდებულ სასკოლო მენისკურ ტელესკოპს, რომლის სარკესაც 70 მილიმეტრი დიამეტრი აქვს. (ნახ. 9). ამ ტელესკოპის მილის სიგრძე სულ 220 მილიმეტრია, თუმცა ფოკუსური მანძილი 704 მმ შეადგენს. ორი ოკულარი გამოსახულებას 25-ჯერ და 70-ჯერ ადიდებს. ამ ტელესკოპის დანადგარი აზიმუტურია, სამაგიდოა. ამიტომ დაკვირვებისათვის იგი ყოველთვის გარეთ უნდა გამოვიტანოთ და დავ-



ნახ. 8. მენისკური ტელესკოპის სქემა.

დგათ პატარა მაღალ მაგიდაზე ან აგურის სვეტზე.

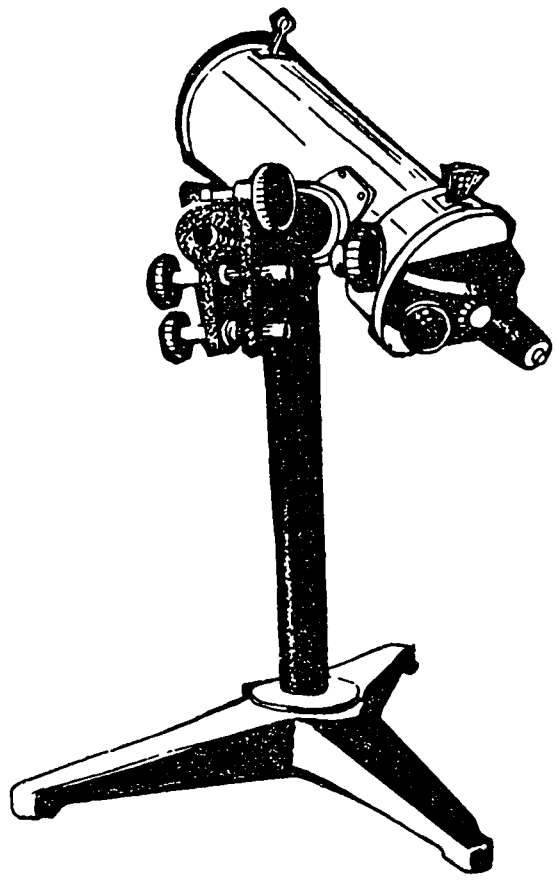
მოყვარულს, რომელსაც სასკოლო მენისკური ტელესკოპი აქვს, შეუძლია მისი დანადგარი გააუმჯობესოს. ამისათვის ჰორიზონტალურ ღერძს საპირწონიანი ლითონის ღერო უნდა მიამაგროთ (ისე როგორც ნახ. 5-ზეა), მოაცილოთ სამთათიანი შტატივის ფუძე და ვერტიკალური ღერძი ფოტოგრაფიულ ან გეოდეზიურ სამფეხა შტატივზე დაამაგროთ (ნახ. 10).

თანამედროვე ასტრონომიული დაკვირვებების დროს დიდ როლს თამაშობს ტელესკოპს მიერთებული დამატებითი ხელსაწყოები. ჩვეულებრივ, ეს არის ან ფოტოკამერა, ან სპექტროგრაფი ან ფოტოელექტრული მოწყობილობა. არც ასტრონომიის მოყვარული უნდა დაჯერდეს ცის მნათობთა ტელესკოპით უბრალო დათვალიერებას. განა თვითეული თქვენგანისათვის სასიხარულო არ იქნება, რომ ამხანაგებს თქვენივე გადაღებული მზის, მთვარის, ვარსკვლავიერი ცის, მეტეორების ფოტოსურათები უჩვენოთ? ზოგიერთ ფოტოსურათს შეიძლება მეცნიერული ღირებულებაც ჰქონდეს. ამიტომ ტელესკოპის (სასკოლო რეფრაქტორის, მენისკური ტელესკოპის, თუ თვითნაკეთი რეფლექტორის) მფლობელმა უნდა იზრუნოს იმაზე, რომ ტელესკოპზე ფოტოკამერა დააყენოს.

ამისათვის შეგიძლიათ ორი გზა გამოიყენოთ: ფანერიდან მსუბუქი, მაგრამ მტკიცე კამერა დაამზადოთ და ტელესკოპის okულარის ბოლოზე მიამაგროთ. კამერას უკანა ნაწილში უნდა გაუკეთოთ კილოები კასეტებისათვის, რომლებიც 6 × 9 სმ ზომის ფოტოფირფიტებისათვის არის ნავარაუდევი. კამერა შიგნიდან ტუშით უნდა ვააშავოთ, იმ ადგილს კი, რომლითაც ის ტელესკოპზე მაგრდება, შიგნიდან შავი ხავერდი უნდა გამოაკრათ, რათა გარედან შუქი არ შეიჭრას. ფოტოგადაღება ამ შემთხვევაში ფირფიტებზე წარმოებს.

შეიძლება გამოიყენოთ მეორე გზა. მოიშველიოთ ფოტოაპარატები „ფედი“, „ზორკი“, „ზენიტი“, რომლებიც ალბათ ბევრ თქვენგანს აქვს. განსაკუთრებით მოსახერხებელია სარკიანი ფოტოაპარატის „ზენიტის“ გამოყენება, რადგან ამ ფოტოაპარატის ოპტიკური სისტემა საშუალებას იძლევა, ფოტოსურათის გადაღების მომენტში მნათობი უშუალოდ, ამასთან ტელესკოპის ოპტიკური სისტემის გამოყენებითაც დავინახოთ. ფოტოაპარატს ობიექტივი უნდა მოხსნათ და აპარატი გარდამავალი მილის საშუალებით ტელესკოპის okულარის ბოლოს დაუკავშიროთ. გარდამავალი მილი მექანიკოსს უნდა შეუკვეთოთ, ანდა თვითონვე დაამზადოთ. ამ აპარატის უპირატესობა ის არის, რომ აქვს საკეტი, კადრები ფირზე სწრაფად იცვლება და, საერთოდ, იოლი მოსახმარია.

ფოტოსურათის გადაღება შეიძლება ან ობიექტივის ფოკუსში, ან გამოსახულების okულარული გადიდებით. პირველ შემთხვევაში ტელესკოპიდან okულარი უნდა ამოვიღოთ. მნათობთა გამოსახულება შედარებით მცირე მასშტაბისა, მაგრამ მკაფიო და ნათელი იქნება (ფოტოსურათის გადაღებისას ტელესკოპში, რომლის საფოკუსო მანძილი 800 მმ-ია, მზისა ან მთვარის დისკოს დია-



ნახ. 9. სასკოლო მენისკური ტელესკოპი მაგიდის შტატივზე.

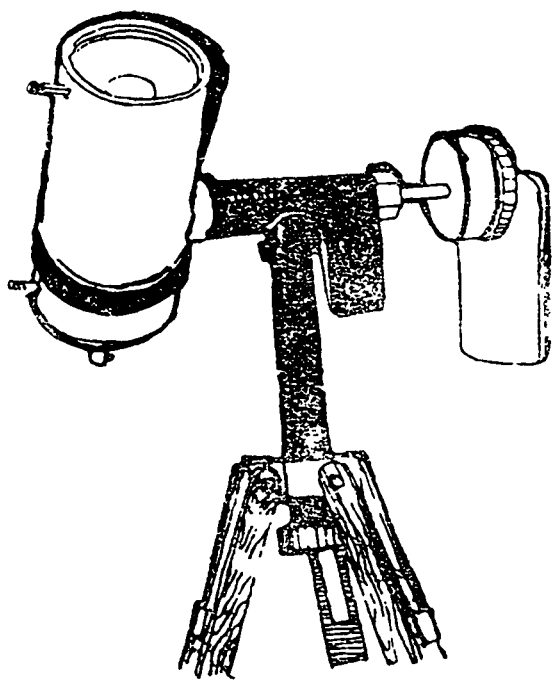
მეტრი 7 მმ იქნება). მეორე შემთხვევაში ოკულარი ადგილზევე დარჩება. გამოსახულება დიდი ზომისა, მაგრამ უფრო მკრთალი იქნება განათებულობის შემცირების გამო. რასაკვირველია, შეიძლება გავზარდოთ ექსპოზიცია, მაგრამ მაშინ ხელსაწყოსა და ჰაერის რხევა გამოსახულებას გააფუჭებს.

თუ როგორ უნდა გადაიღოთ ცის სხეულთა ფოტოსურათები, დაწვრილებით არის მოთხრობილი სტატიაში „ასტრონომიის მოყვარულთა დაკვირვებანი ცაზე“ (იხ. გვ. 411). აქ მოყვარულს მხოლოდ იმას შევახსენებთ, რომ ყოველი დამატებითი მოწყობილობა (ფოტოკამერა, მზის ეკრანი), რომელიც ტელესკოპზე მაგრდება, უნდა გაწონასწორდეს, მაგალითად, ლითონის რგოლების მილის წინა ნაწილზე წამოცმით. გაიზრდება საერთო საპირწონეც, რომელიც დახრილობის ღერძის (ან ჰორიზონტალური ღერძის) მეორე მხარეზეა მოთავსებული.

ყველა წამოცმული რგოლი მაგარი და მტკიცე უნდა იყოს. კამერასა და ობიექტივს შორის მანძილი უნდა იცვლებოდეს (ფოკუსზე გასასწორებლად), ამიტომ კამერა ოკულარის მილს უნდა მივამაგროთ და არა მთავარ მილს. მოყვარულის ტელესკოპზე ფოტოკამერების მიმაგრების სხვადასხვა ხერხი ნაჩვენებია ნახ. 11 — 14-ზე.

თუ საშუალება გაქვთ, ტელესკოპისათვის ასახდელსახურავიანი პატარა პავილიონი უნდა ააგოთ (ნახ. 15). პავილიონის აგება განსაკუთრებით სასურველია თვითნაკეთი რეფლექტორის დასადგმელად, რადგან მისი შენობიდან ქუჩაში გატანა და მერე ისევ უკან შეტანა მრავალი მიზეზის გამო ძალზე რთული და არასასურველია (ტემპერატურის სხვაობის გამო იცვლება სარკის ფორმა, ყოველთვის ხელახლა უნდა დააყენოთ რეფლექტორი პოლარული ვარსკვლავის მიხედვით და სხვა).

პავილიონი ფიცრით უნდა ააშენოთ და ფანერი ააკრათ. სახურავის ნაწილები ანჯამებზე მაგრდება. დაკვირვების დროს პავილიონს სახურავი უნდა გადახადოთ. თვით ტელესკოპი პავილიონის ცენტრში აგურის ან ხის მყარ სვეტზე უნდა იყოს დამონტაჟებული. სვეტის სიმაღლე ისეთი უნდა იყოს, რომ ტელესკოპის ღერძთა გადაკვეთის წერტილი დაახლოებით პავილიონის კედლების ზედა ნაპირის დონეს უტოლდებოდეს. პავილიონის სიგანე ერთი მეტრით მაინც მეტი უნდა იყოს ტელესკოპის მილის სიგრძეზე, რათა დაკვირვება შეიძლებოდეს

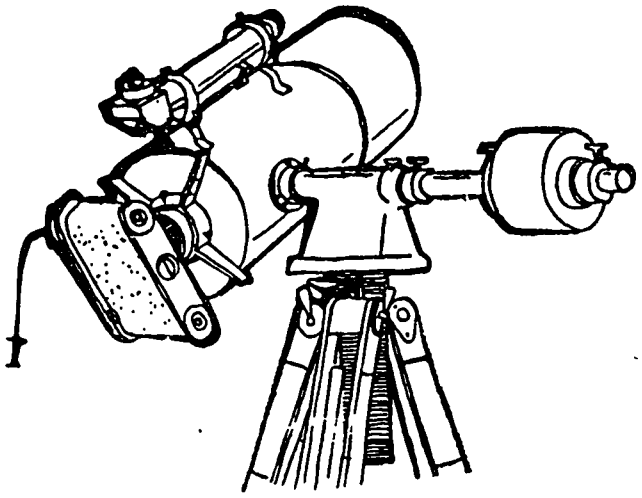


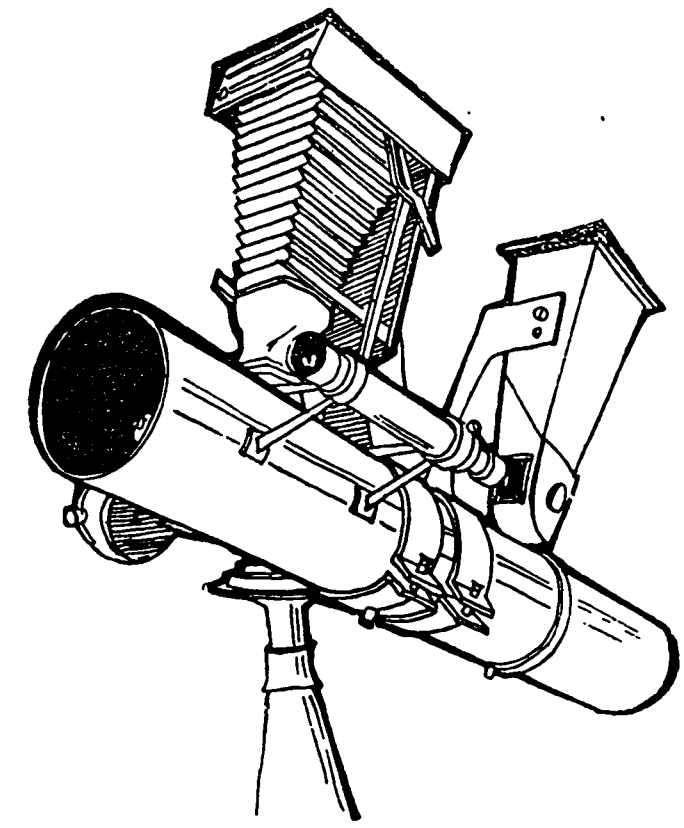
ნახ. 10. ფოტოგრაფიულ შტატივზე დადგმული სასკოლო მენისკური ტელესკოპი, რომელსაც საპირწონე და მზის ეკრანი აქვს.

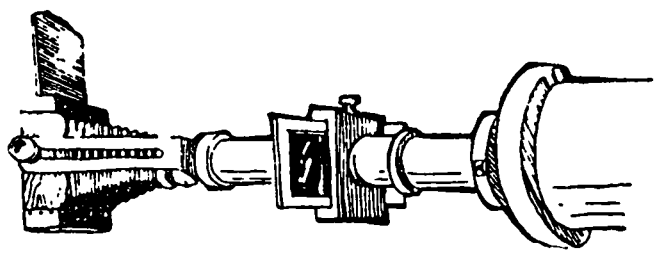
მაშინაც, როცა მილს თითქმის ჰორიზონტალურად დააყენებთ. სანამ პავილიონს ააშენებდეთ, ჯერ ნახაზი უნდა გააკეთოთ და ამ ნახაზის მიხედვით ქაღალდისაგან ან მუყაოსაგან პატარა მაკეტი დაამზადოთ იმისათვის, რომ შეამოწმოთ, სწორად არის თუ არა მორგებული სახურავის დარაბები და სხვა დეტალები.

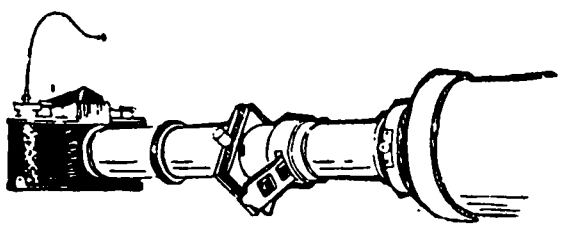
ტელესკოპი რომ მტვრისგან, ნალექებისაგან და სხვა მიზეზით არ გაფუჭდეს, მილს სარქველი უნდა გაუკეთოთ, მთელ ტელესკოპს კი წყალგაუმტარი მასალის შალითა გადააფაროთ. სახურავს ზემოდან თუნუქის ფურცლები უნდა გადააკრათ, რომ პავილიონში წვიმა არ ჩამოვიდეს.

პავილიონში ტელესკოპის გარდა მაგიდა და სკამი ან კიბე უნდა გქონდეთ. მაგიდა დაგჭირდებათ ჩანაწერებისა და ჩანახატებისათვის, აგრეთვე მუშაობის დროს დაკვირვებათა ჟურნალის, ვარსკვლავთა ატლასების, ასტრონომიული კალენდრის, ჩანახატთა ალბომის, ფანქრების, საათის და სხვა ნივთების შესანახად, რომლებიც დაკვირვებების დროს აუცილებლად დაგჭირდებათ. პავილიონის კედლებზე შეგიძლიათ გააკრათ ვარსკვლავიერი ცის მოძრავი რუკა, მთვარის რუკა, ცის მნათობთა ფოტოსურათები და ნახატები. ღამით პავილიონის გასანათებლად პირველ ხანებში ჯიბის ფარანიც გამოგადგებათ. შემდეგში შეგიძლიათ მოაწყოთ განათება ბატარეებისა და აკუმულატორების საშუალებით, ან ცვლადი დენი გაიყვანოთ ქსელიდან. აი, ეს არის პავილიონის მთელი მოწყობილობა.

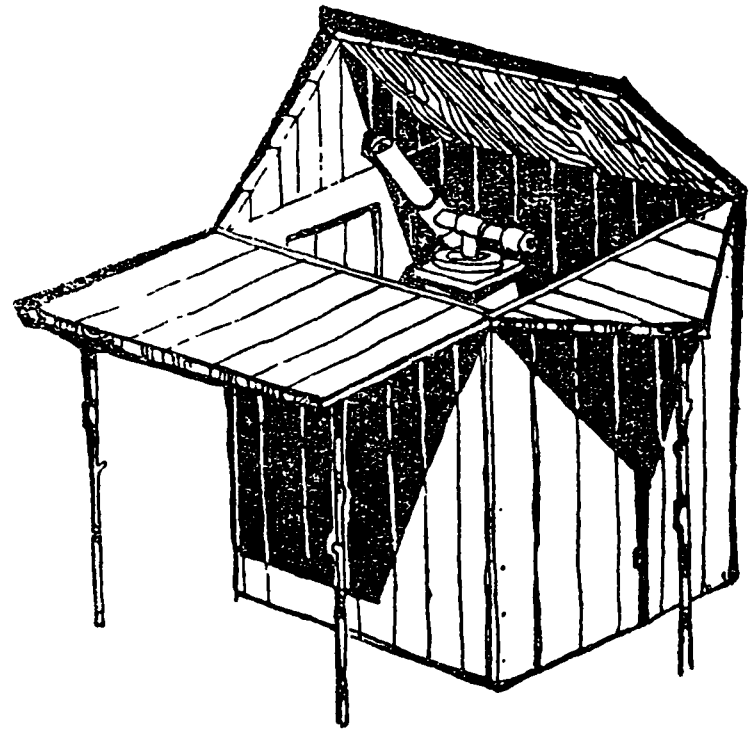








ნახ. 11, 12, 13, 14. მოყვარულთა ტელესკოპებზე ფოტოკამერების დამაგრების ოთხი ხერხი.



ნახ. 15. ასახდელსახურავიანი პავილიონ-ობსერვატორია.

ზოგი დაკვირვება (მაგალითად, მეტეორებზე) მოითხოვს ტელესკოპთან დაუკავშირებელი ფოტოაპარატებისა და სხვა მოწყობილობის დაყენებას. ამისათვის პავილიონი არ დაგჭირდებათ. საქმარისია მოაწყოთ ასტრონომიული მოედანი. თუ როგორ უნდა მოაწყოთ ასტრონომიული მოედანი და როგორ უნდა აწარმოოთ დაკვირვება ციურ მნათობებზე, მოთხრობილია სტატიაში „ასტრონომიის მოყვარულთა დაკვირვებანი ცაზე“ (იხ. გვ. 411).

უკანასკნელ წლებში, განსაკუთრებით, ჩეხოსლოვაკიაში, მიმდინარეობს სახალხო ობსერვატორიების მშენებლობა. ამ ობსერვატორიების უმეტესობა მოწყობილია ასტრონომიის მოყვარულთა, მათი ორგანიზაციებისა და სახალხო განათლების ორგანოთა მიერ. ამჟამად ჩეხოსლოვაკიაში დაახლოებით 50 სახალხო ობსერვატორიაა შექმნილი. ასეთივე ობსერვატორიები იქმნება გერმანიის დემოკრატიულ რესპუბლიკაში, რუმინეთში, ბულგარეთში.

საბჭოთა კავშირში რამდენიმე ათეული სახალხო ობსერვატორიაა შექმნილი. მათი უმეტესობა აგებულია კულტურის სასახლეებთან (მაგალითად, მოსკოვის ლიხაჩოვის სახელობის საავტომობილო ქარხნის კულტურის სასახლესთან), პიონერთა სასახლეებთან, პლანეტარიუმებში, პარკებში და სხვა. ზოგიერთი სახალხო ობსერვატორია სახალხო მშენებლობის მეთოდით არის აგებული. მათ შორისაა — ყირიმის ნორჩ ტექნიკოსთა სადგურის სა-

ბავშვო ობსერვატორია ქ. სიმფეროპოლში, კიროვოგრადის ოლქის დაბა ახალი პრაღის სკოლასთან და ხერსონის საზღვაოსნო სასწავლებელთან არსებული სახალხო ობსერვატორიები და სხვა. საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოების კუიბიშევის განყოფილებამ ზუბჩანინოვკაში ააშენა ობსერვატორია, ესტონეთის განყოფილებამ კი ტარტუს მახლობლად.

ყველა სახალხო ობსერვატორიაში ასტრონომიის მოყვარულები აქტიურად აკვირდებიან ცას და მოსახლეობაში ასტრონომიულ ცოდნას ავრცელებენ.

ასტრონომიის მოყვარულთა დაკვირვებანი ცაზე

თავისუფალ დროს ყველაზე მომხიბლავია ბუნებაზე დაკვირვება, ხოლო ბუნებაზე დაკვირვებათა შორის ყველაზე მიმზიდველია ცის მნათობებსა და მოვლენებზე დაკვირვება. ასტრონომიული დაკვირვებანი უმჯობესია საგანგებოდ მოწყობილი მოედნებიდან ან ობსერვატორიებიდან ეწყობოდეს. ქალაქად ასეთი სათვალთვალო პუნქტი ეზოში ან საკუთარი სახლის აივანზე შეგიძლიათ მოაწყოთ, უმჯობესია, ეს გააკეთოთ სკოლაში, პიონერთა სახლში ან ნორჩ ტექნიკოსთა სადგურში. თუმცა ცის დაკვირვებისათვის სოფლად ბევრად უკეთესი პირობებია. იქ უფრო იოლია ისეთი ადგილის შერჩევა, საიდანაც კარგად მოჩანს ცის თაღი. სწორედ ასეთ ადგილას ეწყობა ასტრონომიული მოედანი ან ობსერვატორია.

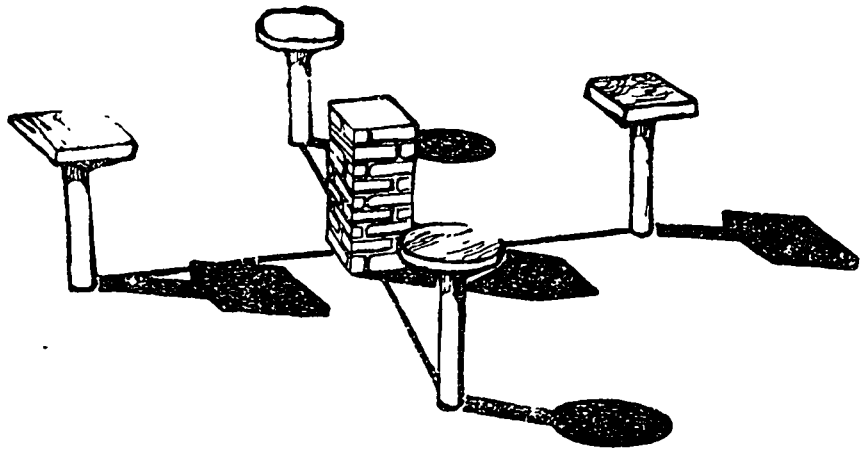
სათვალთვალო პუნქტის მოწყობა, ღია მოედანი იქნება თუ პავილიონ-ობსერვატორია, საშუადღეო ხაზისა და მოცემული ადგილის მიახლოებითი გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრით იწყება. გეოგრაფიული კოორდინატები გეოგრაფიულ რუკაზე უნდა აითვალოთ. საშუადღეო ხაზი განისაზღვრება ვერტიკალური ბოძის ჩრდილით შუადღისას. საშუადღეო ხაზი მოსწორებულ მოედანზე უნდა გაავლოთ და ამ ხაზზე ერთი მეტრი სიმაღლის ხის ან აგურის სვეტი დააყენოთ. ამ სვეტის ჩრდილოეთით, სამხრეთით, აღმოსავლეთით და დასავლეთით 1 — 2 მეტრის დაშორებით მიწაში კიდევ ოთხი ბოძი უნდა ჩაასოთ. ბოძებს ზემოდან ზუსტად ჰორიზონტალურად ფიცრები უნდა დააჭედოთ. ამ სვეტ-მაგიდებზე დააყენებთ დაკვირვებისათვის აუცილებელ ხელსაწყოებს — მოძრავ ტელესკოპებს, ფოტოკამერებს და სხვა (ნახ. 1). თუ მოახერხებთ, უმჯობესია პავილიონ-ობსერვატორია მოაწყოთ.

როცა ასტრონომიის მოყვარული ზოგადად გაეცნობა ვარსკვლავიერ ცას, ცალკეულ ციურ მნათობებსა და მოვლენებს, უნდა შეიმუშაოს დაკვირვებების საკუთარი პროგრამა. პროგრამაში უნდა გაითვალისწინოს, რაზე შეიძლება დაკვირვება იმ ხელსაწყოთა საშუალებით, რაც მას გააჩნია, აგრეთვე ის, თუ რასა აქვს შემეცნებითი და რას სამეცნიერო მნიშვნელობა. ეს შეიძლება იყოს პირველ რიგში დაკვირვებანი მზეზე და მზის აქტივობაზე, დაკვირვება მეტეორებზე და დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე, დაკვირვება მთვარეზე, პლანეტებზე, კომეტებზე და ცვალებად ვარსკვლავებზე [1].

როცა ინდივიდუალურ თუ კოლექტიურ ასტრონომიულ დაკვირვებათა პროგრამას შეიმუშავებთ, პრაქტიკული და მეცნიერული მნიშვნელობის ამოცანები უნდა დაისახოთ, უნდა გახსოვდეთ, რომ, თუ დიდი სურვილი გაქვთ, მცირე საშუალებითაც კი მეცნიერებისათვის ბევრი სასარგებლო რამ შეგიძლიათ გააკეთოთ. ასტრონომიის ისტორიაში მრავალი მოყვარულის სახელია ცნობილი, რომელთაც სამყაროს შემსწავლელი მეცნიერება მხიშვნელოვანი აღმოჩენებით გაამდიდრეს.

მაგრამ ნუ იფიქრებთ იმას, რომ საკმარისია დაკვირვებას შეუდგეთ და აღმოჩენას აღმოჩენა მოყვება. ასტროფიზიკამ — მეცნიერებამ ცის სხეულთა ფიზიკური თვისებების შესახებ — ამჟამად განვითარების ისეთ მაღალ საფეხურს მიაღწია, რომ მხოლოდ ხანგრძლივ და სისტემატურ დაკვირვებას და

[1] ასტრონომიის მოყვარულს დაკვირვებათა ორგანიზაციის საკითხებზე კონსულტაცია შეუძლია მიიღოს საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოების თბილისის განყოფილებაში (თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასტრონომიის კათედრა).



ნახ. 1. ასე უნდა მოეწყოს მოედანზე სვეტ-მაგიდები ასტრონომიული ხელსაწყოებისათვის.

ამ დაკვირვებათა შემდგომ დამუშავებას შეუძლია მოგვცეს მეცნიერებისათვის სასარგებლო შედეგები. ამიტომ შემდეგში პირდაპირ მიგითითებთ, რომელ დაკვირვებას შეიძლება ჰქონდეს მეცნიერული და რომელს შემეცნებითი მნიშვნელობა თვით მოყვარულისათვის თუ ასტრონომიული წრისათვის.

დაკვირვებანი მზეზე და მზის დაბნელებებზე

მზეზე დაკვირვება მიზანშეწონილია ტელესკოპით, რომლის ობიექტივის დიამეტრი 60 მმ-ზე ნაკლები არაა. დაკვირვება შეიძლება ვაწარმოოთ ვიზუალურად ან ფოტოგრაფიულად.

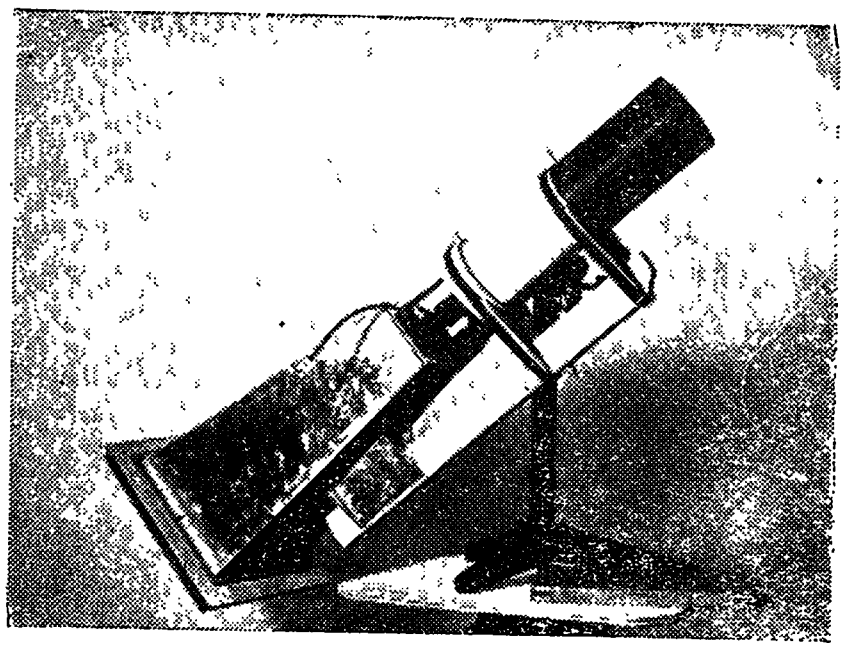
როცა მზეს აკვირდებით, მუდამ უნდა გახსოვდეთ, რომ არ შეიძლება მზეს თვალი გაუსწოროთ. მით უმეტეს, არ შეიძლება, რომ შეხედოთ ტელესკოპით, რადგან შეიძლება იმწუთშივე სამუდამოდ დაკარგოთ მხედველობა.

მზეზე ვიზუალური დაკვირვებისათვის ან სპეციალური მზის ოკულარი უნდა გამოიყენოთ, ან ობიექტივის დიაფრაგმირება უნდა მოახდინოთ დიამეტრის $^1/_3$-მდე, ოკულარზე კი მუქმინიანი ხუფი ან შუქფილტრი ჩამოაცვათ. ყველაზე უმჯობესია გამოიყენოთ მზის ეკრანი—მოწყობილობა, რომელსაც მზის დისკოს გაზრდილი გამოსახულების ეკრან-ქაღალდზე დასაგეგმილებლად და შემდგომ ჩასახატად იყენებენ. ამისათვის სახაზავი ქაღალდის ფურცლებს წინასწარ ამზადებენ. თვითეულ მათგანზე წინასწარ შემოხაზავენ 100 მმ დიამეტრის წრეხაზს. დაკვირვების დროს ამ წრეხაზს უნდა შეუთავსდეს მზის დისკოს გამოსახულება (ნახ. 2). ასეთი ჩანახაზები საკოორდინატო ბადეებისა და დამხმარე ტაბულების გამოყენებით იოლი დასამუშავებელია (იხ. ვ. შ ა რ ო ნ ო ვ ი. მზე და მასზე დაკვირვება, მე-2 გამოც. გოსტეხიზდატი, 1953. რუსულ ენაზე). ფაბრიკაში დამზადებულ ტელესკოპ-რეფრაქტორებს მზის ეკრანი თან ახლავს, თვითნაკეთი ტელესკოპებისათვის მზის ეკრანის დამზადება კი თქვენ თვითონაც არ გაგიჭირდებათ. ეკრანი ტელესკოპის მილზე მიმაგრებულ საყრდენ ღერძზე (ან ორ ღერძზე) უნდა სრიალებდეს. როცა ეკრანი საჭირო მდებარეობას მიიღებს (როცა მზის გამოსახულებას 100 მმ დიამეტრი ექნება), ის ხრახნის საშუალებით უნდა დააამაგროთ.

მზის ფოტოსურათის გადასაღებად ტელესკოპს უნდა მიამაგროთ ან სპეციალური ფოტოკამერა საკეტითა და კასეტით (ნახ. 3) ან „ზენიტის“ ტიპის ფირიანი ფოტოაპარატი (სარკულ სისტემაში მუქი მინის გარეშე ჩახედვა არ შეიძლება!). ამ უკანასკნელი შემთხვევისათვის უნდა გამოიყენოთ გარდამავალი მილი და ფოტოსურათი ოკულარული გამადიდებლობით გადაიღოთ, იმისათვის, რომ მზის დისკო გაიზარდოს კადრის სიგანის $^2/_3$ ან $^3/_4$-მდე. თვითნაკეთი ფოტოკამერით ფირფიტებზე ფოტოსურათების გადაღებისას მზის დისკოს გამოსახულებას ნეგატივზე 50 — 75 მმ დიამეტრი უნდა ჰქონდეს (იმის მიხედვით, რა ზომისა იქნება ფირფიტა). ფოტოქაღალდზე ბეჭდვა კონტაქტურად ხდება. „ზენიტის“ ფოტოფირიდან გამოსახულება 100 მმ დიამეტრამდე დიდდება.



ნახ. 2. მზეზე დაკვირვება მზისეკრანიანი სასკოლო ტელესკოპ-რეფრაქტორით.



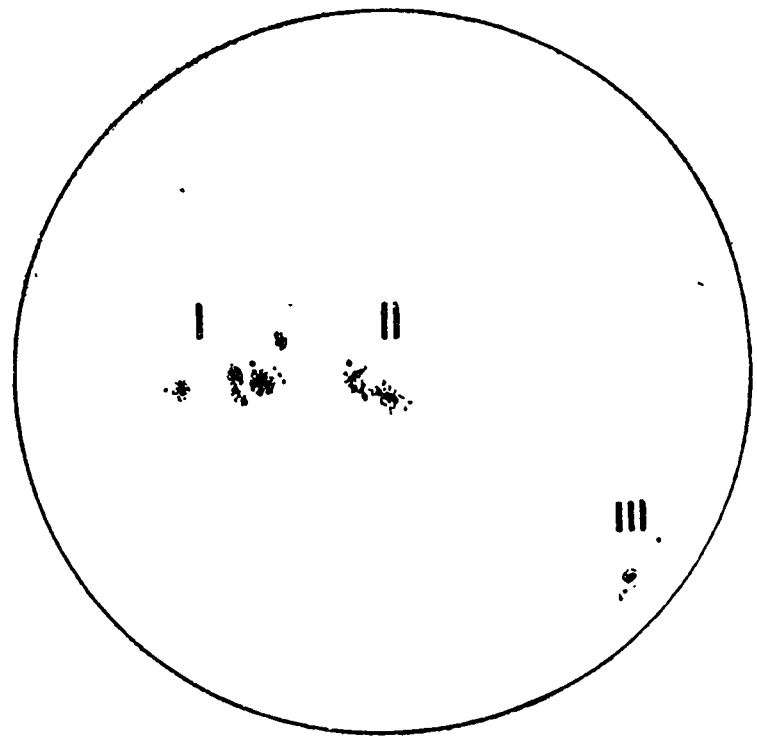
ნახ. 3. თვითნაკეთი ფოტოკამერიანი სასკოლო მენისკური ტელესკოპი.

მზის ფოტოსურათების გადასაღებად ყველაზე ნაკლები მგრძნობელობის ფირფიტები და ფოტოფირები უნდა გამოიყენოთ. ექსპოზიციის ხანგრძლიობა გამოცდილებით უნდა განსაზღვროთ, მაგრამ ფოტოგადაღება უმცირესი ექსპოზიციით უნდა დაიწყოთ, საკეტის ფარდა რომ არ დაიწვას, გარდამავალ მილში საკმაოდ მუქი შუქფილტრი უნდა ჩადოთ, ან ტელესკოპის ობიექტივის დიაფრაგმა ისე უნდა დაავიწროვოთ, რომ მზის დისკოს გამოსახულება მკრთალი, მაგრამ მკაფიო იყოს. ფოტოკამერიანი ტელესკოპი მზისკენ ეკრანზე ხელსაწყოს დაცემული ჩრდილის მიხედვით უნდა მიმართოთ. ფოკუსი ღამით ვარსკვლავებზე უნდა დააყენოთ და ერთხელ და სამუდამოდ დანიშნოთ კრებალიერის მდგომარეობა, რომელიც ზუსტ ფოკუსს შეესაბამება.

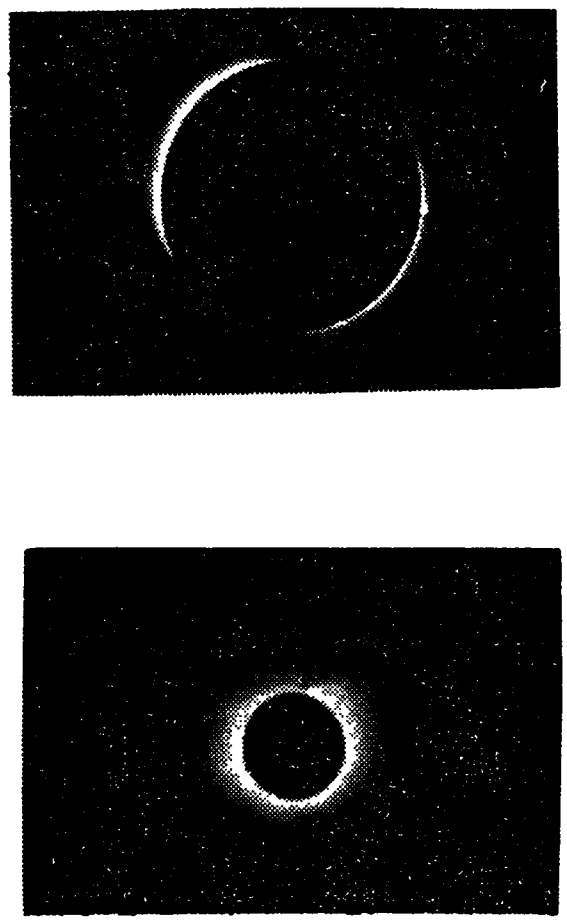
მზის ფოტოსურათებისა და ჩანახატების მიხედვით შეგიძლიათ მზის აქტივობა სისტემატურად აღრიცხოთ. ამისათვის ყოველთვის უნდა დაითვალოთ ლაქები და ლაქების ჯგუფები მზის დისკოზე. უნდა გახსოვდეთ, რომ ჯგუფად არა მარტო რამდენიმე ერთმანეთთან ახლოს მყოფი ლაქა ითვლება, არამედ ცალკეული ლაქაც. მზის აქტივობის ინდექსად (მაჩვენებლად) ჯგუფთა რიცხვის ათზე ნამრავლისა და ლაქათა საერთო რიცხვის ჯამი ითვლება. ამ სიდიდეს მზის ლაქების შეფარდებითი რიცხვი, ანუ ვოლფის რიცხვი ეწოდება. ასე მაგალითად, ნახ. 4-ზე, მზის დისკოზე 10 ლაქის შემცველი 3 ჯგუფია. მაშ, ვოლფის რიცხვი ტოლი იქნება: $30 + 10 = 40$.

ასტრონომიის მოყვარულებს მხედველობაში უნდა ჰქონდეთ, რომ 1965 წელი მზის აქტივობის მორიგი მინიმუმის წელია და ბევრი იქნება ისეთი დღე, როცა მზეზე ვერც ერთ ლაქას ვერ შენიშნავთ. ამ შემთხვევაში ვოლფის რიცხვი ნულის ტოლი იქნება. ოღონდ ერთი ლაქაც რომ გამოჩნდეს, მაშინ ვოლფის რიცხვი 11-ს გაუტოლდება (ცალკეული ლაქაც ხომ ჯგუფად ითვლება).

საბჭოთა კავშირში კარგად არის მოგვარებული მზის სამსახური. დაკვირვებებისათვის მძლავრ, თანამედროვე ტელესკოპებს იყენებენ. ამის გამო მოყვარულთა დაკვირვებას მზის აქტივობაზე მეცნიერული მნიშვნელობა არა აქვს. ეს დაკვირვება მხოლოდ საუცხოო მასალას მოგცემთ ბუნების ამ მოვლენის დამოუკიდებლად შესწავლისათვის. მზეზე რამდენიმე წლის განმავლობაში დაკვირვების შემდეგ შეგეძლებათ მზის აქტივობის გრაფიკი შეადგინოთ, საშუალო თვიური და წლიური ვოლფის რიცხვები გამოიყვანოთ და „ასტრონომიულ კალენდარში“ გამოქვეყნებულ რიცხვებს შეადაროთ. შეგიძლიათ, აგრეთვე, მათი მსვლელობა ჭექა-ქუხილის, პოლარული ნათებებისა და მზის აქტივობასთან დაკავშირებული სხვა მოვლენების წლიურ რიცხვს შეუპირისპიროთ.



ნახ. 4. მზის დისკო ლაქებით. ლაქების ჯგუფები აღნიშნულია რომაული ციფრებით.



ნახ. 5. 6. მზის სრული დაბნელების დროს ასტრონომიის მოყვარულის მიერ გადაღებული ფოტოსურათები.

ჰრელი სიკაშკაშის გამო, ჩვეულებრივ, შეუძლებელია. ამას გარდა, მზის დაბნელების დროს დაკვირვება შეიძლება წარმატებით ვაწარმოოთ ბევრ გეოფიზიკურ მოვლენაზე ატმოსფეროში და დედამიწის ზედაპირზე. გამოცდილი ასტრონომიის მოყვარულისათვის და განსაკუთრებით ასტრონომიის წრისათვის სავსებით ხელმისაწვდომია მზის კორონაზე (ნახატები 5 და 6), ქრომოსფეროზე და პროტუბერანცებზე ვიზუალური დაკვირვება და ფოტოსურათების გადაღება, ნაწილობრივი დაბნელების დროს კი შესაძლებელია მზის ფოტოსურათების გადაღება, აქტინომეტრიულ და მეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა წარმოება (იხ. მზის დაბნელებანი და მათზე დაკვირვება. სტატიების კრებული ა. მიხაილოვის რედაქციით. ფიზმატგიზი, 1960, რუსულ ენაზე). მზის უახლოესი სრული დაბნელება, რომელიც საბჭოთა კავშირის ციმბირისა და არქტიკის ძნელმისადგომ რაიონებიდან გამოჩნდება, 1968 წელსაა მოსალოდნელი.

ᲓᲐᲙᲕᲘᲠᲕᲔᲑᲐᲜᲘ ᲓᲔᲓᲐᲛᲘᲬᲘᲡ ᲮᲔᲚᲝᲕᲜᲣᲠ ᲗᲐᲜᲐᲛᲒᲖᲐᲕᲠᲔᲑᲡᲐ ᲓᲐ ᲛᲔᲢᲔᲝᲠᲔᲑᲖᲔ

პოლარული ნათება დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენების მდგომარეობაზე მზის აქტივობის გავლენის ერთ-ერთი ფორმაა. პოლარულ ნათებას უნდა დააკვირდნენ ის ბავშვები, რომლებიც ჩვენი ქვეყნის ჩრდილოეთ რაიონებში ცხოვრობენ. ამ მოვლენის დაწვრილებით აღწერისას განსაკუთრებული ყურადღება ნათების შეფერილობისა და ფორმის ცვლას უნდა მიექცეს. უნდა აღინიშნოს, აგრეთვე, ნათების ცალკეული ნაწილების მოძრაობის მიმართულება. უნდა ჩაიწეროთ, რამდენ ხანს გრძელდებოდა ნათება, აღნიშნოთ, როდის დაიწყო, როდის იყო ყველაზე უფრო ინტენსიური და როდის დასრულდა. აღწერას აუცილებლად თან უნდა ერთვოდეს პოლარული ნათების ფოტოსურათები ან ჩანახატები.

მოყვარულთათვის განსაკუთრებით საინტერესოა მზის დაბნელებაზე დაკვირვება. მზის სრული დაბნელება ძალზე იშვიათი მოვლენაა. მზის სრული დაბნელების დროს შეიძლება დავინახოთ მზის ატმოსფეროს გარეთა ფენები—ქრომოსფერო და კორონა, რომელთა დანახვა მზის თვალისმომ-

ასტრონომიის ყველა მოყვარულს შეუძლია დააკვირდეს დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებს. დაკვირვების დროს შეგიძლიათ თანამგზავრის მოძრაობის გზა ვარსკვლავთა რუკაზე აღნიშნოთ და რომელიმე კაშკაშა ვარსკვლავთან მისი გავლის დრო ჩაიწეროთ. თანამგზავრის მოძრაობის ხილული გზის ფოტოსურათი შეგიძლიათ ჩვეულებრივი ფოტოაპარატით გადაიღოთ. კამერა თანამგზავრის სვლის რაც შეიძლება მაღალი მონაკვეთისაკენ უნდა მიმართოთ (ამას მოახერხებთ თანამგზავრის ჰორიზონტზე გამოჩენის შემდეგ). ობიექტივი ღია უნდა იყოს მთელი იმ დროის განმავლობაში, სანამ თანამგზავრი ცის გადასაღებ მონაკვეთს გაივლიდეს (ნახ. 7). დროის მომენტთა ფიქსირებისათვის ყოველ წუთში ათი წამის განმავლობაში ფოტოაპარატის ობიექტივს ხუფი უნდა დააფაროთ. ამის შედეგად ნეგატივზე თანამგზავრის კვალს წყვეტილები (დროის ზომები) ექნება. წყვეტილების მომენტები და საათის შესწორება წამის სიზუსტით უნდა ჩაწეროთ დაკვირვებათა ჟურნალში (დაწვრილებით იხილეთ წიგნში: ს. კ ა პ ლ ა ნ ი. როგორ დავინახოთ, როგორ მოვისმინოთ და როგორ გადა-

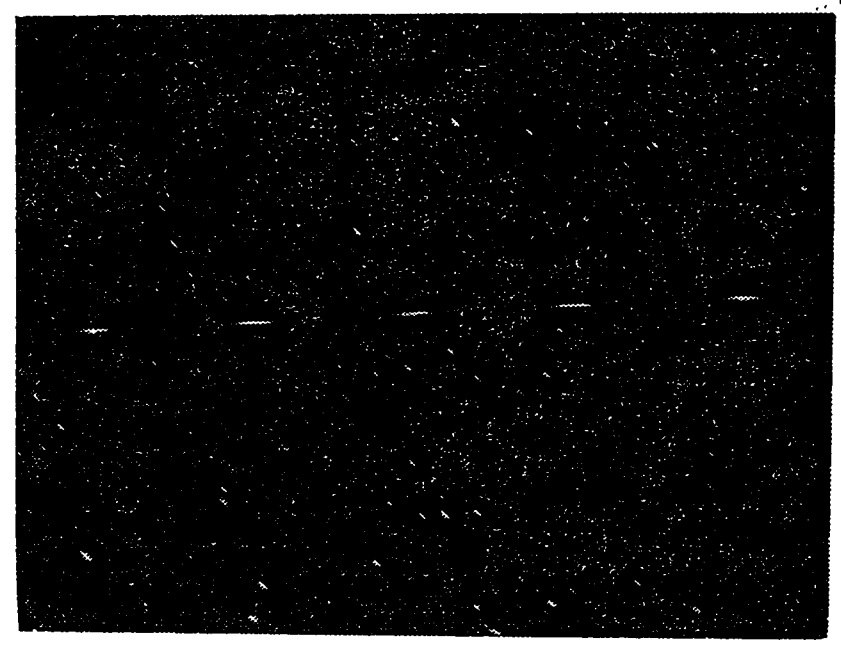
ვიღოთ დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრთა ფოტოსურათები. ფიზმატგიზი. 1958, რუსულ ენაზე).

ასტრონომიის მოყვარულისათვის განსაკუთრებით საინტერესოა მეტეორებზე დაკვირვება. დაკვირვებები შეიძლება ჩაატაროთ მაღალ დონეზე და ძედარებით მცირე საშუალებებითა და სწორი ორგანიზაციის შედეგად მიიღოთ ასტრონომიისათვის ძალზე სასარგებლო შედეგები.

მეტეორებზე დამკვირვებელმა კარგად უნდა იცოდეს ყველა თანავარსკვლავედისა და კაშკაშა ვარსკვლავის ცის თაღზე განლაგება, იცოდეს რაც შეიძლება ბევრი ვარსკვლავის ვარსკვლავიერი სიდიდე და ფერი, კუთხური მანძილები ყველაზე უფრო შესამჩნევ ვარსკვლავთა შორის. დამწყებმა მოყვარულმა აუცილებლად უნდა შეისწავლოს დროის ძალზე მცირე შუალედების (წამის ნაწილების) ხანგრძლიობის განსაზღვრა, რამდენ ხანსაც შეიძლება ჩანდეს მეტეორი. ამისათვის თვალი უნდა ადევნოთ წამის ისრის მოძრაობას ან ყური უგდოთ ქანქარის წიკწიკს და წამების თვლაში ივარჯიშოთ.

ვიზუალური დაკვირვების უმარტივესი სახეა მეტეორების თვლა. ამისათვის დამკვირვებელი ცის გარკვეულ უბანს ირჩევს, რამდენიმე საათის განმავლობაში უთვალთვალებს და აღრიცხავს, ვთქვათ, ყოველ ხუთ წუთში რამდენ მეტეორს შენიშნავს. უფრო სერიოზული დაკვირვებისას უნდა განისაზღვროს მეტეორის სიკაშკაშე ვარსკვლავიერ სიდიდეებში, მისი ფერი, ხილული გზის სიგრძე და მეტეორის ტრაექტორიის შუა ადგილის დაშორება გრადუსებში ცის საკვლევი უბნის ცენტრიდან. სასურველია განისაზღვროს მეტეორის მდებარეობის კუთხე, ანუ კუთხე მეტეორის ხილულ გზასა და შვეულ ხაზს შორის, რომელიც მისი გზის დასაწყისში გადის. ათვლა წარმოებს საათის ისრის მიმართულებით.

მეტეორებზე ვიზუალური დაკვირვების ყველაზე სასარგებლო ხერხად ჯგუფური თვლის მეთოდი ითვლება. ამ მეთოდის გამოყენებისას ცის ერთსა და იმავე, ზუსტად განსაზღვრულ უბანს აკვირდება რამდენიმე (4-დან 6-მდე) ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი დამკვირვებელი. ეს შემდეგნაირად ხდება: თვითეული დამკვირვებლის წინ თვალიდან 1 მეტრ მანძილზე 1 მეტრი დიამეტრის მქონე მავთულის წრეს ამაგრებენ. წრის სიბრტყე დამკვირვებლის თვალიდან ცის დასაკვირვებელი უბნის ცენტრისაკენ მიმავალი ხაზის პერპენდიკულარული უნდა იყოს. ასეთ პირობებში დამკვირვებელი ყურადღებას მხოლოდ ცის იმ უბანზე ამახვილებს, რომელიც წრეში მოჩანს (ნახ. 8).

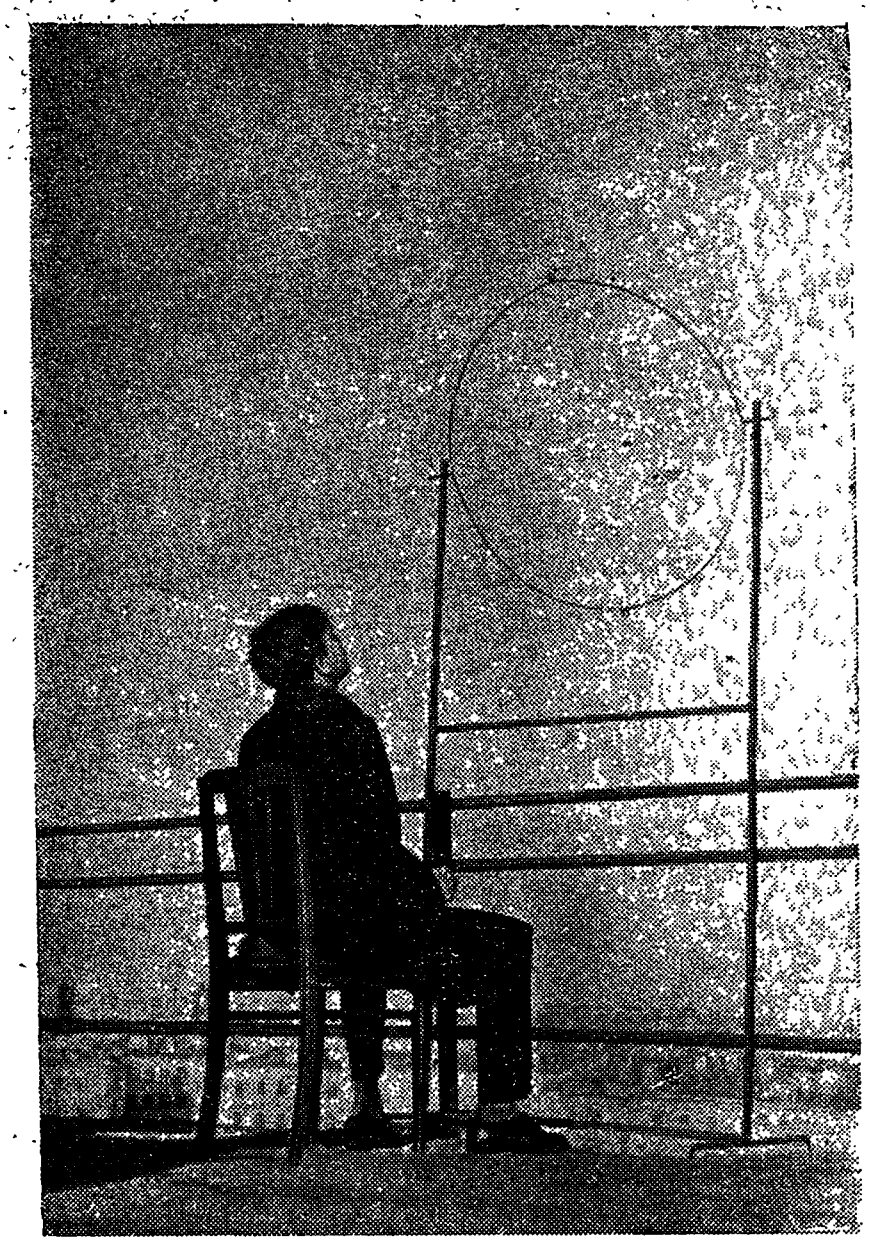


ნახ. 7. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის გზის ფოტოსურათი.

იმ შემთხვევაში, როცა მეტეორთა ნაკადს აკვირდებით, ცის დასაკვირვებელი უბნის ცენტრი მეტეორთა ნაკადის რადიანტის ახლოს უნდა აირჩიოთ (იხ. გვ. 283). რადიანტების მდებარეობა მითითებულია „სასკოლო ასტრონომიულ კალენდარში“, ყველა სხვა შემთხვევაში ან ზენიტის მახლობელ ცის უბანს უნდა დააკვირდეთ (ამ დროს ცას წოლელა უნდა უყურებდეთ, მავთულის წრე კი ჰორიზონტალურად უნდა დააყენოთ), ან სამყაროს პოლუსის მახლობელ უბანს (მაშინ ცის დასაკვირვებელი უბნის ცენტრი პოლარული ვარსკვლავი იქნება).

როდესაც მეტეორებს ჯგუფური თვლის მეთოდით აკვირდებით, თვითეული მეტეორის გაელვების შემდეგ ყოველი დამკვირვებლის კარნახით დაკვირვებათა შედეგებს მდივანი წინასწარდახაზულ ჟურნალში იწერს (რიგის მიხედვით). ყველა დამკვირვებელი სრულიად დამოუკიდებლად აკვირდება ცას. მუშაობის დროს არ უნდა იმსჯელოთ ამ დაკვირვებათა შესახებ, მით უმეტეს, არ უნდა იდავოთ, ვინ უფრო სწორად განსაზღვრა მეტეორის სიკაშკაშე ან სხვა რომელიმე მახასიათებელი.

დაკვირვებათა ჟურნალში იწერება მეტეორის რიგითი ნომერი, გაელვების მომენტი (ერთი წამის



ნახ. 8. ასე აკვირდებიან მეტეორებს წრეებში.

სიზუსტით), ვარსკვლავიერი სიდიდე (0,5-მდე სიზუსტით) და მეტეორის ხილული გზის სიდიდე. ყოველივე ამას თვითეული დამკვირვებელი ცალ-ცალკე კარნახობს. დანარჩენ მონაცემებს (მდებარეობის კუთხე, კვალის არსებობა, მისი ხილვადობის დრო და ცვალებადობის მახასიათებელი) კი — ერთი დამკვირვებელი.

ჯგუფური თვლის მეთოდი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ თვითეული ვარსკვლავიერი სიდიდის მეტეორთა საერთო რიცხვი, მათ შორის იმ მეტეორებისაც, რომლებიც არც ერთ დამკვირვებელს არ შეუნიშნავს. საქმე ისაა, რომ ადამიანის თვალს არ ძალუძს შენიშნოს ყველა სუსტი მეტეორი, რომელიც ცის ამორჩეულ უბანში გაიელვებს. თვითეული ვარსკვლავიერი სიდიდისათვის განსაზღვრული „ხილვადობის არე“ არსებობს. კაშკაშა მეტეორებს (1-ლი სიდიდის და უფრო ნათელ მეტეორებს), ჩვეულებრივ, ყველა დამკვირვებელი შენიშნავს. მაგრამ მეორე სიდიდის მეტეორებს ყველა ვეღარ შენიშნავს. დამკვირვებელთა რიცხვი, რომელთაც ერთდროულად შეძლეს შეენიშნათ უფრო სუსტი მეტეორები კიდევ უფრო ნაკლები იქნება. ერთდროულად შენიშნული მეტეორების რიცხვის მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ ხილვადობის არე და სიდიდე, რომლებზეც შენიშნული მეტეორების რაოდენობა უნდა გავამრავლოთ, რომ მეტეორთა ნამდვილი რიცხვი მივიღოთ. ამ სიდიდეებს შემჩნევის კოეფიციენტები ეწოდება.

მას შემდეგ, რაც მეტეორებზე ვიზუალური დაკვირვებების გამოცდილებას შეიძენთ, შეგიძლიათ შენიშნული მეტეორები ვარსკვლავთა რუკების საგანგებოდ გამზადებულ ასლებზე აღნიშნოთ.

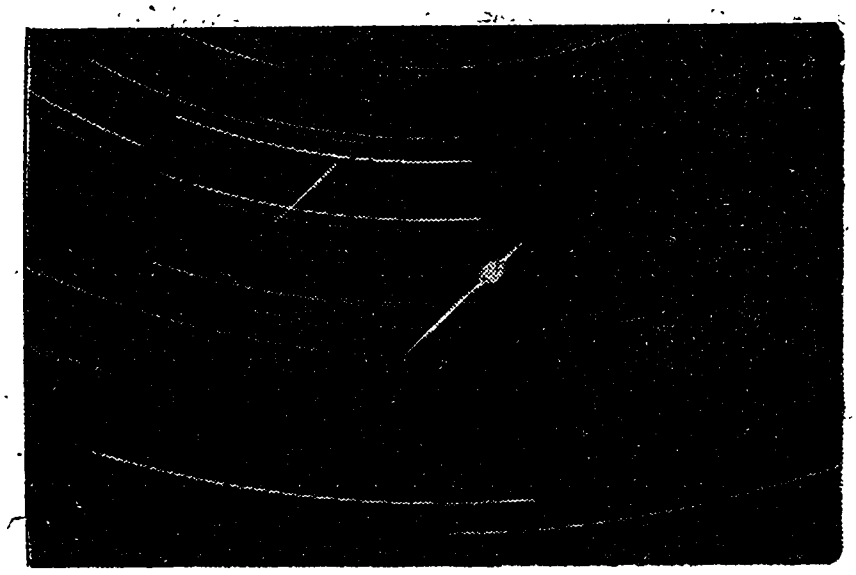
მეტეორი ისრით აღინიშნება. თვითეული ისრის წვერთან იწერება რიგითი ნომერი, რომლითაც მეტეორი დაკვირვებათა ჟურნალშია შეტანილი.

მეცნიერებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მეტეორებზე ტელესკოპურ დაკვირვებას. ამისათვის უმჯობესია კარგი საველე ბინოკლი გამოიყენოთ. ბინოკლი ცის თაღის ერთ-ერთი ამორჩეული წერტილისაკენ (ზენიტისკენ ან სამყაროს პოლუსისკენ) უნდა მიმართოთ, ან წერტილისაკენ, რომელიც 3—5 გრადუსზე იმყოფება მეტეორთა ნაკადის რადიანტიდან. ამ ბოლო შემთხვევისათვის რომელიმე, არც ისე კაშკაშა ვარსკვლავი უნდა აირჩიოთ და ის დაკვირვების მთელი დროის განმავლობაში ბინოკლის მხედველობის ველის ცენტრში ამყოფოთ. დაკვირვებათა ჟურნალში ისეთივე ჩანაწერები უნდა გააკეთოთ, როგორიც მავთულის წრეში დაკვირვებისას. ოღონდ მეტეორის გზის სიგრძე ამ შემთხვევაში ბინოკლის მხედველობის ველის დიამეტრის მეათედ ნაწილებში უნდა შეფასდეს. აუცილებლად უნდა მიუთითოთ ხელსაწყოს ძირითადი მონაცემებიც. ისევე როგორც წრით დაკვირვებისას, ბინოკლით დაკვირვებასაც 4—6 დამოუკიდებელი დამკვირვებელი აწარმოებს. ბინოკლი ყველას ერთნაირი უნდა ჰქონდეს. ჩაწერას მდივანი აწარმოებს.

მოყვარულისათვის ყველაზე უფრო საინტერესოა მეტეორების ფოტოსურათების გადაღება (ნახ. 9). მეტეორთა ფოტოსურათების გადაღება ყველანაირი ფოტოაპარატით შეიძლება, მაგრამ უმჯობესია, აპარატს რაც შეიძლება მეტი შუქძა-

ლიანი ოპტიკა ჰქონდეს. კარგი იქნება, თუ იზოპანქრომატულ და რაც შეიძლება მეტი მგრძნობელობის ფირფიტებს ან ფოტოფირებს გამოიყენებთ. მეტეორთა ფოტოსურათების გადაღებისას აპარატი ან ზენიტისაკენ, ან მეტეორთა ნაკადის რადიანტის არისაკენ უნდა მიმართოთ და უძრავად დააყენოთ. აპარატი უნდა დაიცვათ გარეშე შუქის ზემოქმედებისაგან.

ექსპოზიცია უმთვარო ღამეში შეიძლება ორი საათი გაგრძელდეს, ნათელ, მთვარიან ღამეში კი ფოტოსურათების გადაღება არ შეიძლება. მეტეორის გაელვება ცის იმ უბანზე, საითაც ფოტოკამერაა მიმართული, დაკვირვებათა ჟურნალში უნდა აღნუსხოთ. ამასთან უნდა აღნიშნოთ გაელვების დრო და მეტეორის მიახლოებითი მდებარეობა ცა-



ნახ. 9. ორი კაშკაშა მეტეორის ფოტოსურათი.

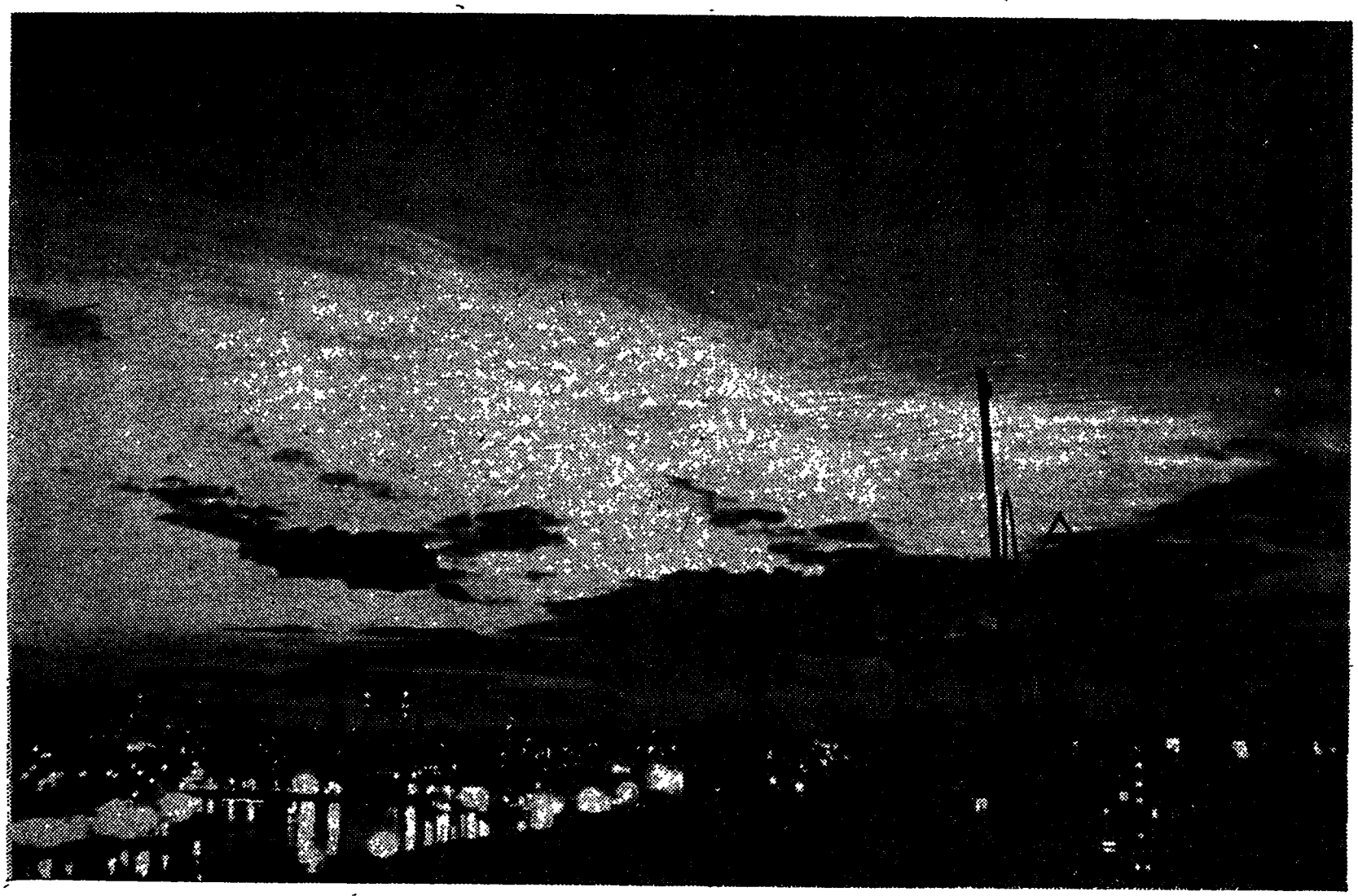
ზე. მეტეორები შეიძლება ვარსკვლავიერ რუკაზე აღნიშნოთ. ფოტოსურათზე ვარსკვლავები უფრო მოხერხებულად რომ გააიგივოთ, ექსპოზიციის დროს ყოველი 15—20 წუთის შემდეგ ობიექტივს ათი წამით ხუფი ან მუყაოს ნაჭერი დააფარეთ. ჟურნალში დაკვირვების შეწყვეტის დროც უნდა ჩაწეროთ. მეტეორებზე დაკვირვებათა შესახებ უფრო დაწვრილებით შეგიძლიათ წაიკითხოთ წიგნში — ი. ზ ო ტ კ ი ნ ი. ინსტრუქცია მეტეორებზე დაკვირვებისათვის (საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გამ-ბა, 1961, რუსულ ენაზე).

ბოლიდებზე (ძალიან კაშკაშა მეტეორებზე) დაკვირვება, რომელთა გაელვება ხშირად დედამიწის ზედაპირზე მეტეორიტების დაცემით მთავრდება, დაწვრილებით უნდა აღწეროთ და ჩანახატებიც დაურთოთ. ასეთ შემთხვევებში აუცილებლად უნდა აღნიშნოთ დაკვირვების დრო და ადგილი, რა მიმართულება ჰქონდა ბოლიდს, რა სიკაშკაშის იყო და რა ფერის. უნდა ჩაიწეროთ, გაიგონეთ თუ არა რაიმე ხმაური და დაახასიათოთ კვალი, რომელსაც ბოლიდი დატოვებს.

დაკვირვება ვერცხლისფერ ღრუბლებზე

ვერცხლისფერი ღრუბლები ძალზე საინტერესო, მაგრამ ნაკლებად შესწავლილი ბუნების მოვლენაა, ამიტომ მათზე მოყვარულთა დაკვირვებას დიდი მნიშვნელობა აქვს. როგორც ჩანს, ვერცხლისფერი ღრუბლები, რომლებიც 80—85 კმ სიმაღლეზე დაცურავენ, ისეთივე ბუნებისაა, როგორც ბუმბულისებრი ღრუბლები, ე. ი. ყინულის კრისტალებისაგან შედგება. ფიქრობენ, რომ წყლის ორთქლი ატმოსფეროს მიწისპირა ფენებიდან ატმოსფეროს ზედა ფენებში ააქვს ჰაერის აღმავალ ნაკადებს და მძლავრ ვულკანურ ამოფრქვევებს. შესაძლოა, წყლის ორთქლი უშუალოდ ატმოსფეროს ზედა ფენებში წარმოიშვას წყალბადისა და ჟანგბადის შეერთებით. მეტეორული და ვულკანური მტვრის ნაწილაკები შეიძლება წარმოადგენდეს კონდენსაციის ბირთვებს, რომლებზეც წყლის ორთქლი იყინება და ყინულის კრისტალები წარმოიშვება. ამას წინათ ამერიკელმა მეცნიერებმა რაკეტების საშუალებით ვერცხლისფერი ღრუბლების ნაწილაკთა ნიმუშები აიღეს და ეს ჰიპოთეზა დაადასტურეს.

ვერცხლისფერი ღრუბლები ზაფხულობით მოჩანს ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროების განედთა შეზღუდულ ზოლში 50-დან 65°-მდე. მათი დანახვა შეიძლება მხოლოდ საღამოს ბინდში სტრატოსფეროს განათებისას, როცა მზე ჰორიზონტს ქვემოთ 5 გრადუსიდან 18 გრადუსამდეა ჩასული. ამ დროს მზის სხივები დედამიწის ზედაპირს არ ანათებს, მაგრამ ატმოსფეროს ზედა ფენებს, სადაც 80—85 კმ სიმაღლეზე ვერცხლისფერი ღრუბლები წარმოიშვება, ისევ ჰფენს შუქს. ჩვეულებრივი ღრუბლები შებინდებისას რუხი ფერისაა. მათგან განსხვავებით, მზით განათებული ვერცხლისფერი ღრუბლები მკაფიოდ ბრწყინავს. ეს ღრუბლები მოჩანს ხოლმე ჩრდილოეთით, ჰორი-



ნახ. 10. ვერცხლისფერი ღრუბლების ფოტოსურათი, გადაღებული მოყვარულის მიერ.

ზონტს ცოტა მაღლა, დაბინდული ცის ფონზე. ვერცხლისფერი ღრუბლები ნაკლებ მკვრივია (მათ იქით ვარსკვლავები მოჩანს), გამუდმებით გადაინაცვლებენ ჰორიზონტის მიმართ და სწრაფად იცვლიან მოხაზულობას. ღრუბლები შეიძლება ჰგავდეს გადარეცხილ უფერულ ფირს („ფლერი“), ან მოგვაგონებდეს ზოლებს, სავარცხლებს, რომლებიც ზოგჯერ მცირე კუთხით კვეთენ ერთმანეთს. ზოგჯერ ვერცხლისფერ ღრუბლებს დახვეული ფორმაც აქვს.

ვერცხლისფერ ღრუბლებზე დაკვირვებისას დაწვრილებით უნდა აღწეროთ ისინი და მათი ფორმის ცვალებადობა, ჩაინიშნოთ მათი მოძრაობის მიმართულება, გამოჩენისა და გაუჩინარების დრო. უკეთესი იქნება, თუ დროის თანაბარ შუალედებში ვერცხლისფერ ღრუბლებს ჩაიხატავთ და მათ ფოტოსურათებს გადაიღებთ. ვარსკვლავებს ნახატზე ხილული ჰორიზონტის მიმართ ისეთივე მდებარეობა უნდა ჰქონდეს, როგორც ცაზე დაკვირვების დროს. ჰორიზონტიც უნდა ჩაიხატოთ სილუეტური ხაზის სახით. დიდი მნიშვნელობა აქვს ღრუბლების მკვეთრად გამოყოფილი დეტალების აღნიშვნას. ჩანახატებს ამ დეტალების დაწვრილებითი აღწერა უნდა დაურთოთ.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ვერცხლისფერი ღრუბლების ფოტოსურათების გადაღებას. ვერცხლისფერი ღრუბლების ფოტოსურათების გადაღება ყოველნაირი ფოტოაპარატით შეიძლება, მაგრამ უმჯობესია ამისათვის გამოიყენოთ ფოტოაპარატი, რომელსაც მეტი შუქძალის ოპტიკა აქვს. თუ ობიექტივის შუქძალა 1 : 2 ან 1 : 3,5 იქნება, ფოტოფირის მგრძნობელობა კი 90 — 200 ერთეული საბელმწიფო სტანდარტით, მაშინ კარგი ფოტოსურათი შეიძლება გადაიღოთ რამდენიმე წამის ექსპოზიციით. კამერა ისე უნდა მიმართოთ, რომ ფოტოსურათზე აღიბეჭდოს ღრუბელთა ძირითადი ნაწილი, ხოლო ფოტოსურათის ქვედა ნაწილში მოჩანდეს შენობების ან ხეების მკვეთრად გამოყოფილი სილუეტები (ნახ. 10). ფოტოგადაღების შემდეგ უნდა განისაზღვროს ამ ობიექტების აზიმუტები და ღრუბელთა სიმაღლე ჰორიზონტს ზემოთ, გამოსახული გრადუსებში.

დაკვირვებები მთვარესა და პლანეტებზე

მთვარეს შეიძლება დააკვირდეთ თვითნაკეთი და ჭარხნაში დამზადებული სასკოლო ტელესკოპით და ბინოკლითაც კი. თუ ასტრონომიის მოყვარულს კარგი თვითნაკეთი რეფლექტორი აქვს, კარგად ორგანიზებულ დაკვირვებას მთვარეზე შეიძლება მეცნიერული მნიშვნელობაც ჰქონდეს. განსაკუთრებით საინტერესოა მთვარის დაბნელებაზე დაკვირვება.

მთვარეზე დაკვირვებისას უნდა ისწავლოთ ცალკეული დეტალების ჩახატვა, რაც პლანეტებზე დაკვირვების დროსაც გამოგადგებათ. მთვარის ზედაპირის დეტალების, მთვარის რელიეფის სხვადასხვა ფორმების გაცნობა მოყვარულთათვის ძალზე საინტერესო იქნება. დაკვირვებათა დაწყებამდე აუცილებელია მთვარის რუკების საშუალებით გაეცნოთ მთვარის ტოპოგრაფიას, დაიხსომოთ მთვარის მთავარი „ზღვების“, უდიდესი კრატერებისა და ცირკების ფორმა და სახელები. მთვარეს შეიძლება დააკვირდეთ სხვადასხვა ფაზაში, ე. ი. განათების სხვადასხვა პირობებში. დაკვირვებისათვის მთვარის ერთი, ან რამდენიმე მცირე უბანი უნდა აირჩიოთ და სისტემატურად ჩაიხატოთ ისინი მზის სხივების სხვადასხვა კუთხით დაცემისას, ამასთან, უნდა მიუთითოთ დაკვირვების დროც. ამ დაკვირვებათა შედეგად შეიძლება დაადგინოთ ადგილმდებარეობის რელიეფი, განსაზღვროთ მთვარის მთების, ცალკეული მწვერვალებისა და კრატერების სიმაღლე.

უკეთესია მთვარის ფოტოსურათების გადაღება. ამისათვის, ისევე როგორც მზის ფოტოგადაღებისას, ტელესკოპს საგანგებო ფოტოკამერა უნდა დაუყენოთ. თუ ფოტოგადაღება ოკულარული გადიდების გარეშე წარმოებს, მაშინ ექსპოზიცია მომენტალური უნდა იყოს; ოკულარული გადიდებისას კი მას 1-დან 5 წამამდე ვზრდით. ამ შემთხვევაში ტელესკოპს საათის მექანიზმი უნდა ჰქონდეს (იხ. წიგნი: ნ. სიტინსკაია. მთვარე და მასზე დაკვირვება, გოსტეხიზდატი, 1956, რუსულ ენაზე).

პლანეტებზე (ვენერაზე, მარსზე, იუპიტერზე და სატურნზე) დაკვირვება მოყვარულისათვის საინტერესო იქნება, თუ მისი ტელესკოპის დიამეტრი 80 მმ-ზე ნაკლები არ არის. ვიზუალური დაკვირვების დროს იხატავთ პლანეტის ზედაპირისა და ატმოსფეროს ხილულ დეტალებს და აღწერთ მათ. დაკვირვების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს გამოსახულების შესაფერი გადიდების შერჩევას (აუცილებელი არ არის მაქსიმალური გადიდება), რაც უზრუნველყოფს გამოსახულების სიმკვეთრეს. ამის შემდეგ უნდა დაელოდოთ, ვიდრე ჰაერი დაწყნარდებოდეს. ასეთ დროს კარგად მოჩანს პლანეტის ზედაპირის დეტალები. ერთერთი დეტალი უნდა დაიხსომოთ და მაშინვე გამოსახოთ ნახატზე. შემდეგ ისევ შესაფერ მომენტს უნდა დაელოდოთ და ახლა მეორე დეტალი გამოსახოთ. დროდადრო ნახატი პლანეტას უნდა შეადაროთ. ამგვარად, ცოტა ხანში (არაუმეტეს 15 წუთისა) შეიძლება პლანეტის მთელი ხილული ნაწილი ჩახატოთ. ასეთი ჩანახატების მნიშვნელობა გაიზრდება, თუ ჩანახატებს ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად რამდენიმე დამკვირვებელი შეასრულებს. ეს საშუალებას მოგცემთ თავიდან აიცილოთ თვითეული დამკვირვებლის ინდივიდუალური შეცდომები და ნახატის საბოლოო დამუშავების, ანუ დეტალების განედებისა და გრძედების განსაზღვრის შემდეგ უფრო უტყუარი სურათი მიიღოთ იმისა, რასაც აკვირდებოდით.

ასტრონომიის მოყვარულს სხვადასხვა პლანეტაზე დაკვირვების სხვადასხვანაირი შესაძლებლობა აქვს. ყველაზე უფრო იოლი იუპიტერზე დაკვირვებაა, იმის გამო, რომ მას შედარებით დიდი დისკო და კარგად შესამჩნევი ზოლები აქვს, რომლებიც პლანეტას ეკვატორის გასწვრივ გასდევს. ხანდახან ზოლებში შეიმჩნევა დეტალები: მუქი და ნათელი ლაქები, ზოლების შემაერთებლები (ხიდები) და სხვა (ნახ. 11). პლანეტის დისკო უნდა გამოსახოთ წინასწარმომზადებული მუყაოს თარგის საშუალებით, რომელსაც ელიფსის სახე უნდა ჰქონდეს. ელიფსის ღერძები 50 და 47 მმ სიგრძისა უნდა იყოს.

სატურნი გარეგნულად იუპიტერს წააგავს, მაგრამ მისი ზოლები უფრო მკრთალია და ყოველთვის არ ჩანს. სამაგიეროდ, ძალზე საინტერესოა სატურნის რგოლი, უფრო სწორად, ერთმანეთისაგან მუქი შუალედებით გამოყოფილი სამი რგოლი. ხანდახან შესაძლებელია პლანეტაზე რგოლის ჩრდილი შენიშნოთ, რგოლზე კი პლანეტის ჩრდილი.



ნახ. 11. იუპიტერის სურათი.

ვ ე ნ ე რ ა ს დისკოზე არავითარი შესამჩნევი დეტალი არ შეინიშნება, მაგრამ მისი ფაზები ხშირად თეორიულისაგან განსხვავებულია და ნამგლის წვეტები წაგრძელებული აქვს ხოლმე. ამიტომ ვენერაზე დაკვირვებისას მთავარი ყურადღება მისი ტერმინატორის (დისკოს ნათელი და ბნელი ნაწილების საზღვრის) ფორმას უნდა მიექცეს. ვენერას ჩანახატები 50 მმ დიამეტრის მქონე თარგულ წრეებზე უნდა შეასრულოთ.

მ ა რ ს ზ ე დაკვირვება და ჩანახატების შესრულება შეგიძლიათ მხოლოდ ისეთ ტელესკოპის საშუალებით, რომელსაც 100 მმ და მეტი დიამეტრის ობიექტივი ექნება.

თუ ტელესკოპის ოკულარის ბოლოს „ზენიტის“ ტიპის ფოტოაპარატს მოარგებთ, მაშინ შეგიძლიათ პლანეტების ფოტოსურათები ოკულარული გადიღებით გადაიღოთ, მაგრამ საამისოდ ტელესკოპს საათის მექანიზმი უნდა ჰქონდეს (იხ. წიგნი: ვ. ბ რ ო ნ შ ტ ე ნ ი. პლანეტები და მათზე დაკვირვება, გოსტეხიზდატი, 1957, რუსულ ენაზე).

კომეტებზე დაკვირვება

კომეტებს შეგიძლიათ დააკვირდეთ, თუ გაქვთ შუქძალიანი რეფლექტორი, სასკოლო ტელესკოპ-რეფრაქტორი ან მენისკური ტელესკოპი, ან, თუნდაც, ბინოკლი. თუ დამკვირვებელი კარგად იცნობს ვარსკვლავიერ ცას და თავისი ტელესკოპით სისტემატურად, მოთმინებით აკვირდება, შესაძლებელია ახალი კომეტა აღმოაჩინოს. მზიდან მოშორებით კომეტას ნისლოვანი ლაქის სახე აქვს და ნისლეულებისაგან იმითი უნდა გაარჩიოთ, რომ რამდენიმე საათში ვარსკვლავების მიმართ შესამჩნევად გადაინაცვლებს. რაც უფრო უახლოვდება მზეს, კომეტას უვითარდება მანათობელი კუდი და თანდათან უფრო კარგად შესამჩნევი ხდება.

მოყვარულის მთავარი ამოცანაა ზუსტად განსაზღვროს ვარსკვლავთა შორის კომეტის მდებარეობა და შეისწავლოს მისი თავისა და კუდის გარეგნული აღნაგობა. კომეტის ზუსტი მდებარეობის განსაზღვრა შესაძლებელია ვარსკვლავთა საკმაოდ დაწვრილებითი ატლასის დახმარებით.

მოყვარულს კაშკაშა კომეტის ფოტოსურათის გადაღებაც შეუძლია. ამისათვის გამოგადგებათ ფოტოაპარატი „ფ ე დ ი“, რომელიც საათის მექანიზმიან ან კარგი მიკრომეტრული ხრახნის მქონე ტელესკოპის მილს უნდა მოარგოთ. დამკვირვებელი ოკულარში იყურება და გასაღების დახმარებით ტელესკოპს კომეტის კვალდაკვალ მიმართავს. ექსპოზიცია (როცა ობიექტივი მთლიანად ღიაა და ფოტოფირები მგრძნობიარეა) შეიძლება 1 წუთიდან 5 წუთამდე გაგრძელდეს.

ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვება

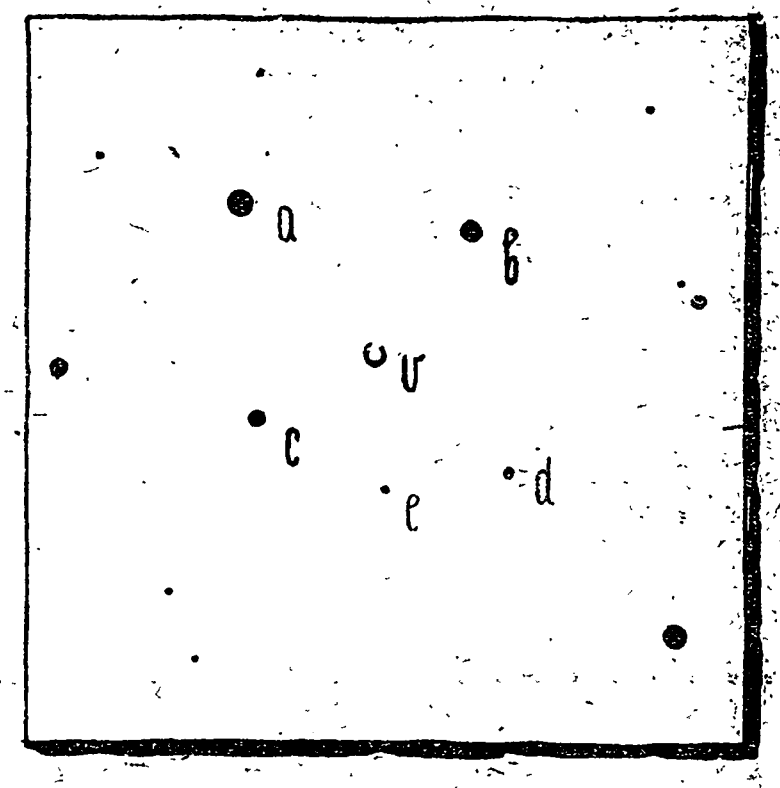
ასტრონომიის მოყვარულისათვის ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვება ყველაზე უფრო ხელმისაწვდომია, პერსპექტიულია და მეცნიერული მნიშვნელობაც აქვს. ცვალებად ვარსკვლავებს რომ დააკვირდეთ, საკმარისია გქონდეთ ბინოკლი და ვარსკვლავთ რუკა. დაკვირვების მიზანია, განისაზღვროს ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშე ვარსკვლავიერ სიდიდეებში დაკვირვების ყოველ მომენტში და აიგოს სიკაშკაშის ცვალებადობის გრაფიკი დროის რაც შეიძლება დიდი მონაკვეთისათვის. ასეთი გრაფიკის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვალებადობის ძირითადი კანონზომიერებანი, რის საფუძველზეც შეიძლება ვარსკვლავის ფიზიკურ ბუნებაზე ვიმსჯელოთ.

ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვების პროგრამა უნდა შეადგინოთ მას შემდეგ, როცა გაეცნობით ამ სტატიაში და განყოფილება „ცის სხეულების სამყაროს“ ბიბლიოგრაფიულ მაჩვენებელში ჩამოთვლილ ლიტერატურას და განსაზღვრავთ იმ

ვარსკვლავთა ხილვადობის პირობებს, რომლებიც გაინტერესებთ. აუცილებელი გამოცდილების მისაღებად, უმჯობესია, ჯერ კარგად შესწავლილ ცვალებად ვარსკვლავებს დააკვირდეთ და მხოლოდ ამის შემდეგ შეუდგეთ ნაკლებად შესწავლილ და სრულიად შეუსწავლელ ვარსკვლავებზე დაკვირვებას.

ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშე განისაზღვრება მეზობელი (არაცვალებადი) ვარსკვლავების სიკაშკაშესთან შედარების გზით. ამას ყველაზე უკეთ ნეილანდ-ბლაჟკოს მეთოდით შეძლებთ. ამ მეთოდის თანახმად უნდა იცოდეთ (მიახლოებით მაინც) ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვლილების საზღვრები. შემდეგ ცვალებადი ვარსკვლავის მეზობლად აირჩევთ შესადარებელ ვარსკვლავებს. ზოგი მათგანის სიკაშკაშე დაახლოებით ისეთი უნდა იყოს, როგორიც ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშეა მაქსიმუმში, ზოგი მათგანისა — დაახლოებით ისეთი, როგორიც ცვალებადის სიკაშკაშეა მინიმუმში, ზოგისა კი ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის შუალედურ მნიშვნელობას უნდა შეეფარდებოდეს. ამის შემდეგ უნდა შეადგინოთ ცვალებადი ვარსკვლავის მახლობელი არის რუკა, რომელზეც შესადარებელი ვარსკვლავები უნდა აღნიშნოთ (ნახ. 12). დაკვირვების ყოველ მომენტში ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშე ან ტოლი იქნება ერთ-ერთი შესადარებელი ვარსკვლავის სიკაშკაშისა, ან რამდენადმე მეტი ერთის და რამდენადმე ნაკლები მეორის სიკაშკაშეზე. პირველ შემთხვევაში ცვალებად ვარსკვლავს მიეწერება ის ვარსკვლავიერი სიდიდე, რომელიც მისი ტოლი სიკაშკაშის შესადარებელ ვარსკვლავს აქვს. მეორე შემთხვევაში ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშე ორი შესადარებელი ვარსკვლავის სიკაშკაშის პირობითი ერთეულის — სიკაშკაშის ხარისხის საშუალებით უნდა შედარდეს. ხარისხი ეწოდება სიკაშკაშის იმ მინიმალურ სხვაობას, რომელიც შესაძლოა დამკვირვებელმა შენიშნოს.

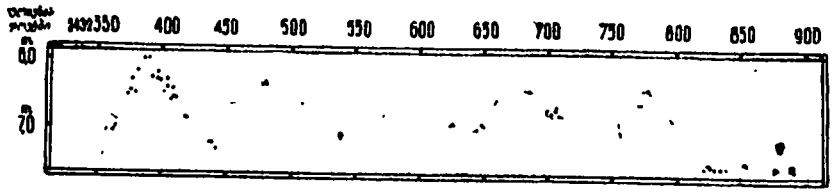
ავიღოთ, მაგალითად, ასეთი შემთხვევა: ცვალებადი ვარსკვლავი შესადარებელ *d* ვარსკვლავზე უფრო კაშკაშაა, მაგრამ შესადარებელ *c* ვარსკვლავზე მკრთალია. ამასთან, სიკაშკაშის სხვაობა ცვალებად ვარსკვლავსა და *d* ვარსკვლავს შორის ორჯერ მეტია, ცვალებად ვარსკვლავსა და *c* ვარსკვლავს შორის სიკაშკაშის სხვაობაზე. ამ შემთხვევაში ჩანაწერს ასეთი სახე ექნება: *c*1*v* 2*d*, სადაც *v*-თი ცვალებადი ვარსკვლავია აღნიშნული. თუ ვიცით შესადარებელი ვარსკვლავების სიკაშკაშე, გამოსახული ვარსკვლავიერ სიდიდეებში, ვთქვათ (*c*=6^m,8; *d*=7^m,1), განვსაზღვრავთ განსხვავებას მათ სიკაშკაშეებს შორის, რაც აგრეთვე ვარსკვლავიერი სიდიდით გამოიხატება: *d*—*c*=7^m,1—6^m,8==0^m,3. მოცემული შესადარებელი ვარსკვლავების სიკაშკაშეების სხვაობა, გამოხატული პირობით ხარისხში, ტოლია იმ ხარისხთა ჯამისა, რომლებიც ცვალებადი ვარსკვლავის მარცხნივ და მარჯვნივაა მიწერილი, ანუ 1+2=3. ახლა ვიპოვოთ პირობითი ხარისხის მნიშვნელობა, გამოხატული ვარსკვლავიერ სიდიდეებში: 0^m,3 : 3 = 0^m,1. ბოლოს, თუ *c* შესადარებელი ვარსკვლავის ვარსკვლავიერ სიდიდეს ვარსკვლავიერი სიდიდის $^1/_{10}$-ს მივუმატებთ, ან *d* შესადარებელი ვარსკვლავის ვარსკვლავიერ სიდიდეს ვარსკვლავიერი სიდიდის $^2/_{10}$-ს გამოვაკლებთ, მივიღებთ ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშეს, გამოხატულს ვარსკვლავიერ სიდიდეებში. მოცემულ შემთხვევაში ეს სიდიდე იქნება 6^m,9.



ნახ. 12. ცვალებადი ვარსკვლავის შემოგარენის რუკა. ცვალებადი *v* ვარსკვლავის ირგვლივ იმყოფებიან *a*, *b*, *c*, *d*, *e* შესადარებელი ვარსკვლავები.

დაკვირვებათა ჟურნალში იწერება მოცემულ ცვალებად ვარსკვლავზე დაკვირვების რიგითი ნომერი, დაკვირვების თარიღი და დრო, ცვალებადი

ვარსკვლავის სიკაშკაშის შეფასება, გამოხატული ხარისხებით. შენიშვნაში უნდა დავახასიათოთ დაკვირვების პირობები: მაგალითად: 121. 1963 წ. აპ-



ნახ. 13. ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვლილების გრაფიკი.

რილი, 21, 22 საათი და 45 წუთი, *c* 1 *v* 2 *d*. კარგი. დაკვირვებათა დამუშავების დროს თარიღი და დრო უნდა გადაიანგარიშოთ ეგრეთ წოდებულ იულიუსის პერიოდზე [1], რომლის ათვლაც ძვ. წ. 4713 წლიდან იწყება. ზემოთ მოყვანილი თარიღი იულიუსის პერიოდის 2 438 141 დღეს შეესაბამება. დეკრეტული დროის გადაყვანა კი მსოფლიო დროში (ნულოვანი მერიდიანის დრო) და დღე-ღამის ნაწილებში 0,3229 დღე-ღამეს შეადგენს. ამგვარად, ზემოთ აღნიშნული თარიღი და დრო, გადაანგარიშებული იულიუსის პერიოდის დღე-ღამეებსა და დღე-ღამეების ნაწილებში, შეადგენს 2 438 141^{d}, .3229 და, მაშასადამე, დაკვირვება დამუშავებული სახით ასე ჩაიწერება: 2 438 141^{d}, 3229·6^{m},9. დაკვირვების მომენტის ასეთი ჩაწერა მოსახერხებელია, რადგან საშუალებას იძლევა დიდისაგან პატარის გამოკლებით იოლად განისაზღვროს ორ მომენტს შორის გავლილი დროის შუალედი.

დაკვირვებებს რომ დააგროვებთ, უნდა შეადგინოთ ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვლილების გრაფიკი და დააზუსტოთ, ანდა ხელახლა განსაზღვროთ მოცემული ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვლილების ამპლიტუდა (რხევის შუალედი) და პერიოდი (ნახ. 13).

შეგიძლიათ ცის იმ უბნების ფოტოსურათები გადაიღოთ, სადაც ბევრი ცვალებადი ვარსკვლავია და დაკვირვება ფოტოსურათებზე აწარმოოთ. მაგრამ ამისათვის საჭიროა გქონდეთ საათისმექანიზმიანი ტელესკოპი და ფოტოკამერა, რომელსაც დიდი დიამეტრის მქონე შუქძალიანი ობიექტივი აქვს.

ძალიან ბევრი ცვალებადი ვარსკვლავი ნაკლებად შესწავლილი ან სრულიად შეუსწავლელიც კია. სპეციალისტი ასტრონომები ყველა ცვალებადი ვარსკვლავის სისტემატურ შესწავლას ვერ აუდიან. ამიტომ დიდი მნიშვნელობა აქვს ასტრონომიის იმ მოყვარულთა დახმარებას, ვინც ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვების მეთოდიკას და ტექნიკას აითვისებს.

ცვალებადი ვარსკვლავების შესახებ უფრო დაწვრილებით მოთხრობილია წიგნში: პ. პ ა რ ე ნ ა გ ო და ბ. კ უ კ ა რ კ ი ნ ი—ცვალებადი ვარსკვლავები და მათზე დაკვირვების ხერხები (მე-2 გამოც. გოსტეხიზდატი, რუსულ ენაზე, 1947). ცვალებადი ვარსკვლავის დაკვირვებებზე დაწვრილებითი მითითებანი შეგიძლიათ ნახოთ ნ. კუროჩკინის მიერ შედგენილ „ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვების ინსტრუქციებში“ (საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გამ-ობა, 1962, რუსულ ენაზე).

ზემოთ მოცემული დარიგებანი მხოლოდ ძალზე ზოგადი, პირველი რიგის მითითებანია ცაზე დამკვირვებელ-მოყვარულთათვის. ამიტომ ტექსტში დასახელებული წიგნების გარდა, ასტრონომიის მოყვარული უნდა გაეცნოს ასტრონომიის საცნობარო განყოფილებაში მოყვანილ სამეცნიერო-პოპულარულ ლიტერატურას და განსაკუთრებით იმ წიგნებს, რომლებიც ასტრონომიულ დაკვირვებებს ეხება.

ცაზე მეცნიერულ-სამოყვარულო დაკვირვებათა შედეგების დამუშავებისა და გამოყენების საკითხებზე უნდა მიმართოთ საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოების თბილისის განყოფილებას, რომლის მისამართია: თბილისი, ჭავჭავაძის პროსპექტი 3, სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასტრონომიის კათედრა. ანდა: მოსკოვი K-9 საფოსტო ყუთი 1268, სრულიად საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოების ასტრონომიულ სექციას. იქიდანვე შეგიძლიათ მიიღოთ ინსტრუქციები დაკვირვებებისათვის, ვარსკვლავთა რუკები მეტეორთა აღსანიშნავად და ამ საზოგადოების სხვა გამოცემები.

[1] იულიუსის პერიოდი ეწოდება დღეთა განუწყვეტელ ათვლას 7980 წლის მანძილზე. ეს რიცხვი უმცირესი ჯერადია სამი ციკლისა: მზისა—28 წელი, მთვარისა—19 წელი და რომაული ინდიქტიონისა — 15 წელი. (ინდიქტი — ძველებური საეკლესიო წელთაღრიცხვის ერთეულია და შეადგენს 15 წელს). იულიუსის პერიოდზე დღეების გადაანგარიშების ცხრილს მონახავთ „ასტრონომიის მოყვარულთა ცნობარში“ ან „ასტრონომიული კალენდრის მუდმივ ნაწილში“, რუსულ ენაზე.

რას ნახავთ პლანეტარიუმში

იქნებ პოლუსზე ან ეკვატორზე ყოფნა მოგესურვათ? ან იქნებ გინდათ, მთვარის ან მარსისაკენ გაიქროლოთ? ბევრი თვალწარმტაცი მოგზაურობა შეგიძლიათ მოაწყოთ დედამიწაზეც და კოსმოსურ სივრცეშიც, ისე რომ მხოლოდ პლანეტარიუმის მოხერხებულ სავარძელში იჯდეთ.

ცირკივით მრგვალი მაყურებელთა დარბაზი, რომელსაც შეზნექილი ნახევარსფეროს ფორმის ტილოგადაკრული გუმბათი აქვს, ნელ-ნელა იძირება სიბნელეში. დიდებულად გაისმის სადღესასწაულო მელოდია და, უეცრად, უკუნეთ სიბნელეში თქვენს ზემოთ ერთბაშად აკიაფდება ასობით ვარსკვლავი.

თითქოს ვარსკვლავიერმა ცამ არავინ არ უნდა გააკვირვოს. დიდი ამბავი! ვარსკვლავიერი ცის ყურებას ხომ ბავშვობიდან ვართ შეჩვეული. მაგრამ პლანეტარიუმში ამ სანახაობით მიღებული შთაბეჭდილება მაინც დაუვიწყარია. თითქოს მაღალი მთის მწვერვალზე იმყოფებით, სადაც უღრუბლო, მოციმციმე ალმასებით მოფენილ, მოკრიალებულ ცას ველარ ეფარება ვერც სახლები და ველარც ხეები.

ამ ხელოვნური სამყაროს გული—აპარატი „პლანეტარიუმი“ — ზუსტად წარმოგიდგენთ შეუიარაღებელი თვალით მისაწვდომ ყველა მნათობს და მათ მოძრაობას. მაგრამ ყველაზე საინტერესო ისაა, რომ აპარატს შეუძლია ვარსკვლავებისა და პლანეტების, მთვარისა და მზის თვალით შეუმჩნეველი ნელი მოძრაობა მრავალ ასეულჯერ ააჩქაროს. სწრაფად მიცურავენ „ვარსკვლავთა მწყობრი გუნდები“ და თავიანთ სადღეღამისო ბრუნვას პლანეტარიუმის ცაზე ოთხ წუთში, ზოგჯერ ერთ წუთშიც კი ასწრებენ.

საუცხოო აპარატი უფრო მეტ „ძალაუფლებას გვანიჭებს დროზე“. პლანეტარიუმში მთელი წელიწადი ერთ წუთში ან რამდენიმე წამში გაგიქროლებთ თვალწინ. ეს საშუალებას გვაძლევს თვალნათლივ დავინახოთ ბევრი ციური მოვლენა, რაც უშუალოდ დაკვირვების დროს შეუძლებელია.

განა შეიძლება თვალი მივადევნოთ, როგორ იცვლება ყოველდღიურად ჰორიზონტის მიმართ მზის ხილული გზა?.. განა ასე მარტივი და იოლი გასაგებია ჩვენი მუდმივი თანამგზავრის — მთვარის — ფაზების ჩვეულებრივი ცვლა? უფრო ძნელი მისახვედრია უცნაური გადაადგილება პლანეტებისა, რომლებიც თითქოს უგზო-უკვლოდ დაეხეტებიან ვარსკვლავთა შორის.

ტილოს ცა საშუალებას გვაძლევს, რასაც ჩვენ ვხედავთ, ან ვაკვირდებით, შევადაროთ სინამდვილეს და ძალზე იოლი გასაგები ხდება ციური „საიდუმლოებანი“, რაც უწინ ასტრონომებს აშფოთებდა, და რის შედეგადაც ათასწლოვანი დაბნეულობა და მრავალი ცრურწმენა წარმოიშვა.

აპარატი გვაჩვენებს, როგორ მოჩანს ციურ მნათობთა მოძრაობა თვითეული გეოგრაფიული განედიდან და თითქოს დედამიწის ნებისმიერ წერტილში გადაჰყავხართ წლის, დღისა და ღამის ნებისმიერ დროში. ასე წარმოსახვით თქვენ ისეთი სისწრაფით იმოგზაურებთ, რომ თვით ჩვენს სახელოვან კოსმონავტებსაც კი შეშურდებოდათ.

თქვენ მოსკოვიდან მიფრინავთ ზაფხულის დამდეგს, 22 ივნისს და ჩრდილოეთისაკენ 100 კმ/წმ სიჩქარით მიისწრაფვით. მოძრავი გეოგრაფიული რუკა, რომელიც ტილოს ცის ცენტრშია, გეხმარებათ, თქვენი მოგზაურობის ტრასას თვალყური ადევნოთ. რამდენიმე ათეული წამის შემდეგ თქვენ უკვე ჩრდილოეთ პოლუსზე იქნებით (რა თქმა უნდა, იმავე დღეს — 22 ივნისს).

ამ დროს იქ მზე ისე დაბლაა, როგორც მოსკოვში ზამთარშია ხოლმე, მაგრამ რაღაც უცნაურად მოძრაობს. არსად არ ეშვება და სრულ წრეს უვლის ჰორიზონტის თავზე. პლანეტარიუმში შეგიძლიათ მთელი წელიწადი პოლუსზე ერთი წუთის განმავლობაში გაატაროთ. თქვენ ნახავთ არქტიკის ჩაუვალი მზე როგორ თანდათანობით უვლის წრეებს ჰორიზონტთან. 23 სექტემბერს იგი მთლიანად ჩავა და ხელახლა მხოლოდ 6 თვის შემდეგ, 21 მარტს ამოვა.

პოლუსზე მზე წელიწადში მხოლოდ ერთხელ ამოდის და ჩადის. იქ ერთი დღე-ღამე ერთი წელიწადია. ვარსკვლავები კი არასოდეს არ ამოდიან და არ ჩადიან: ყველა ვარსკვლავი მთელ წელიწადს ჰორიზონტიდან ერთსა და იმავე სიმაღლეზე მოძრაობს.

პოლუსზე ექვსი თვე ღამეა. მაგრამ ღამის სიბნელეს მხოლოდ ვარსკვლავთა შუქი როდი კვეთს:

ყოველთვიურად ორი კვირა მთვარე თავის შუქს ჩაუსვლელად ჰფენს. ცას ხშირად გააშუქებს ხოლმე პოლარული ნათება. პოლარული ნათება ხან მრავალფერ სხივებსა ჰგავს, ხან უცნაურად ჩამოშვებულ ფარდას. პლანეტარიუმში თქვენ შეგიძლიათ მოისმინოთ ლექციები ამ უცნაურ, ჩვენთვის უჩვეულო სამყაროზე და პოლარულ რაიონებში საბჭოთა მეცნიერების შესანიშნავ მიღწევებზე.

ორ წუთში თქვენ შეგიძლიათ პოლუსიდან ეკვატორზე გადაინაცვლოთ. მოსკოვში მზე ისე მაღლა არასოდეს არ ადის, როგორც ეკვატორზე. 21 მარტისა და 23 სექტემბრის შუადღისას კი პირდაპირ ზენიტშია. დღე და ღამე ეკვატორზე ყოველთვის ერთიმეორის ტოლია. მზე ყოველდღიურად 12 საათს აფრქვევს სხივებს.

ეკვატორზე ღამით ცაზე ბევრ ნაცნობ თანავარსკვლავედს შენიშნავთ. ვარსკვლავები იქ ისე კი არ მოძრაობენ, როგორც ჩვენთან — აღმოსავლეთიდან სამხრეთისაკენ და სამხრეთიდან დასავლეთისაკენ, არამედ აღმოსავლეთიდან ზემოთ მიემართებიან და მერე კვლავ პირდაპირ ჰორიზონტისაკენ ეშვებიან. აქ ვარსკვლავები, პოლუსისაგან განსხვავებით, ღამით ამოდიან და კიდეც ჩადიან.

პლანეტარიუმში უფრო თვალწარმტაცი მოგზაურობაც შეგიძლიათ მოაწყოთ მზის სისტემის პლანეტებზე. თვითეული პლანეტა თავისებური სამყაროა და თვითეულ მათგანს ჩვენთვის უჩვეულო ბუნებრივი პირობები აქვს. მერკურის ერთი მხარე ყოველთვის მზისკენ არის მიქცეული. ამ მხარეზე მუდამ დღეა და 400-გრადუსიანი გადამბუგავი სიცხეა გაბატონებული. პლანეტის მეორე მხარეზე კი, სადაც მუდამ ღამე მეფობს, მკაცრი ყინვა 250 გრადუსს აღწევს. ყველაზე უშორესი პლანეტიდან — პლუტონიდან კი მზე მხოლოდ მოზრდილი, ძალზე კაშკაშა ვარსკვლავივით მოჩანს.

აი, ჰორიზონტზე ბუნდოვნად გამოჩნდა პატარა ნისლოვანი ლაქა. ლაქა სწრაფად იზრდება, თანდათან ნათდება და, ბოლოს, კაშკაშა გრძელკუდიან ვარსკვლავად იქცევა. ეს არის ცნობილი ჰალეის კომეტა. ეს იშვიათი სტუმარი მზეს უკანასკნელად 1910 წელს მიუახლოვდა და მზის სისტემის სიღრმიდან მხოლოდ 1986 წელს დაბრუნდება.

ბევრს არ ჰქონია ბედნიერება, „კუდიანი ვარსკვლავი“ ეხილა, მაგრამ სულაც არ არის საჭირო ამისათვის ჰალეის კომეტის შემდგომ გამოჩენას ვუცადოთ. მას პლანეტარიუმშიც გიჩვენებენ. აქ ყოველთვის შეგიძლიათ დააკვირდეთ მეტეორებს, ბოლიდებს, „ვარსკვლავთ წვიმებს“, მზისა და მთვარის დაბნელებებს.

სივრცესა და დროში ორიენტირება, საზღვაო და საჰაერო ხომალდებისათვის სწორი და უმოკლესი გზების პოვნა, გეოგრაფიული რუკების შედგენა, რაც აუცილებელია მეურნეობის ყველა დარგისათვის, დედამიწის მაგნიტური ველის შესწავლა და მისი ცვლილების გათვალისწინება, შეუძლებელია ასტრონომიის ცოდნისა და ასტრონომიულ დაკვირვებათა გარეშე. ამის შესახებ შეგიძლიათ პლანეტარიუმში მოისმინოთ საინტერესო ლექცია, რომელსაც ჰქვია „ვარსკვლავები ხალხს ემსახურება“.

ჯერ კიდევ ცოტა ხნის წინ ბევრს ეგონა, რომ მეცნიერება ცის შესახებ მხოლოდ შემეცნების დაუოკებელ წყურვილს აკმაყოფილებს და მიწიერი საქმეებისაგან ძალზე შორსა დგას. ეს არ არის სწორი. ასტრონომიაც, ისევე როგორც ყველა სხვა მეცნიერება, ყოველთვის მხარში ედგა ადამიანს, ეხმარებოდა ბუნების ურჩ ძალთა დამორჩილებაში. ჩვენს დროში კი ასტრონომიის წინაშე იშლება პრაქტიკული მოქმედების ახალი, უსაზღვრო ასპარეზი, ამ სიტყვის პირდაპირი მნიშვნელობით.

1957 წელს გაუშვეს კაცობრიობის ისტორიაში დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრი. შემდეგ მას მიჰყვა ხომალდი-თანამგზავრები და ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგურები. თვით ცაც კი მოგვიახლოვდა მაშინ, როცა პირველი კოსმოსური კაპიტანი იური გაგარინი კოსმოსში შეიჭრა და მსოფლიო სივრცის უძირო წყვდიადში მზე და ვარსკვლავები ერთდროულად დაინახა.

ახლა თქვენ შეგიძლიათ კოსმოსური მოგზაურობა პლანეტარიუმში ჩაატაროთ და თითქოს შორიდან დატკბეთ ჩვენი, ატმოსფეროს ცისფერი შარავანდედით გარშემორტყმული, პლანეტის ცქერით. პლანეტარიუმში თქვენ ნახავთ, როგორ მკაცრ გამოცდას უძნელეს ვარჯიშს უძლებენ კოსმონავტები, რომ საგმირო საქმე შეასრულონ. გასაკვირი არაა, რომ პლანეტარიუმის მრავალრიცხოვან სტუმრებს ყველაზე მეტად ის ლექციები იზიდავს, რომლებიც კოსმოსის ათვისებას ეძღვნება. ამ ლექციებზე დამთვალიერებლები ეცნობიან, თუ რა გულმოდგინედ ამზადებდნენ საბჭოთა მეცნიე-

რებიც ადამიანის ამ დიდებულ გამარჯვებას ბუნებაზე.

კაცობრიობა ჯერჯერობით ახალი კოსმოსური ერის ზღურბლზე დგას. სრულდება გენიალური ციოლკოვსკის სანუკვარი ოცნება—ახლა შორს აღარაა ის დრო, როცა ადამიანი მთვარეზე და მარსზე გაფრინდება. ეს უკვე ფანტაზია აღარ არის და თქვენ პლანეტარიუმში შეგიძლიათ ნახოთ გაფრენა მარსზე, რომელიც უძველესი დროიდან იპყრობდა ასტრონომთა ყურადღებას.

* * *

1929 წელს მოსკოვში გაიხსნა საბჭოთა კავშირში პირველი პლანეტარიუმი. ამჟამად ჩვენს ქვეყანაში ორმოცზე მეტი მუდმივი და უფრო მეტი მოძრავი პლანეტარიუმია. პლანეტარიუმი ახლა დიდი საკვირველება აღარაა. განუწყვეტლად ანახლებენ პლანეტარიუმის ლექციათა პროგრამას, უფრო სრულყოფილი ხდება მთელი მუშაობა.

მეცნიერებათა ოჯახი მრავალრიცხოვანია და არც ერთი მეცნიერება არ არის კარჩაკეტილი, სხვა მეცნიერებათაგან ყრუ კედლით გამოყოფილი. პირიქით, თანდათან უფრო მჭიდრო ხდება მეცნიერების სხვადასხვა დარგების კავშირი და ურთიერთდახმარება. ასტრონომია უძველესი დროიდანვე იყო დაკავშირებული მათემატიკასა და მექანიკასთან, ახლა კი ფიზიკას, ქიმიას, მეტეოროლოგიას, გეოლოგიას, გეოფიზიკას, გეოგრაფიასა და ბიოლოგიასაც დაუკავშირდა. ასტრონომია მეცნიერების სხვა დარგებს ამდიდრებს და თვითონაც სარგებლობს მათი მიღწევებით.

აი რატომაა, რომ პლანეტარიუმებში იკითხება ლექციები არა მარტო ასტრონომიაზე, არამედ მზისა და ატომის ენერგიაზე, ნახევარგამტარებსა და ულტრაბგერებზე, რადიოლოკაციასა და რაკეტულ ტექნიკაზე, რადიოელექტრონიკასა და კიბერნეტიკაზე. პლანეტარიუმები თვალნათლივ უჩვენებენ დამთვალიერებლებს, როგორ ეხმარება ასტრონომია ადამიანს ბუნების გარდაქმნაში, ბუნების ძალთა და სიმდიდრეთა დამორჩილებაში.

ასტრონომიას კიდევაც რომ იცნობდეთ, პლანეტარიუმში მაინც ინტერესით მოუსმენთ ლექციებს და უყურებთ კინოფილმებს, რომლებიც თვალწინ გადაგიშლით სამყაროს შესწავლის მეთოდებს, მის აღნაგობას, ვარსკვლავთა „დაბადებას“ და განვითარებას, დედამიწისა და სხვა პლანეტების წარმოშობას.

პლანეტარიუმში პოპულარული ლექციების გარდა სასწავლო ლექციებსაც ატარებენ. ეს ლექციები მოსწავლეებს ეხმარება უკეთ შეითვისონ გეოგრაფიის, ფიზიკისა და ასტრონომიის მრავალი ცალკეული დარგი. მათთვის, ვისაც მომხიბლავი ცის მეცნიერება განსაკუთრებით იტაცებს, პლანეტარიუმში შექმნილია ასტრონომიის ნორჩ მოყვარულთა წრეები.

ჩვენი ქვეყნის სხვადასხვა ქალაქებში პლანეტარიუმები დამთვალიერებლებს არა მარტო ასტრონომიის საფუძვლებს აცნობენ, არამედ ისინი ნამდვილ სახალხო უნივერსიტეტებადაც არიან ქცეული.

როგორ არის მოწყობილი აპარატი „პლანეტარიუმი“

ეს თავისებური „დროის მანქანა“ გარეგნულად ძალოსნის სავარჯიშო ჰანტელს მოგვაგონებს, რომელსაც ბოლოებზე ორი უზარმაზარი სფერო აქვს. თვითეული სფეროს ცენტრში თვალისმომჭრელი ათასსანთლიანი ნათურა ანთია. გარედან ნათურა არ მოჩანს. ბრწყინავენ მხოლოდ მინები — 16 საპროექციო ფარნის ობიექტივები. ამ მინებს ქვეშ დამაგრებულია ლითონის უთხელესი ფირფიტები, რომელთაც მრგვალი ნახვრეტები აქვს. ზოგიერთი ნახვრეტი ნემსის წვერზე წვრილია. ამ ნახვრეტებში გადის ნათურის სხივები და ხელოვნურ ცაზე ნათელ წრეებს — ციური მნათობების გამოსახულებებს ქმნის. მაგრამ ეს ასე უბრალოდ როდი ხდება.

თვითეული ფარანი მხოლოდ თავის „ცის უბანს“ განაგებს. ლითონის ფირფიტას კი ასზე მეტი ნახვრეტი აქვს. ეს ნახვრეტები ზუსტად ისე უნდა იყოს განლაგებული, როგორც ცაზე არიან განლაგებული ნამდვილი ვარსკვლავები. უფრო ზუსტად უნდა იყოს გათვალისწინებული ნახვრეტების სიდიდეც: რაც უფრო დიდია ნახვრეტი, მით უფრო ნათლად იბრწყინებს „მისი“ ვარსკვლავი პლანეტარიუმის ცაზე.

„ვარსკვლავი ურიცხვია“, — წერდა ლომონოსოვი. ეს მართლაც ასეა. მაგრამ რაც არ უნდა

მახვილი თვალი გჭონდეთ, მოწმენდილ ცაზე შეუიარაღებელი თვალით ერთ ნახევარსფეროზე 3 000 ვარსკვლავზე მეტს მაინც ვერ დაინახავთ. სწორედ ამ ვარსკვლავებს აჩვენებს აპარატი ერთი სფეროს შემწეობით. მაშ, რაღა საჭიროა მეორე სფერო?

ღამით ყოველი ჩვენგანი არა ერთხელ დამტკბარა დიდი და პატარა დათვის, ცეფევსის, კასიოპეას და სხვა თანავარსკვლავედების ცქერით. მაგრამ ისეთი თანავარსკვლავედებიც არსებობს, რომელთაც ჩვენი — ჩრდილო ნახევარსფეროდან ვერასოდეს ვერ დაინახავ. მათი დანახვა მხოლოდ სამხრეთ ნახევარსფეროდან ან პლანეტარიუმში შეიძლება. სწორედ ამ ჩვენი ნახევარსფეროდან უხილავ თანავარსკვლავედებს აჩვენებს აპარატის მეორე სფერო.

თვითეულ დიდ სფეროზე პატარა სფეროცაა. პატარა სფეროშიც 16 ფარანია. როცა პატარა სფეროში ნათურა აინთება, ხელოვნურ ცაზე თანავარსკვლავედების სახეები გამოჩნდება და ცის თაღი თვალსაჩინო ვარსკვლავთა რუკად გადაიქცევა.

აპარატი გვაჩვენებს, როგორ მოძრაობენ ვარსკვლავები დღე-ღამისა თუ წლის განმავლობაში. ამასთან, როგორც სინამდვილეში, ვარსკვლავთა ურთიერთგანლაგება აქაც არ იცვლება. ამიტომ ყველა 16 ფარანი, რომლებიც ვარსკვლავთა გამოსახულებას ქმნის, ერთ სფეროშია მოთავსებული.

მზის მოძრაობა როგორღა აისახება? ვარსკვლავთა მსგავსად მზეც დღე-ღამის განმავლობაში ცაზე აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ მიემართება. მაგრამ წლის განმავლობაში მზე კიდევ ერთ მოძრაობას ასრულებს: ვარსკვლავთა ფონზე საწინააღმდეგო მიმართულებით — დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ—გადაადგილდება. მზე ყოველთვიურად ზოდიაქოს (იხ. გვ. 239) 12 თანავარსკვლავედის ერთი თანავარსკვლავედიდან მეორეში გადაინაცვლებს.

ცხადია, რომ მზისათვის საკუთარი, განსაკუთრებული ფარანი იქნება საჭირო. ეს ფარანი არ უნდა იყოს დამოკიდებული აპარატის დიდ სფეროებზე, რომლებიც მხოლოდ ვარსკვლავებს განაგებენ. თუმცა ეს სულაც არ უშლის ხელს იმას, რომ დღის მნათობი პლანეტარიუმში ღამით, ვარსკვლავთა შორისაც ვიხილოთ და ზოდიაქოს თანავარსკვლავედებს შორის მზის წლიურ მოგზაურობას დავაკვირდეთ.

უფრო რთულია მოძრაობა მთვარისა და ხუთი პლანეტის — მერკურის, ვენერას, მარსის, იუპიტერისა და სატურნის, რომელთაც შეუიარაღებელი თვალითაც ვხედავთ. თვითეული ამ მნათობისათვისაც ცალკე ფარანია აუცილებელი. ეს ფარნები აპარატის დიდ სფეროთა შორისაა მოთავსებული. განსაკუთრებით რთულია ის ფარანი, რომელიც მთვარეს „განაგებს“: ის გვიჩვენებს მთვარის მოძრაობასაც და ფაზათა ცვლასაც.

აპარატ „პლანეტარიუმში“ დაახლოებით ორასი ფარანია, ხოლო მის ცენტრში — საკუთარი „ელექტროსადგური“. შვიდი ძრავა მართავს მთელი აპარატის ან მისი ცალკეული ნაწილების მოძრაობას. აპარატს ბრუნვა სხვადასხვა სიჩქარით და სხვადასხვა მიმართულებით შეუძლია: ზემოდან ქვემოთ, მარჯვნიდან მარცხნივ, საათის ისრის მიმართულებით და მის საწინააღმდეგოდ.

თუ როგორ გადაადგილდება ცაზე მნათობები ერთი დღე-ღამის განმავლობაში, ერთი ძრავის შემწეობით შეიძლება სულ 4 წუთში ვაჩვენოთ, ხოლო მეორე ძრავის შემწეობით ერთ წუთშიც კი, ე. ი. 1440-ჯერ სწრაფად, ვიდრე სინამდვილეშია. მაგრამ არც ამით ამოიწურება აპარატის მთელი შესაძლებლობა.

მზის, მთვარისა და პლანეტების მოძრაობას სამი ძრავა მართავს: ერთი მათგანი წლიურ მოძრაობას 4 წუთამდე ამცირებს, მეორე — 1 წუთამდე, ხოლო მესამე — 7 წამამდეც კი. დროის მიმდინარეობა თითქოს ოთხ-ნახევარ მილიონჯერ ჩქარდება.

მეექვსე ძრავა აპარატს ჰორიზონტალური ღერძის ირგვლივ აბრუნებს. ამგვარად, შესაძლებელია, ცის თაღის სახე გიჩვენოთ ყველა გეოგრაფიულ განედზე. აი, ამ ძრავას შემწეობით თქვენ შეგიძლიათ მშვიდად ისხდეთ დარბაზში და პოლუსიდან ეკვატორამდე იმოგზაუროთ, ისე როგორც ზემოთ იყო მოთხრობილი.

უკანასკნელი, მეშვიდე ძრავას შემწეობით კი შეიძლება საოცარი ციური მოვლენის ჩვენება, რომლის უშუალოდ დანახვა შეუძლებელია: ამისათვის საჭიროა რამდენიმე ათასწლეული.

საქმე ისაა, რომ დედამიწის ღერძის მიმართულება მსოფლიო სივრცეში ყოველთვის ერთნაირი არაა, მაგრამ ისე ნელა იცვლება, რომ შემჩნევა

შეუძლებელია. ეს მხოლოდ ასტრონომებმა შენიშნეს და დედამიწის ღერძის ყოველწლიური, ძალზე მცირე გადახრა გაზომეს. პოლარული ვარსკვლავი ახლა თითქმის სამყაროს ჩრდილო პოლუსშია. მაგრამ გაივლის საუკუნეები და ეს ვარსკვლავი პოლუსს თანდათან უფრო დაშორდება.

13 ათასი წლის შემდეგ ჩვენი შორეული შთამომავლობისათვის „პოლარული“ უკვე ლირის თანავარსკვლავედის კაშკაშა ვარსკვლავი ვეგა იქნება. მაშინ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროდან შეიძლება ვუყუროთ სამხრეთის ჯვრის თანავარსკვლავედს, რომელიც ახლა ჩვენგან არ მოჩანს. გაივლის კიდევ 13 ათასი წელი და ჩვენი პლანეტის ღერძი ისევ დღევანდელ მდგომარეობას დაუბრუნდება. დედამიწის ღერძის ამ ნელ, 26 ათასწლიან გადანაცვლებას აპარატი მეშვიდე ძრავის შემწეობით 4 წუთამდე ამცირებს, თითქოს დროის მსვლელობა 3,4 მილიარდჯერ ააჩქარაო. არსებობს უფრო მარტივი კონსტრუქციის აპარატები, რომლებსაც მხოლოდ ერთი ძრავა და ერთი სფერო აქვს. მიუხედავად ამისა, ასეთი აპარატები ისევე წარმატებით გადმოსცემენ ცის მოვლენებს, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი. საბჭოთა კავშირში არსებული პლანეტარიუმებიდან თითქმის ყველა ამ უკანასკნელი ტიპისაა. თბილისში ორი ასეთი პლანეტარიუმია: ერთი სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასტრონომიის კათედრასთან, მეორე მამადავითის მთის პლატოზე, კულტურისა და დასვენების პარკში.

ძირითადი მონაცემები ცისა სხეულთა შესახებ

ასტრონომიული ნიშნები

მზის სისტემის სხეულთა ნიშნები

მზე	☉
მთვარე	☾
მერკური	☿
ვენერა	♀
დედამიწა	♁
მარსი	♂
იუპიტერი	♃
სატურნი	♄
ურანი	♅
ნეპტუნი	♆
პლუტონი	PL
კომეტა	☄
ასტეროიდი № 5	⑤

დედამიწა

ეკვატორული რადიუსი	6 378 245 მ
პოლარული რადიუსი	6 356 863 „
დედამიწის ელიფსოიდის შეკუმშულობა	$\frac{1}{298,3} \pm 0,4$
ეკვატორის წრეხაზის სიგრძე	40 075 696 მ
დედამიწის ზედაპირის ფართობი	$5,1 \cdot 10^8$ კმ²
დედამიწის მოცულობა	$1,08\ 10^{12}$ კმ³
დედამიწის მასა	$5,975\ 10^{27}$ გ
დედამიწის საშუალო სიმკვრივე	5,5 გ/სმ³

მთვარე

მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე:	
უმცირესი	363 000 კმ
უდიდესი	405 500 „
საშუალო	384 400 „
მთვარის ხილული კუთხური დიამეტრი:	
უმცირესი	29′24″
უდიდესი	33′40″
დედამიწიდან საშუალო მანძილზე	31′05″
მთვარის დიამეტრი	3473 კმ (დედამიწის დიამეტრის 0,27)
მთვარის ზედაპირის ფართობი	$3,8.10^7$ კმ² (დედამიწის ზედაპირის 0,074)
მთვარის მოცულობა	22.10^9 კმ³ (დედამიწის მოცულობის 0,02)
მთვარის მასა	$7,33.10^{25}$ გ $\left(\text{დედამიწის მასის } \frac{1}{81,56}\right)$
მთვარის სიმკვრივე	3,33 გ/სმ³ (დედამიწის სიმკვრივის 0,6)
ვარსკვლავიერი თვე	27 დღ.-ღამ. 7 საათი, 43 წუთ. 11,47 წმ.
სინოდური თვე	29 დღ.-ღამ. 12 საათი, 44 წუთ. 2,78 წმ.

ზოდიაქოს თანავარსკვლავედების ნიშნები

♈	ვერძი (აგრეთვე გაზაფხულის დღეღამტოლობის წერტილი)
♉	კურო
♊	მარჩბივი
♋	კირჩხიბი (აგრეთვე ზაფხულის მზებუდობის წერტილი)
♌	ლომი (აგრეთვე ორბიტას აღმავალი კვანძის ნიშანი)
♍	ქალწული
♎	სასწორი (აგრეთვე შემოდგომის დღეღამტოლობის წერტილი)
♏	ღრიანკალი
♐	მშვილდოსანი
♑	თხის რქა (აგრეთვე ზამთრის მზებუდობის წერტილი)
♒	მერწყული
♓	თევზები

მთვარის ფაზების ნიშნები

●	ახალმთვარეობა
☽	პირველი მეოთხედი
○	სრულმთვარეობა
☾	უკანასკნელი მეოთხედი

მზე

მანძილი დედამიწიდან (საშუალო)	149 500 000±17 000 კმ[1] (ერთი ასტრონომიული ერთეული)
მზის ხილული კუთხური დიამეტრი:	
უმცირესი	31′27″
უდიდესი	32′31″
საშუალო	31′59″
მზის დიამეტრი	1 391 000 კმ (დედამიწის 109 დიამეტრი)
მზის ზედაპირის ფართობი	$6 \cdot 10^{12}$ კმ² (დედამიწის ზედაპირზე 11 900-ჯერ ნეტი)
მზის მოცულობა	$1{,}4 \cdot 10^{18}$ კმ³ (დედამიწის 1 301 000 მოცულობა)
მზის მასა	$1{,}98 \cdot 10^{33}$ (დედამიწის 333 434 მასის ტოლი)
მზის სიმკვრივე (საშუალო)	1,4 გ/სმ³ (დედამიწის სიმკვრივის 0,26)
ეკვატორის წერტილთა ბრუნვის პერიოდი (ვარსკვლავების მიმართ)	25 დღ.-ღამ.
მზის საერთო გამოსხივების სიმძლავრე	$5{,}1 \cdot 10^{23}$ ცხ. ძალა
ხილული ვარსკვლავიერი სიდიდე	— 26,8
აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე	+ 4,7
მზის ზედაპირის ტემპერატურა	დაახლოებით 6000°

[1] უკანასკნელი რადიოლოკაციური მონაცემების მიხედვით 149 599 000 ± 500 კმ.

ცნობები ზოგიერთი უფრო ცნობილი მცირე პლანეტის შესახებ[1]

პლანეტები	სახელწოდება	დიამეტრი (კმ-ში)	გარსკვლავიერი სიდიდე ახლო და შორეულ პირისპირდგომაში	ორბიტის დიდი ნახევარღერძი (ასტრონომიულ ერთეულებში)	ბრუნვის სიდერული პერიოდი (წლებში)
1	ცერერა	770	7,0—7,9	2,8	4,60
2	პალადა	490	6,7—9,3	2,8	4,61
3	იუნონა	190	7,0—10,0	2,7	4,36
4	ვესტა	390	5,9—7,0	2,4	3,63
433	ეროსი	6×32	6,7—11,3	1,5	1,76
944	ჰიდალგო	25—50	11,0—19,0	5,8	13,93
1036	განიმედი	50	12,5	2,7	4,34
—	ჰერმესი	1—2	8,0—18,0	1,3	1,47
1566	იკაროსი	1—2	12,5	1,1	1,12

[1] ცხრილი მონაცემებით პლანეტების შესახებ იხ. 273.

პლანეტების თანამგზავრები

პლანეტა	თანამგზავრი	ვინ და როდის აღმოაჩინა	მანძილი პლანეტიდან: პლანეტის ეკვ. რადიუსებში	მანძილი პლანეტიდან: ათას კმ-ებში	გარემოქცევის სიდერული პერიოდი (დღე-ღამეებში)	პლანეტის ორბიტას მიმართ დახრა	დიამეტრი (კმ-ებში)	მასა (დედამიწის მასის ერთეულებში)
დედამიწა	მთვარე	—	60,3	384.4	27,3	5°09′	3473	1/81,56
მარსი	2 თანამგზავრი:							
	I ფობოსი	ჰოლი, 1877	2,8	9,4	0,3	25°11′	16	—
	II დეიმოსი	„ 1877	7,0	23,5	1,3	24°16′	8	—
იუპიტერი	12 თანამგზავრი; მათ შორის ყველაზე დიდები:							
	I იო	გალილეი, 1610	5,9	422	1,8	3°07′	3460	1/83
	II ევროპა	„ 1610	9,4	671	3,6	3°06′	3050	1/125
	III განიმედი	„ 1610	15,0	1071	7,2	3°02′	5070	1/40
	IV კალისტო	„ 1610	26,5	1884	16,7	2°43′	4750	1/67
სატურნი	9 თანამგზავრი; მათ შორის ყველაზე დიდები:							
	I მიმასი	ჰერშელი, 1789	3,1	186	0,9	26°45′	დაახ. 540	1/160000
	II ენცელადი	„ 1789	4,0	238	1,4	26°45′	„ 550	1/70000
	III ტეთია	კასინი, 1684	4,9	295	1,9	26°45′	„ 920	1/9200
	IV დიონა	„ 1684	6,3	377	2,7	26°45′	„ 860	1/6000
	V რეა	„ 1672	8,8	527	4,5	26°42′	„ 1440	1/2500
	VI ტიტანი	ჰიუგენსი, 1655	20,4	1222	15,9	26°07′	„ 4850	1/43
	VII იაფეტი	კასინი, 1671	59,4	3562	79,3	16°18′	„ 1330	1/4300
ურანი	5 თანამგზავრი:							
	I არიელი*	კოიპერი, 1948	5,1	130	1,4	—	—	—
	II უმბრიელი*	ლასელი, 1851	7,5	192	2,5	97°59′	დაახ. 800	—
	III ტიტანია*	„ 1851	10,5	267	4,1	97°59′	„ 640	—
	IV ობერონი*	ჰერშელი, 1787	17,2	439	8,7	97°59′	„ 1600	—
	V მირანდა*	„ 1787	23,0	587	13,5	97°59′	„ 1450	—
ნეპტუნი	2 თანამგზავრი:							
	I ტრიტონი**	ლასელი, 1846	12,9	354	5,9	139°49′	„ 3775	1/46
	II ნერეიდა	კოიპერი, 1949	200,0	5570	359,4	6°31′	„ 300	—

* საწინააღმდეგო მოძრაობა, რომელიც ურანის ბრუნვის მიმართულებას ემთხვევა.
** საწინააღმდეგო მოძრაობა.

ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები

ვარსკვლავი და თანავარსკვლავედი	ხილული ვარსკვლავური სიდიდე	ბრწყინვალება	მანძილი (სინათლის წლებში)	ვარსკვლავი და თანავარსკვლავედი	ხილული ვარსკვლავური სიდიდე	ბრწყინვალება	მანძილი სინათლის წლებში
სირიუსი (დ. ქოფაკი)	—1,6	23	8,8	ალტაირი (არწივი)	+0,9	8	16,3
კანოპუსი (გემის ხერხემალი)	—0,9	5200	180	ბეტელჰეიზე (ორიონი)	+0,9	2800	293
კენტავრის ალფა	+0,3	1	4,3	ჯვრის ალფა	+1,0	900(?)	220(?)
ვეგა (ლირა)	+0,1	44	26,4	ალდებარანი (კურო)	+1,1	120	68
კაპელა (მეეტლე)	+0,2	120	45	პოლუქსი (მარჩბივი)	+1,2	30	35
არქტური (მენახირე)	+0,2	76	36	სპიკა (ქალწული)	+1,2	600	155
რიგელი (ორიონი)	+0,3	23000(?)	650(?)	ანტარესი (ღრიანკალი)	+1,2	700	170
პროციონი (პ. ქოფაკი)	+0,5	6	11,4	ფომალგაუტი (სამხ. თევზი)	+1,3	11	23
ახერნარი (ერიდანოსი)	+0,6	800	142	დენები (გედი)	+1,3	6000(?)	550(?)
კენტავრის ბეტა	+0,9	1300	200	რეგული (ლომი)	+1,3	140	84

მზის სრული დაბნელებანი 1965-დან 2000 წლამდე

სრული დაბნელების შუა მომენტი მოსკოვის დროით				სრული დაბნელების ხანგრძლიობა (წუთებში)	სად გამოჩნდება დაბნელება სრული სახით
წელი	თვე და რიცხვი		საათი		
1965	მაისი,	31	0	5	წყნარი ოკეანე
1966	ნოემბერი,	12	17	2	ბოლივია, არგენტინა, ბრაზილია
1968	სექტემბერი,	22	14	1	არქტიკა, ციმბირი, ჩინეთი
1970	მარტი,	7	21	3	მექსიკა, ფლორიდა
1972	ივლისი,	10	23	3	ჩრდილო-აღმოსავლეთი აზია, კანადა
1973	ივნისი,	30	15	7	სამხრეთ ამერიკა, აფრიკა, ატლანტის ოკეანე
1974	„	20	8	5	ავსტრალია, ინდოეთის ოკეანე
1976	ოქტომბერი,	23	8	5	აფრიკა, ავსტრალია
1977	„	13	0	3	ვენესუელა, წყნარი ოკეანე
1979	თებერვალი,	26	20	3	აშშ, კანადა
1980	„	16	12	4	აფრიკა, ინდოეთი
1981	ივლისი,	31	7	2	წყნარი ოკეანე, ციმბირი
1983	ივნისი,	11	8	5	იავა, წყნარი ოკეანე
1984	ნოემბერი,	23	2	2	პატაგონია, წყნარი ოკეანე
1985	„	12	17	1	ანტარქტიკა
1986	ოქტომბერი,	3	22	2	გრენლანდია
1987	მარტი,	29	16	0,3	აფრიკა, ატლანტის ოკეანე
1988	„	18	5	4	ინდოეთისა და წყნარი ოკეანეები, სუმატრა
1990	ივლისი,	22	6	3	ფინეთი, ჩრდილოეთი ციმბირი
1991	„	11	22	7	წყნარი ოკეანე, ცენტრალური ამერიკა
1992	ივნისი,	30	15	5	ატლანტის ოკეანე.
1994	ნოემბერი,	3	17	5	წყნარი ოკეანე, სამხრეთ ამერიკა
1995	ოქტომბერი,	24	8	2	წყნარი და ინდოეთის ოკეანეები
1997	მარტი,	9	4	3	აღმოსავლეთი ციმბირი
1998	თებერვალი,	26	20	4	წყნარი ოკეანე, ცენტრალური ამერიკა
1999	აგვისტო,	11	14	3	დასავლეთ ევროპა, ირანი, ინდოეთი

მთვარის სრული დაბნელება 1964 წლიდან 2000 წლამდე

წელი	თვე და რიცხვი	სრული დაბნელების დასაწყისი მოსკოვის დროით	სრული დაბნელების დასასრული მოსკოვის დროით	ხილვადობა სსრკ-ის ევრპულ ნაწილში
1964	დეკემბერი, 19	5 საათ. 3 წუთ.	6 საათ. 7 წუთ.	კი
1967	აპრილი, 24	14 » 26 »	15 » 48 »	არა
1967	ოქტომბერი, 18	12 » 48 »	13 » 44 »	»
1968	აპრილი, 13	7 » 21 »	8 » 17 »	»
1968	ოქტომბერი, 6	14 » 10 »	15 » 12 »	»
1971	თებერვალი, 10	10 » 3 »	11 » 21 »	»
1971	აგვისტო, 6	21 » 53 »	23 » 35 »	კი
1972	იანვარი, 30	13 » 32 »	14 » 14 »	არა
1974	ნოემბერი, 29	17 » 38 »	18 » 54 »	კი
1975	მაისი, 25	8 » 1 »	9 » 31 »	არა
1975	ნოემბერი, 19	1 » 1 »	1 » 47 »	კი
1978	მარტი, 24	18 » 40 »	20 » 10 »	»
1978	სექტემბერი, 16	21 » 22 »	22 » 44 »	»
1979	» 6	13 » 28 »	14 » 20 »	არა
1982	იანვარი, 9	22 » 14 »	23 » 38 »	კი
1982	ივლისი, 6	9 » 39 »	11 » 21 »	არა
1982	დეკემბერი, 30	13 » 53 »	14 » 59 »	»
1985	მაისი, 4	22 » 22 »	23 » 32 »	კი
1985	ოქტომბერი, 28	20 » 22 »	21 » 4 »	»
1986	აპრილი, 24	15 » 10 »	16 » 18 »	არა
1986	ოქტომბერი, 17	21 » 42 »	22 » 56 »	კი
1989	თებერვალი, 20	17 » 59 »	19 » 15 »	»
1989	აგვისტო, 17	5 » 15 »	6 » 53 »	არა
1990	თებერვალი, 9	21 » 49 «	22 » 35 «	კი
1992	დეკემბერი, 10	2 » 6 »	3 » 20 »	»
1993	ივნისი, 4	15 » 11 »	16 » 49 »	არა
1993	ნოემბერი, 29	9 » 1 »	9 » 51 »	»
1996	აპრილი, 4	2 » 27 »	3 » 51 »	კი
1996	სექტემბერი, 27	5 » 17 »	6 » 29 »	»
1997	» 16	21 » 14 »	22 » 20 »	»

უმოკლესი ქრონოლოგიური ცხრილი ასტრონომიისა და კოსმონავტიკის ისტორიიდან

ძველი წელთაღრიცხვა

დაახლოებით 3000 წელი. ეგვიპტელებისა და ბაბილონელების ასტრონომიულ დაკვირვებათა პირველი ჩანაწერები.

585. ბერძენმა მეცნიერმა თალესმა პირველმა იწინასწარმეტყველა მზის დაბნელება.

IV ს. არისტოტელემ (საბერძნეთი) ჩამოაყალიბა თავისი შეხედულებანი დედამიწის სფეროსებურობისა და სამყაროს აგებულების შესახებ, რომლის ცენტრში დედამიწა იმყოფებოდა.

III ს. ბერძენმა მეცნიერმა ერატოსთენემ პირველმა განსაზღვრა დედამიწის სფეროს ზომები.

III. ს. არისტარქე სამოსელმა (საბერძნეთი) პირველმა სცადა მთვარესა და მზემდე მანძილის დადგენა.

II ს. ვარსკვლავების პირველი სისტემატური კატალოგი შეადგინა და ცის პოლუსის ნელი გადანაცვლება აღმოაჩინა ჰიპარქემ (ელინური ეგვიპტე).

ახალი წელთაღრიცხვა

II ს. ბერძენი მეცნიერი პტოლემე (ელინური ეგვიპტე) შეეცადა, ჩამოეყალიბებინა მსოფლიოს გეოცენტრული სისტემა.

1515 — 1543. ნ. კოპერნიკმა (პოლონეთი) აღმოაჩინა, რომ დედამიწა და პლანეტები მზის ირგვლივ მოძრაობენ.

1609 — 1619. ი. კეპლერმა (გერმანია) აღმოაჩინა პლანეტების მოძრაობის კანონები.

1609 — 1633. სამზერი მილი პირველად გამოიყენეს ასტრონომიული დაკვირვებების დროს. გალილეიმ (იტალია) აღმოაჩინა მზეზე ლაქები, ვენერას ფაზები, მთვარეზე მთები, იუპიტერის თანამგზავრები და ირმის ნახტომის ვარსკვლავური აგებულება.

1672. ჯ. კასინიმ (საფრანგეთი) პირველად და საკმაოდ ზუსტად განსაზღვრა მანძილი დედამიწიდან მზემდე.

1687. ი. ნიუტონმა (ინგლისი) გამოაქვეყნა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი.

1718. ჰალეიმ (ინგლისი) აღმოაჩინა სივრცეში ვარსკვლავთა მოძრაობა.

1725. პეტერბურგში დაარსდა მეცნიერებათა აკადემიის ობსერვატორია.

1755. ე. კანტმა (გერმანია) გამოაქვეყნა პირველი მეცნიერული ჰიპოთეზა ციური სხეულების წარმოშობის შესახებ.

1761. მ. ლომონოსოვმა (რუსეთი) პლანეტა ვენერაზე ატმოსფერო აღმოაჩინა.

1781. უ. ჰერშელმა (ინგლისი) აღმოაჩინა პლანეტა ურანი.

1801. ჯ. პიაციმ (იტალია) აღმოაჩინა პირველი მცირე პლანეტა — ცერერა.

1836. ვ. სტრუვემ (რუსეთი) პირველმა გაზომა მანძილი ვარსკვლავებამდე.

1839. რუსეთში გაიხსნა პულკოვოს ობსერვატორია.

1846. ლევერიეს (საფრანგეთი) გამოთვლების მიხედვით ი. გალემ (გერმანია) აღმოაჩინა პლანეტა ნეპტუნი.

1847. ვ. სტრუვემ გამოაქვეყნა შრომა „ვარსკვლავთ-ასტრონომიის ეტიუდები“, რომლითაც საფუძველი ჩაუყარა ჩვენი გალაქტიკის აგებულების შესახებ თანამედროვე ცოდნას.

1859. ასტრონომიაში სპექტრული ანალიზის გამოყენების დასაწყისი.

1868. ჟანსენმა (საფრანგეთი) და ლოკიერმა (ინგლისი) აღმოაჩინეს დაბნელების გარეშე მზის ატმოსფეროსა და პროტუბერანცებზე დაკვირკების ხერხი.

1877 — 1904. თ. ბრედიხინმა (რუსეთი) დაამუშავა კომეტების თეორია.

1908. გ. ლივიტმა (აშშ) აღმოაჩინა კავშირი ცვალებადი ვარსკვლავების — ცეფეიდების — სიკაშკაშის ცვლილების პერიოდსა და სინათლის ჭეშმარიტ ძალას შორის.

1924. ე. ჰაბლმა (აშშ) აღმოაჩინა ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი სხვა ვარსკვლავთ სისტემების არსებობა.

1927. ი. ოორტმა (ჰოლანდია) აღმოაჩინა ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის — გალაქტიკის ბრუნვა.

1927. გ. შაინმა (სსრკ) და ო. სტრუვემ (აშშ) აღმოაჩინეს ვარსკვლავთა ბრუნვა.

1941. დ. მაკსუტოვმა (სსრკ) გამოიგონა მენისკური ტელესკოპი.

XX ს. 40-იანი წლები. რადიოასტრონომიის განვითარების დასაწყისი.

კოსმონავტიკა

1957 — 1958. გაუშვეს დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრები (სსრკ, აშშ).

1959 წ. 12 სექტემბერი. გაუშვეს საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა „მთვარე-2“, რომელმაც მთვარეზე მიიტანა სსრკ გერბიანი ვიმპელი.

1959 წ. 4 ოქტომბერი. გაუშვეს საბჭოთა კოსმოსური რა-

კეტა „მთვარე-3“ საპლანეტათშორისო ავტომატური სადგურით, რომელმაც გადაიღო მთვარის უხილავი მხარე.

1961 წ. 12 თებერვალი. ვენერასაკენ გაუშვეს საბჭოთა ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური.

1961 წ. 12 აპრილი. ადამიანის — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტის იური გაგარინის — პირველი გაფრენა კოსმოსში.

1961 წ. 6 აგვისტო. საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტის გერმანე ტიტოვის გაფრენა კოსმოსში.

1962 წ. 20 თებერვალი. ამერიკელი მფრინავი-კოსმონავტის ჯონ გლენის გაფრენა კოსმოსში.

1962 წ. 24 მაისი. ამერიკელი მფრინავი-კოსმონავტის მალკოლმ სკოტ კარპენტერის გაფრენა კოსმოსში.

1962 წ. 11 — 12 აგვისტო. საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტების: ანდრიანე ნიკოლაევისა და პავლე პოპოვიჩის ჯგუფური გაფრენა კოსმოსში.

1962 წ. 3 ოქტომბერი. ამერიკელი მფრინავი-კოსმონავტის უოლტერ შირას გაფრენა კოსმოსში.

1962 წ. 1 ნოემბერი. გაუშვეს საბჭოთა ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური „მარსი-1“.

1963 წ. 14 — 16 ივნისი. საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტების ვალერი ბიკოვსკისა და ვალენტინა ტერეშკოვას ჯგუფური გაფრენა კოსმოსში.

1964 წ. 3 ივლისი. გაუშვეს რეინჯერის სერიის ამერიკული კოსმოსური რაკეტა ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგურითურთ, რომელმაც 4 ათასი ფოტოსურათი გადაიღო.

1964 წ. 12 ოქტომბერი. სამადგილიანი საბჭოთა კოსმოსური ხომალდის „აისის“ გაფრენა. ხომალდის ეკიპაჟში შედიოდნენ: ვ. კომაროვი, კ. ფეოკტისტოვი და ბ. ეგოროვი.

1965 წლის 18 მარტი. დედამიწის თანამგზავრის ორბიტაზე გაყვანილ იქნა კოსმოსური ხომალდი „აისი-2“. ხომალდის ეკიპაჟში შედიოდნენ: კოსმონავტი მფრინავი, პოლკოვნიკი პავლე ივანეს ძე ბელიაევი და მეორე პილოტი, კოსმონავტი მფრინავი, პოდპოლკოვნიკი ალექსი არქიპოს ძე ლეონოვი. ამ უკანასკნელმა პირველად ისტორიაში განახორციელა ხომალდიდან ღია კოსმოსში გასვლა.

რა წავიკითხოთ ასტრონომიაში

ლიტერატურის ანოტირებული სია

(რუსულ ენაზე)

მეცნიერულ-პოპულარული ლიტერატურის ამ მოკლე საძიებლის ამოცანაა, დაეხმაროს საბავშვო ენციკლოპედიის მკითხველებს, რომლებიც უკვე გაეცვნენ „ციური სხეულების სამყაროს“, გაიფართოვონ და გაიღრმავონ თავიანთი ცოდნა ასტრონომიაში. საძიებელში შეტანილია უმთავრესად ისეთი წიგნები და ბროშურები, რომლებშიც უფრო ღრმად, მაგრამ საშუალო და უფროსი ასაკის მოსწავლეთათვის ხელმისაწვდომადაა გადმოცემული იგივე საკითხები, რაც წინამდებარე ტომის ასტრონომიულ სტატიებშია მოყვანილი. ამასთან ერთად მოსწავლეთათვის, რომლებსაც აინტერესებთ ასტრონომია და მისი მონათესავე მეცნიერებანი და რომლებმაც მათემატიკასა და ფიზიკაში უფრო მეტი ცოდნა შეიძინეს, რეკომენდებულია შედარებით რთული წიგნები. აგრეთვე საძიებელში შეტანილია სახელმძღვანელოები მოყვარულთა ასტრონომიული დაკვირვებებისათვის.

მთელი რეკომენდებული ლიტერატურა დაყოფილია თემატურ განყოფილებებად, წიგნები კი თვით განყოფილებებში მათი სირთულის მიხედვითაა განლაგებული: შედარებით ადვილიდან უფრო რთულამდე.

როგორაა მოწყობილი სამყარო

ს ე ლ ე შ ნ ი კ ო ვ ი ს. ვარსკვლავიერი ცის ანბანი. ლ., 1963. 64 გვ. ილუსტ.; ფურც. რუკ. (საზ-ბა „ზნანიე“, რსფსრ. ლენინგრადის განყ.).

წიგნი უფრო ვრცლად აცნობს მკითხველებს ცის სფეროს, ცის კოორდინატებს და ჩრდილოეთის ცის ძირითად თანავარსკვლავედებს, ვიდრე საბავშვო ენციკლოპედია.

ლ ე ვ ი ნ ი ბ. დედამიწისა და პლანეტების წარმოშობა. მე-4 გამოც. დამატ. მ., გამ-ბა „ნაუკა“, 1964. 84 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

გამოჩენილი საბჭოთა მეცნიერი მოგვითხრობს მზის სისტემის აგებულებასა და მისი წარმოშობის იდეის განვითარებაზე კანტისა და ლაპლასის ჰიპოთეზებიდან მოყოლებული. მეტი ყურადღება ეთმობა დედამიწისა და პლანეტების წარმოშობის ჰიპოთეზას, რომელიც სხვა მეცნიერების, მათ შორის წიგნის ავტორის, მონაწილეობით აკადემიკოსმა ო. შმიდტმა (1891 — 1956) დაამუშავა.

ვ ო რ ო ნ ც ო ვ-ვ ე ლ ი ა მ ი ნ ო ვ ი ბ. ნარკვევები სამყაროს შესახებ. მე-5 გამოც. მ., გამ-ბა „ნაუკა“. 1964. 552 გვ. ილუსტ.

წიგნი დაწერა გამოჩენილმა საბჭოთა ასტრონომმა და პედაგოგ-პოპულარიზატორმა, შედგება სამი განყოფილებისაგან. განყოფილებაში „ასტრონომის თვალები და ხელები“ მოთხრობილია ასტრონომთა მუშაობაზე და იმაზე, თუ როგორ ხდება ასტრონომიული აღმოჩენები. განყოფილება „მყარი ნივთიერების სამყარო“ ეძღვნება მზის სისტემის დიდ და მცირე პლანეტებს, მეტეორებს, კომეტებს. განყოფილება „გაზის სამყარო“ გვაცნობს „ვარსკვლავთა დიდ მრავალფეროვნებას“ და ჩვენგან მილიონი და მილიარდი სინათლის წლებით დაშორებული გალაქტიკების უსაზღვრო სამყაროს. წიგნის ბოლოში საგანგებო თავები რადიოასტრონომიის მიღწევებს და ციური სხეულების წარმოშობისა და განვითარების საკითხებს ეძღვნება.

კ ო მ ა რ ო ვ ი ვ. კოსმოსი, ღმერთი და სამყაროს მარადიულობა. მ., გოსპოლიტიზდატი, 1963. 251 გვ. ილუსტ.

მოთხრობა იმის შესახებ, თუ ბუნებისმეტყველების, კერძოდ, ასტრონომიის მიღწევებმა როგორ უარყვეს რელიგიური შეხედულებანი სამყაროს შექმნაზე, ღვთიურ ძალებზე, რომლებმაც თითქოს შექმნეს სამყარო და განაგებენ მას. წიგნი ხელს უწყობს რელიგიური ცრურწმენის წინააღმდეგ ბრძოლას.

პ ე რ ე ლ მ ა ნ ი ი. გასართობი ასტრონომია. მე-10 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961. 212 გვ. ილუსტ.

მეცნიერების ცნობილი პოპულარიზატორის ი. პერელმანის წიგნი ფართოდაა ცნობილი. იგი აგებულია ზუსტად და მახვილგონივრულად ღასმული კითხვებისა და მათი ვრცელი პასუხების პრინციპით.

რ ი ა ბ ო ვ ი ი. ციურ სხეულთა მოძრაობა. მე-2 დამ. გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961. 215 გვ. ილუსტ.

ცის მექანიკა (ასტრონომიის ერთ-ერთი დარგი, რომელიც მზის სისტემაში სხეულთა მოძრაობის კანონებს შეისწავლის) შეიქმნა XVII ს. დასასრულს ნიუტონისა და ლაიბნიცის მიერ დამუშავებული დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვებისა და მათემატიკის შემდგომი მიღწევების საფუძველზე. ი. რიაბოვის წიგნი პირველი და წარმატებითი ცდაა ამ პრობლემების გადმოცემისა. წიგნი ხელმისაწვდომია მათემატიკაში სასკოლო მომზადების მქონე მკითხველისთვის.

ო პ ა რ ი ნ ი ა. და ფ ე ს ე ნ კ ო ვ ი ვ. სიცოცხლე სამყაროში. მ., სსრკ მეცნ. აკად. გამ-ბა, 1956. 224 გვ. ილუსტ. (მეცნიერულ-პოპულარული სერია).

ის, რომ სიცოცხლე არსებობს არა მარტო დედამიწაზე, არამედ უსასრულო სამყაროს სხვადასხვა „კუთხეებშიც“ — ჩვენს დროში დავას არ იწვევს. მაგრამ რამდენად ხშირად ან რამდენად იშვიათად გვხვდება სამყაროში დასახლებული პლანეტები და შეიძლება თუ არა დედამიწის გარდა ჩვენი მზის სისტემის სხვა პლანეტებიც იყოს დასახლებული — ეს საკითხები ჯერ კიდევ სადაოა და შემდგომ გამოკვლევას მოითხოვს. წიგნში, რომელიც ორი გამოჩენილი მეცნიერის (ბიოქიმიკოსისა და ასტრონომის) მიერაა დაწერილი, გაშუქებულია ამ საკითხებზე თანამედროვე შეხედულებები.

შ ე პ ლ ი ხ. ვარსკვლავები და ადამიანები. თარგმ. ინგლისურიდან. მ., უცხ. ლიტ. გამ-ბა. 1962. 152 გვ. ილუსტ. 2 თაბახ. ილუსტ.

შ კ ლ ო ვ ს კ ი ი. სამყარო, სიცოცხლე, გონიერება. მ., სსრკ მეცნ. აკად. გამ-ბა, 1962. 239 გვ. ილუსტ., 9 თაბახ. ილუსტ. (მეცნიერულ-პოპულარული სერია).

პირველი წიგნი დაწერა გამოჩენილმა ამერიკელმა ასტრონომმა, მეორე კი — ცნობილმა საბჭოთა ასტროფიზი-

კოს-რადიოასტრონომმა. ორივე წიგნში ცოცხლად და საინტერესოდაა განხილული საკითხები სამყაროში ორგანული სიცოცხლის, კერძოდ, მაღალგანვითარებული სიცოცხლის გავრცელების შესახებ.

ეს საკითხები ჯერჯერობით გადაუწყვეტელია მეცნიერებაში, მაგრამ ორივე წიგნში გამოთქმული ჰიპოთეზები თავისთავად დიდ ინტერესს იწვევს.

პ ე რ ე ლ ი ი. სამყაროს შესახებ შეხედულებათა განვითარება. მე-2 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1962. 391 გვ. ილუსტ.

წიგნში გაშუქებულია სამყაროს შეცნობის ისტორია, დაწყებული ხილული სამყაროს აგებულების შესახებ უძველესი ხანის ადამიანების პრიმიტიული წარმოდგენებიდან მეცნიერების დღევანდელ მიღწევებამდე. უმთავრესი ყურადღება ექცევა სამყაროს აგებულების შესახებ წარმოდგენათა განვითარებას XVIII — XX სს. და სამყაროზე თანამედროვე წარმოდგენებს. წიგნის ბოლოში საგანგებო თავი ეძღვნება სამყაროში სიცოცხლის საკითხს.

მზე

კ ო ნ ო ნ ო ვ ი ჩ ი ე. მზის კორონა. მ., ფიზმატგიზი, 1958. 88 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

წიგნში გადმოცემულია თანამედროვე შეხედულებები მზის, როგორც ჩვენთვის უახლოესი ვარსკვლავის, შესახებ, მისი აგებულებისა და ენერგიის წყაროებზე, გრანდიოზულ ფიზიკურ პროცესებზე, რომლებიც მზის წიაღსა და მის ატმოსფეროში ხდება. საუბარია აგრეთვე იმაზე, თუ რა გავლენას ახდენს ეს პროცესები დედამიწაზე მიმდინარე მოვლენებზე. განსაკუთრებით დაწვრილებითაა განხილული მზის კორონის, მზის ყველაზე გარე გარსის საიდუმლოებები.

პ ი კ ე ლ ნ ე რ ი ს. მზე. მ., ფიზმატგიზი, 1961. 84 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

მ ე ნ ზ ე ლ ი დ. ჩვენი მზე. თარგმ. ინგლის. მ., ფიზმატგიზი, 1963. 328 გვ. ილუსტ.

ამ წიგნების ავტორები — ცნობილი საბჭოთა და ამერიკელი ასტროფიზიკოსები—თავიანთ წიგნებში მარტივად გადმოგვცემენ თანამედროვე ცოდნას მზის ბუნებისა და დედამიწაზე მისი გავლენის შესახებ. პიკელნერის წიგნი უფრო მოკლეა, მენზელისა კი — ვრცელი.

მთვარე და პლანეტები

ფ ე ს ე ნ კ ო ვ ი ვ. პლანეტების საიდუმლოებათა ამოცნობა, მ., ვოენიზდატი, 1962. 96 გვ. ილუსტ., 1 თაბახ. რუკ. (მეცნიერულ-პოპულარული ბიბლიოთეკა).

ავტორი, ცნობილი ასტრონომი, წიგნის პირველ თავებში მკითხველს მოუთხრობს მზის სისტემის აგებულებასა და პლანეტების მოძრაობის კანონებზე, შემდეგ თავებში კი გვაცნობს თანამედროვე მეცნიერების დასკვნებსა და ჰიპოთეზებს მერკურის, ვენერას, მარსის, იუპიტერის, სატურნისა და ჩვენი პლანეტის თანამგზავრის — მთვარის — ბუნების შესახებ. მთელი რიგი გვერდებისა პლანეტების რადიოასტრონომიულ დაკვირვებებს ეძღვნება.

ბ ა რ ა ბ ა შ ო ვ ი ნ. მთვარე. მ., „სოვეტსკაია როსია“. 1958. 68 გვ. ილუსტ.

პ ა რ შ ი ნ ი ი. მთვარე. მ., ფიზმატგიზი. 1960. 56 გვ. ილუსტ. 2 თაბახ. რუკ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

ს ი ტ ი ნ ს კ ა ი ა ნ. მთვარის ბუნება. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 176 გვ. ილუსტ. 2 თაბახ. რუკ.

მთვარე ჩვენი უახლოესი ციური სხეულია და მასზე გაფრენა უდავოდ პირველი ეტაპი იქნება მზის სისტემის ათვისების გზაზე. ამიტომ მთვარის ბუნებისა და მისი ზედაპირის აგებულების საკითხებს ჩვენს დროში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ეძლევა.

სამივე წიგნში გადმოცემულია თანამედროვე შეხედულებები მთვარის შესახებ. ი. პარშინის წიგნში მოცემულია აგრეთვე ცნობები მთვარის უკანა მხარის შესახებ, რომელიც 1959 წლის ბოლოს საბჭოთა ავტომატურმა საპლანეტათშორისო სადგურმა გადაიღო.

ბ ა რ ა ბ ა შ ო ვ ი ნ. ვენერა. მ., „სოვეტსკაია როსია“. 1961. 40 გვ. ილუსტ.

ვენერა ჩვენთვის დიდ პლანეტებს შორის ყველაზე უახლოესია. მიუხედავად ამისა, ჩვენ ცოტა რამ ვიცით მისი ბუნების შესახებ. ჯერ ცნობილი არ არის, რა სისწრაფით ბრუნავს ვენერა თავისი ღერძის ირგვლივ (ანუ როგორია მისი დღე-ღამის ხანგრძლიობა), როგორია ამ პლანეტის ზედაპირის აგებულება და ტემპერატურა, როგორია მისი ატმოსფეროს ქვედა ფენების შედგენილობა. მაშასადამე, შეუძლებელია პასუხი გავცეთ კითხვას — შესაძლებელია თუ არა ვენერაზე სიცოცხლე? ბროშურაში, რომელიც გამოჩენილი საბჭოთა ასტრონომის მიერაა დაწერილი, გადმოცემულია ის, რაც უკვე ცნობილია ვენერას შესახებ და ის მოსაზრებები მის ბუნებაზე, რაც თანამედროვე მეცნიერებას გააჩნია.

ს ი ტ ი ნ ს კ ა ი ა ნ. პლანეტა მარსი. მ., ფიზმატგიზი, 1962. 64 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

პლანეტა მარსი ხშირად სხვადასხვა გამონაგონისა და ფანტასტიკური ვარაუდების წყაროს წარმოადგენს. XIX ს. მიწურულს მარსზე აღმოჩენილმა უჩვეულო წარმონაქმნებმა, რომლებსაც „არხები“ უწოდეს, ზოგიერთი მეცნიერი იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ ამ პლანეტაზე შესაძლებელია გონიერ ბინადართა არსებობა. ჩვენს დროშიც ზოგჯერ გამოთქვამენ აბსურდულ აზრებს, ვითომდა მარსიდან დედამიწაზე მოფრენილი კოსმოსური ხომალდების არსებობაზე. მაგრამ მარსის მეცნიერული გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ ამ პლანეტის კლიმატი ძალზე მკაცრია. ხოლო მის ატმოსფეროში არ აღმოჩნდა სიცოცხლისათვის აუცილებელი ჟანგბადი. მთვარისა და პლანეტების ცნობილი მკვლევარის ნ. სიტინსკაიას წიგნში გადმოცემულია ჩვენი თანამედროვე შეხედულება მარსზე.

ტ ე ი ფ ე ლ ი ვ. პლანეტა-გიგანტები. მ., გამ-ბა „ნაუკა“, 1964. 86 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

შორეული პლანეტა-გიგანტების (იუპიტერის, სატურნის, ურანის, ნეპტუნის) ბუნება მკვეთრად განსხვავდება დედამიწისა და მისი „უახლოესი“ პლანეტების (ვენერას, მარსის) ბუნებისაგან. პლანეტა-გიგანტების ზომები, მათი დაბალი ტემპერატურა, შხამიანი გაზებისაგან შემდგარი ვრცელი ატმოსფეროს არსებობა — ყველაფერი ეს იმაზე მეტყველებს, რომ ამ პლანეტების განვითარება მიმდინარეობდა სხვა გზით, ვიდრე „მიწიერი“ ჯგუფის პლანეტებისა. წიგნში მოცემულია თანამედროვე შეხედულებები პლანეტა-გიგანტებსა და მათ მრავალრიცხოვან თანამგზავრებზე.

კომეტები, მეტეორები და მეტეორიტები

ზ ი გ ე ლ ი თ. კომეტები. მე-2 გამოც. მ., გოსტეხიზდატი, 1955. 72 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

თუმცა კომეტებს უძველესი ხანიდან აკვირდებოდნენ, მაგრამ მათი ბუნება მხოლოდ უკანასკნელი ასი წლის, განსაკუთრებით კი უკანასკნელი ათეული წლების, მანძილზე ახსნეს მეცნიერულად. რეკომენდებული წიგნის ავტორი მოგვითხრობს კომეტების აგებულებასა და მოძრაობაზე, ფიზიკურ მოვლენებზე, რომლებიც კომეტებში ხდება, კომეტების წარმოშობასა და მათ კავშირზე მზის სისტემის სხვა „მცირე სხეულებთან“.

ფ ე დ ი ნ ს კ ი ვ. მეტეორები. მ., გოსტეხიზდატი, 1956. 112 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

მეტეორების შესწავლა, რომლებიც საპლანეტათშორისო სივრცეს ავსებენ და გამუდმებით ეჯახებიან დედამიწას, ერთ-ერთი საინტერესო ნაწილია ასტრონომიისა, სადაც ძალზე მარტივი დასაკვირვებელი საშუალებებით მოყვარულებს შეუძლიათ დიდი სარგებლობა მოუტანონ მეცნიერებას. მაგრამ ამისათვის საჭიროა უფრო ღრმად გავეცნოთ მეტეორების ბუნებას. ფედინსკი მოგვითხრობს მზის სისტემაში მეტეორული ნივთიერების როლზე, მეტეორული ნაკადების წარმოშობასა და მათ კავშირზე კომეტებსა და მცირე პლანეტებთან, მეტეორების შესწავლის მნიშვნელობაზე იმ ზოგადი საკითხების გამოსარკვევად, რომლებიც მზის სისტემის წარმოშობასთანაა დაკავშირებული.

კ რ ი ნ ო ვ ი ე. მეტეორიტები. მ., ფიზმატგიზი, 1958. 108 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

მეტეორიტები ერთადერთი ციური სხეულებია, რომლებიც დედამიწაზე ცვივა და რომლებიც ხელმისაწვდომია დედამიწის ლაბორატორიებში გამოსაკვლევად. მეტეორიტების ცნობილმა მკვლევარმა ვ. კრინოვმა თავის წიგნში მოგვცა თანამედროვე მონაცემები მეტეორიტების აგებულებისა და ქიმიური შედგენილობის შესახებ, მათი ვარდნის პირობებზე, მეტეორიტების წარმოშობაზე, რომელიც მჭიდროდაა დაკავშირებული მზის სისტემის სხვა სხეულების წარმოშობასთან. წიგნში დაწვრილებითაა აგრეთვე მოთხრობილი ჩვენი საუკუნის გიგანტური მეტეორიტების — ტუნგუსკისა და სიხოტე-ალინის შესახებ და მათი შესწავლის შედეგებზე.

ვარსკვლავთ სამყარო

კ ა პ ლ ა ნ ი ს. ვარსკვლავთა ფიზიკა. მ., ფიზმატგიზი, 1961. 152 გვ. ნახაზ.

ვარსკვლავების, მათი აგებულების გამოკვლევა, გრანდიოზული ფიზიკური პროცესების ახსნა, რომლებიც ვარსკვლავთა წიაღში ხდება, — მეცნიერების ურთულესი დარგია. რეკომენდებულ წიგნში მოკლედაა განხილული ვარსკვლავების შესახებ მეცნიერების განვითარების ძირითადი ეტაპები და ის წვლილი, რომელიც საბჭოთა და უცხოელმა მეცნიერებმა შეიტანეს ამ საქმეში. მონაყოლის გაღრმავების მიზნით ავტორი იყენებს ფორმულებს, რომლებიც მკითხველისგან მათემატიკისა და ფიზიკის ელემენტარულ ცოდნას მოითხოვს.

ბ ო კ ი ბ. და ბ ო კ ი პ. ირმის ნახტომი. თარგმ. ინგლის. მ., ფიზმატგიზი, 1959. 264 გვ. ილუსტ.

ირმის ნახტომი გიგანტური ვარსკვლავთ სისტემაა, რომელიც მრავალი მილიარდი ვარსკვლავის, მრავალი გაზისა და მტვრის ნისლეულისაგან შედგება. მათი შესწავლა ხსნის ვარსკვლავებისა და ნისლეულების სამყაროს უდიდეს მრავალფეროვნებას და წარმოადგენს ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავთ სისტემების წარმოშობისა და განვითარების გზების შესახებ უფრო ზოგადი დასკვნების საფუძველს. ამერიკელი ასტრონომების წიგნში მოცემულია თანამედროვე შეხედულებები ირმის ნახტომის შესახებ.

ვ ო რ ო ნ ც ო ვ-ვ ე ლ ი ა მ ი ნ ო ვ ი ბ. გალაქტიკების სივრცეები. მ., გამ-ბა „ზნანიე“, 1963. 48 გვ. ილუსტ.

თანამედროვე ასტრონომიის ოპტიკური და რადიოასტრონომიული საშუალებები შესაძლებლობას გვაძლევენ ღრმად შევისწავლოთ გალაქტიკები, რომლებიც ჩვენგან მილიარდი სინათლის წლებითაა დაშორებული. ბროშურაში მოთხრობილია გალაქტიკების ბუნების შესახებ (მათ შორის ჩვენი გალაქტიკისაც), მათი ვარსკვლავიერი „მოსახლეობის“ შესახებ; აღწერილია ზოგიერთი ახლო გალაქტიკა. ბროშურის ბოლოში მოცემულია გალაქტიკების გამოკვლევის უახლესი მონაცემები, რომლებსაც მათი წარმოშობისა და განვითარების გზების შესახებ საინტერესო დასკვნებამდე მივყავართ.

ასტრონომია ადამიანის სამსახურში

კ უ ლ ი კ ო ვ ი კ. ასტრონომია სახალხო მეურნეობის სამსახურში. მ., გოსტეხიზდატი, 1957. 79 გვ. ილუსტ. (პოპულარული ლექციები ასტრონომიაში).

ასტრონომია ბევრი უმნიშვნელოვანესი პრაქტიკული საქმიანობის მეცნიერულ საფუძველს წარმოადგენს. დიდია ამ

მეცნიერების მნიშვნელობა გეოგრაფიული კოორდინატების დადგენასა და კარტოგრაფიაში, სხვადასხვა ადგილის სიმძიმის ძალის გამოკვლევაში, აქედან გამომდინარე, სასარგებლო მადნეულის დაზვერვასა და სხვა მრავალი პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრაში.

სელეშნიკოვი ს. კალენდრის ისტორია და მისი მომავალი რეფორმა. მე-3 დამატ. და დამუშ. გამოც. ლ., ლენიზდატი, 1962. 131 გვ. ილუსტ.

შური ი. მოთხრობები კალენდარზე. მ., გოსპოლიტიზდატი, 1962. 216 გვ. ილუსტ.

აღნიშნულ წიგნებში დაწვრილებითაა გადმოცემული დროის კალენდრული თვლის ასტრონომიული საფუძვლები. განხილულია კალენდრისა და უძველესი ხანიდან წელთაღრიცხვის ისტორია. მოთხრობილია თანამედროვე — გრიგორიუსის კალენდრის ისტორია, მისი უპირატესობანი და ნაკლი, აგრეთვე საუბარია კალენდრის რეფორმის პროექტზე.

ასტრონომიის ისტორიიდან

ბაევი კ. ახალი ასტრონომიის შემქმნელნი. კოპერნიკი, ბრუნო, კეპლერი, გალილეი. მე-2 გამოც. მ., უჩპედგიზი, 1955, 125 გვ. ილუსტ. და რუკ.

ეს წიგნი ეძღვნება დიდი სწავლულების — მეცნიერებაში რევოლუციონერების ცხოვრებასა და მოღვაწეობას, რომლებმაც მტკიცედ უარყვეს მოძველებული წარმოდგენები დედამიწის, როგორც სამყაროს უძრავი ცენტრალური სხეულის, შესახებ. ამ მეცნიერებმა შექმნეს საფუძვლები ახალი მეცნიერებისა, რომელიც უკანასკნელ საუკუნეებში თავისი განვითარების მანძილზე სამყაროს გრანდიოზულ სურათს გვიშლის.

ვორონცოვ-ველიამინოვი ბ. ნარკვევები სსრკავშირში ასტრონომიის ისტორიიდან. მ., ფიზმატგიზი, 1960. 228 გვ. ილუსტ. ბიბლიოგრ.: „უმნიშვნელოვანესი ლიტერატურა სსრკ-ში ასტრონომიის ისტორიიდან“ (გვ. 225 — 227).

ლეონოვი ნ. XV საუკუნის სამარყანდელი ასტრონომების მეცნიერული გმირობა. მ., ფიზმატგიზი, 1960. 118 გვ. ილუსტ., 1 თაბახ. ილუსტ.

სამარყანდის მმართველმა, გამოჩენილმა ასტრონომმა ულუღ-ბეგმა XV ს. პირველ ნახევარში გრანდიოზული სამეცნიერო ობსერვატორია ააგო. ამ ობსერვატორიაზე, სამარყანდელ მეცნიერებსა და მათ თვალსაჩინო შრომებზე — ვარსკვლავთა კატალოგსა და პლანეტების ცხრილებზე, რომლებიც დიდხანს იყო მიჩნეული როგორც სწორუპოვარი, — გვიამბობს ნ. ლეონოვი. ავტორი აგრეთვე აცნობს მკითხველებს IX — XIV სს. შუა აზიის გამოჩენილი მეცნიერების ცხოვრებასა და მოღვაწეობას, რომლებიც XV ს. სამარყანდელი ასტრონომების ღირსეული წინამორბედები იყვნენ.

სახელმძღვანელოები ასტრონომიული დაკვირვებებისათვის

ცესევიჩი ვ. რას და როგორ დავაკვირდეთ ცაზე. ცის მნათობებზე მოყვარულთა მეცნიერული დაკვირვებებისა და მათი ჩატარების ორგანიზაციის სახელმძღვანელო. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1963. 462 გვ. ილუსტ.

კულიკოვსკი პ. ასტრონომიის მოყვარულის ცნობარი. მე-3 დამუშ. და დამატ. გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961. 494 გვ. ილუსტ. დანართი: ვარსკვლავიერი ცისა და სხვ. რუკები — სულ 18 თაბახ. „ასტრონომიული ბიბლიოგრაფია“ (გვ. 328 — 338).

„ცნობარის“ ამოცანაა შეაიარაღოს ასტრონომიის მოყვარულები აუცილებელი ცოდნით, რათა დამოუკიდებლად აწარმოონ სისტემატური დაკვირვებები ცაზე.

ორივე წიგნში მოცემულია ზოგადი ცნობები მზის სისტემისა და სამყაროს შესახებ, ცნობები მათემატიკაზე, რომლებიც აუცილებელია ასტრონომიის მოყვარულთათვის და დაწვრილებითი მითითებანი მზის, მთვარის, დიდი პლანეტების, კომეტების, მეტეორებისა და ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვებების შესახებ.

შარონოვი ვ. მზე და მასზე დაკვირვებები. მე-2 გამოც., მ., გოსტეხიზდატი, 1953. 220 გვ. ილუსტ.: 3 თაბახ. ილუსტ. 8 თაბახ. რუკ.

სიტინსკაია ნ. მთვარე და მასზე დაკვირვება. მ., გოსტეხიზდატი. 1956. 254 გვ. ილუსტ.

ბრონშტენი ვ. პლანეტები და მათზე დაკვირვება. მ., გოსტეხიზდატი. 1957. 207 გვ. ილუსტ. 1 თაბახ. რუკ. 5 თაბახ. კოორდინატული ბადე.

სამივე წიგნი წარმოადგენს სახელმძღვანელოს ასტრონომიის მოყვარულებისათვის, რომელთაც სურვილი აქვთ სისტემატურად დააკვირდნენ მზეს, მთვარეს, პლანეტებს.

ნაბოკოვი მ. ასტრონომიული დაკვირვებები ბინოკლით. მ., გოსტეხიზდატი, 1948. 184 გვ. ილუსტ.

წიგნში მოთხრობილია ბინოკლით ასტრონომიული დაკვირვებების შესახებ. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა მეტეორიტებისა და ცვალებად ვარსკვლავთა დაკვირვებებს.

ნავაშინი მ. ასტრონომიის მოყვარულის ტელესკოპი. მ., ფიზმატგიზი, 1962, 376 გვ. ილუსტ.

წიგნში დაწვრილებითაა აღწერილი ტელესკოპის მოწყობილობის პრინციპები, ოპტიკური კონსტრუქციების საფუძვლები. მთავარი და დამხმარე სარკეების დამზადების ტექნიკა, ტელესკოპის მონტირება, მუშაობა და მისი გამოყენება.

„ასტრონომიული კალენდარი“ დაარსებულია 1895 წ. ნიჟნი ნოვგოროდის ასტრონომიის მოყვარულთა მიერ. ახლა გამოსცემს საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოება მოსკოვში, გამომცემლობა „ნაუკა“. იყოფა მუდმივ და ცვალებად ნაწილებად (გამოდის ყოველწლიურად). 1895 წლიდან გამოვიდა ცვალებადი ნაწილის 68 ნაკვეთი.

„ასტრონომიული კალენდრის მუდმივი ნაწილი“, მე-5 გამოც., მ., ფიზმატგიზი, 1962. 772 გვ. ილუსტ.

„მუდმივი ნაწილი“ — ასტრონომთა კოლექტივის მიერ დაწერილი ვრცელი სახელმძღვანელოა მზეზე, მთვარეზე, პლანეტებზე, კომეტებზე, მეტეორებზე, ცვალებად ვარსკვლა-

ეებსა და სხვა ციურ მნათობებზე მოყვარულთა დაკვირვებებისათვის. წიგნის ბოლოში მოყვანილია ვრცელი სატაბულო და საცნობარო მასალა.

(ქართულ ენაზე)

ანდრეევი ბ. რამდენი კილომეტრია მთვარემდე, მზესა და ვარსკვლავებამდე. თბ., 1937, 60 გვ.

ბაევი კ. კოპერნიკი (თარგმ. ალ. ბურთიკაშვილისა) თბ., 1939. 176 გვ.

ბალავაძე ბ. საბჭოთა ხელოვნური თანამგზავრები და კოსმოსური რაკეტები. თბ., 1959, 32 გვ.

ბასილაია ა. ბრძოლა კოსმოსში. თბ., 1960, 89 გვ.

ბოდოკია ვ. მზის დაბნელება 1936 წლის 19 ივნისს. თბ., 1936, 32 გვ.

ბუბლეინიკოვი ფ. დედამიწის გამოცანები (თარგმ. ქ. ნადირაძისა). თბ., 1952, 140 გვ.

ბუხნიკაშვილი ა. საერთაშორისო გეოფიზიკური წელი. თბ., 1957, 40 გვ.

გაპეევი ა. დედამიწა (თარგმ. მ. ლორთქიფანიძისა). თბ., 1940, 140 გვ.

დონდუა დ. როგორ გავეგნოთ გარემოში. თბ., 1943, 44 გვ.

დონდუა დ. გარემოში გაგნება და გარემოს აგეგმვა. თბ., 1952, 82 გვ.

ვავილოვი ს. თვალი და მზე (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა). თბ., 1953, 95 გვ.

ვაშაკიძე მ. ვარსკვლავები და ნისლეულები. თბ., 1952, 54 გვ.

ვოინილოვიჩი ვ. მზე — სიცოცხლის წყარო (თარგმ. ტ. ხერხეულიძისა). თბ., 1955, 36 გვ.

ვორონცოვ-ველიამინოვი ბ. ლაპლასი (შემოკლ. თარგ. ე. ხარაძისა). თბ., 1939, 86 გვ.

ვორონცოვ-ველიამინოვი ბ. ციური სხეულების წარმოშობა (თარგმ. ნ. ჯუღელისა). თბ., 1949, 40 გვ.

ვორონცოვ-ველიამინოვი ბ. ნარკვევები სამყაროზე (თარგმ. დ. ჟივიძისა). თბ., 1939, 136 გვ.

ზარიძე გ. როგორ წარმოიშვა დედამიწა. თბ., 1951, 40 გვ.

ზელიკოვიჩი ე. მზეთა სამყაროში (თარგმ. ნ. ჯუღელისა). თბ., 1949, 92 გვ.

იასამანი ა. ცა და ვარსკვლავები (ასტრონომიული საუბრები მოზრდილთათვის). თბ., 1935, 56 გვ.

იასამანი ა. რა არის მზის დაბნელება? თბ., 1936, 68 გვ.

იმნაძე მ. მზის სისტემა. თბ., 1949, 40 გვ.

იმნაძე მ. თანავარსკვლავედები. თბ., 1952, 52 გვ.

კვირკველია გ. მზის დაბნელება 1961 წლის 15 თებერვალს. თბ., 1961, 28 გვ.

კოლხიდაშვილი მ. მეცნიერება და რელიგია სამყაროს წარმოშობის შესახებ. თბ., 1957, 174 გვ.

კოლხიდაშვილი მ. რას აძლევს კაცობრიობას კოსმოსური სივრცის შესწავლა. თბ., 1965, 32 გვ.

კრინოვი ე. ციური ქვები (თარგ. მ. ჭიჭინაძისა). თბ., 1957, 54 გვ.

კუნიცკი რ. დღე და ღამე, წლის ოთხი დრო (თარგმ. მ. კუჭაიძისა). თბ., 1948, 40 გვ.

ლუნკევიჩი ვ. დედამიწა სამყაროს სივრცეში (თარგმ. დ. ჟივიძისა). თბ., 1949, 52 გვ.

მარტინოვი გ. ფანტასტიკური მოთხრობები (თარგმ. შ. თაბუკაშვილისა და ბ. ჩიქობავასი). თბ., 1961, 548 გვ.

მზის დაბნელება 1954 წლის 30 ივნისს. კრებული. თბ., 1954.

მოგილევსკი ბ. მზის სხივის თავგადასავალი (თარგმ. დ. იობაშვილისა). თბ., 1950, 66 გვ.

ოგოროდნიკოვი კ. რამდენი ვარსკვლავია ცაზე (თარგმ. გ. აბდალაძისა). თბ., 1956, 44 გვ.

პერელმანი ი. შუშხუნით მთვარეზე (თარგმ. ა. იასამანისა). თბ., 1936, 84 გვ.

პერელმანი ი. სახალისო ასტრონომია (თარგმ. ვ. თევზაძისა). თბ., 1956. 258 გვ.

პოლაკი ი. დრო და კალენდარი (თარგმ. თბ., 1950. 48 გვ.

რიაბჩიკოვი ე. ვარსკვლავეთის მზვერავი (თარგმ. გ. პეტრიაშვილისა). თბ., 1961, 40 გვ.

სერგეევი ი. არაჩვეულებრივი ციური მოვლენები (თარგმ. ფ. ნიშნიანიძისა). თბ., 1946, 30 გვ.

სიტინსკაია ნ. არის თუ არა სიცოცხლე ციურ სხეულებზე (თარგმ. გ. თევზაძისა). თბ., 1952, 112 გვ.

ტიტოვი გ. 700000 კილომეტრი კოსმოსში (თარგმანი მ. მეძმარიაშვილისა), თბ., 1962, 160 გვ.

ფედინსკი ვ., ასტაპოვიჩი ი. სამყაროს მცირე სხეულები (თარგმ. მ. ბრეგაძისა). თბ., 1950, 56 გვ.

ფლამარიონი კ. ასტრონომია (თარგმ. ვ. ბაქრაძისა). თბ., 1924, 198 გვ.

ფურცხვანიძე ა. 1936 წლის 19 ივნისის მზის დაბნელების შესახებ. თბ., 1936, 16 გვ.

შადური რ. საპლანეტათშორისო მოგზაურობანი. თბ., 1958, 39 გვ.

შმიდტი ო. ოთხი ლექცია დედამიწის წარმოშობის თეორიაზე (თარგ. მ. კოლხიდაშვილისა). თბ., 1953, 84 გვ.

შტერნფელდი ა. საპლანეტათშორისო გაფრენები (თარგმ. ნ. თალაკვაძისა). თბ., 1956, 58 გვ.

ჩხაიძე შ. მზის სხივები და მათი გამოყენება. თბ., 1950, 95 გვ.

ჩხაიძე შ. ზოგიერთი „უჩვეულო“ ციური მოვლენა. თბ., 1956, 74 გვ.

ხარაძე ე. მზე. თბ., 1940, 184 გვ.

ხარაძე ე. მზის დაბნელება 1941 წლის 21 სექტემბერს. თბ., 1941, 28 გვ.

ხარაძე ე. ასტრონომია და სამხედრო საქმე. თბ., 1942, 58 გვ.

ხარაძე ე. მზის დაბნელება 1945 წლის 8 ივლისს. თბ., 1945, 18 გვ.

ხარაძე ე. ვარსკვლავთ სამყარო. თბ., 1949, 54 გვ.

ხარაძე ე. რა ვიცით მზის შესახებ. თბ., 1949, 54 გვ.

ხარაძე ე. სამყაროს აგებულება. თბ., 1949, 72 გვ.

ხარაძე ე. სამყაროს შესახებ ადამიანის წარმოდგენის განვითარება. თბ., 1950. 63 გვ.

ხარაძე ე. მზის დაბნელება 1954 წლის 30 ივნისს. თბ., 1954, 23 გვ.

ხარაძე ე. მზის სრული დაბნელება საქართველოში 1954 წლის 30 ივნისს. თბ., 1954, 44 გვ.

ხარაძე ე. საბჭოთა კოსმოგონიის მიღწევები. თბ., 1955, 40 გვ.

ხარაძე ე. რას გვასწავლის მეცნიერება სამყაროს აგებულებაზე. თბ., 1956. 80 გვ.

ხარაძე ე. სამყაროს სიღრმეებში. თბ., 1958, 37 გვ.

ხარაძე ე. კოსმოსისაკენ. თბ., 1962, 28 გვ.

ხარაძე ე. სამყაროს აგებულება მეცნიერების თვალით. თბ., 1965, 37 გვ.

ჯიბერნე ა. მზე, მთვარე და ვარსკვლავები (თარგმ. ნ. ნინიძისა). თბ., 1926, 74 გვ.

ჯინსი ჯ. სამყაროთა მოძრაობა (თარგმ. ვ. ბოდოკიასი და ჰ. ხუნდაძისა). თბ., 1938, 176 გვ.

ჯიშკარიანი ი. წელთაღრიცხვის ძველი და ახალი წესი. თბ., 1925, 40 გვ.

ჯიშკარიანი ი. მზის ხილული მოძრაობა და წელთაღრიცხვის ძველი და ახალი წესი. თბ., 1926, 44 გვ.

ასტრონომიული კალენდარი. გამოდის ყოველწლიურად 1961 წლიდან. თბილისი.

სახელთა და საგანთა საძიებელი

ა

აბერაცია სინათლის— ცის თაღზე ვარსკვლავის ხილული მდებარეობის შეცვლა, რასაც იწვევს დედამიწის მოძრაობა დამკვირვებელთან ერთად და სინათლის გავრცელების სასრულო სიჩქარე. — 377

აბერაცია ტელესკოპის — ტელესკოპის მიერ შექმნილი გამოსახულების დამახინჯება ან არასაკმარისი სიმკვეთრე; დაკავშირებულია ლინზებისა და სარკეების თვისებებსა და სინათლის ტალღოვან ბუნებასთან. — 403

აბუ-ლ-ვეფა, მუჰამედ ბენ-მუჰამედი [940 — 998 (სხვა მონაცემებით — 997)] — არაბი ასტრონომი და მათემატიკოსი. შეადგინა სინუსებისა და ტანგენსების ზუსტი ტაბულები, რომელთა საშუალებითაც სრულყო ასტრონომიული გამოთვლები. — 186

ადამსი, ჯონ კაუჩი (1819 — 1892) — ინგლისელი ასტრონომი; თეორიული გაანგარიშების საფუძველზე უ. ლევერიესაგან დამოუკიდებლად და მასზე ადრე დაადგინა პლანეტა ნეპტუნის არსებობა. — 204, 272

ადგილობრივი დრო — დედამიწის თავის ღერძის გარშემო ბრუნვასთან დაკავშირებით დედამიწის ყოველ მერიდიანზე არსებობს საკუთარი, ჰეშმარიტი ადგილობრივი დრო. — 333 — 334

ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური „ვენერა“ — გაუშვეს საბჭოთა კავშირში 1961 წ. 12 თებერვალს. — 343

ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური „ზონდი-1“— გაუშვეს საბჭოთა კავშირში 1964 წ. 2 აპრილს. — 345

ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური „მარინერ-II“—1962 წ. 27 აგვისტოს ვენერასაკენ გაუშვეს ამერიკის შეერთებულ შტატებში. სადგურმა ვენერასაგან 37000 კმ მანძილზე ჩაიარა და დაადასტურა მონაცემები პლანეტის ზედაპირის მაღალი ტემპერატურის შესახებ. — 343

ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური „მარსი-1“ — გაუშვეს საბჭოთა კავშირში 1962 წ. 1 ნოემბერს. — 343

ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური „მთვარე-4“— გაუშვეს საბჭოთა კავშირში 1963 წ. 2 აპრილს. — 345

ალ-ბატანი, აბუ აბდალაჰ მუჰამედ ბუენ-ჯაბარი (858 — 929) — არაბი ასტრონომი; ახლად განსაზღვრა ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის კუთხე და ხმარებაში შემოიღო ტრიგონომეტრიული ფუნქციები. — 186

ალბიცკი, ვლადიმერ ალექსანდრეს ძე (1891 — 1952) — საბჭოთა ასტრონომი; გ. შაინთან ერთად განსაზღვრა ბევრი ვარსკვლავის სხივური სიჩქარე (მოძრაობის სიჩქარე მხედველობის სხივის გასწვრივ). — 395

ალგოლი (პერსევსის ბეტა) — ცვალებადი სიკაშკაშის ვარსკვლავი; ეკუთვნის ბნელებად-ცვალებად ვარსკვლავთა ტიპს (იხ.); მდებარეობს პერსევსის თანავარსკვლავედში. მისი სიკაშკაშე იცვლება 2-დან 3,5 ვარსკვლავიერ სიდიდემდე (იხ.). — 297

ალდებარანი — კუროს თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა, პირველი ვარსკვლავიერი სიდიდის მოწითალო-მოყვითალო ფერის ვარსკვლავი. — 301

ალი ყუშჩი (დაბადების წელი არ არის ცნობილი — 1474) — სამარყანდელი ასტრონომი და მათემატიკოსი, რომელიც ულუღ-ბეგის (იხ.) ობსერვატორიაში მუშაობდა.—188

ალკორი — მე-5 ვარსკვლავიერი სიდიდის სუსტი ვარსკვლავი; შეუიარაღებელი თვალით ჩანს ვარსკვლავ მიცარის (იხ.) ახლოს დიდი დათვის თანავარსკვლავედში. — 233, 295 — 296

ამბარცუმიანი, ვიქტორ ამაზასპის ძე (დაიბ. 1908) — საბჭოთა ასტროფიზიკოსი, აკადემიკოსი, სომხეთის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტი; აქვს ბევრი მნიშვნელოვანი ნაშრომი, რომლებიც ეხება ვარსკვლავების, ვარსკვლავთ სისტემებისა და ვარსკვლავთშორისი გარემოს ფიზიკურ ბუნებასა და მათ წარმოშობას. — 221, 227, 316

ანდრომედა — ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თანავარსკვლავედი, რომელიც ჩანს ზაფხულის ბოლოს, შემოდგომაზე და ზამთრის დასაწყისში. — 234

ანტარესი — ღრიანკალის თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა, 1-ლი ვარსკვლავიერი სიდიდის წითელი ფერის ვარსკვლავი; ეკუთვნის ზეგიგანტ ვარსკვლავებს. მისი დიამეტრი 450-ჯერ და უფრო მეტად აღემატება მზის დიამეტრს, მოცულობით კი 90 მლნ-ჯერ მეტია მზეზე. — 292, 294, 299, 430

ასტეროიდები — იხ. მცირე პლანეტები.

ასტროლოგია — ცრუ მეცნიერება, რომლის მეოხებითაც ცდილობდნენ ციურ სხეულთა მდებარეობების მიხედვით ეწინასწარმეტყველათ სახელმწიფოების, ხალხებისა და ცალკეული ადამიანების ბედი, აგრეთვე მოსალოდნელი მოვლენები და ამბები. — 182

ასტრონომია — მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ციურ სხეულთა და მათ სისტემათა აგებულებასა და განვითარებას. — 177

ასტრონომიული ერთეული — ასტრონომიაში მიღებული ერთეული, რომელსაც ხმარობენ მზის სისტემაში დიდი მანძილების გასაზომად. უდრის საშუალო მანძილს დედამიწიდან მზემდე — 149,5 მლნ კმ. — 197

ასტრონომიული ობსერვატორიები — სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულებები, რომლებშიც ტელესკოპებისა და სხვა ასტრონომიული ხელსაწყოების დახმარებით აკვირდებიან ციურ მნათობებს და მათ მოძრაობასა და განვითარებას სწავლობენ. — 219 — 229

ასტროფიზიკა — ასტრონომიის ნაწილი, რომელიც უმთავრესად სპექტრული ანალიზის, ფოტოგრაფიისა და რადიოასტრონომიული მეთოდების დახმარებით შეისწავლის ციური სხეულებისა და ვარსკვლავთშორისი გარემოს ფიზიკურ თვისებებს, მათ ქიმიურ შემადგენლობას. — 220

არიაბჰატა (დაიბ. V ს. — გარდაცვალების წელი არ არის ცნობილი)—ინდოელი მათემატიკოსი და ასტრონომი; თავის თხზულებაში — „არიაბჰატიამი“ მოკლედ გადმოგვცა ასტრონომიული გამოთვლებისათვის აუცილებელი მათემატიკური ცნობები. — 190

არიელი — ურანის თანამგზავრი. — 430

არიზონის მეტეორიტული კრატერი — კრატერი ამერიკის შეერთებულ შტატებში, რომელიც წარმოიქმნა გიგანტური

მეტეორიტის დაცემის შედეგად; კრატერის განივკვეთი უდრის დაახლოებით 1200 მ, სიღრმე — 174 მ, ნაზვინის სიმაღლე — 40 — 50 მ. — 287

არისტარქე სამოსელი (ცხოვრობდა ძვ. წ. III ს.) — ელინიზმის ეპოქის ერთ-ერთი უდიდესი ბერძენი მეცნიერი. მან პირველმა განსაზღვრა მანძილები დედამიწიდან მთვარემდე და მზემდე. გამოთქვა აზრი დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობის შესახებ. მას „უძველესი სამყაროს კოპერნიკს“ უწოდებენ. თავისი მოძღვრებისათვის ბრალი დასდეს უღვთოობაში და ათენიდან განდევნეს. — 184, 191, 363, 433

არისტოტელე (384 — 322 წწ. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი მეცნიერი, რომელმაც დაასაბუთა დედამიწისა და სხვა ციური სხეულების სფეროსებურობა. ამავე დროს იგი ამტკიცებდა, რომ დედამიწა უძრავი სხეულია, სამყაროს ცენტრია, რომლის ირგვლივაც ბრუნავს ყველა ციური სხეული. — 183, 364

არქიმედე (დაახლ. 287 — 212 წწ. ძვ. წ.)—ძველი ბერძენი მათემატიკოსი და მექანიკოსი. — 363

არქტური — მენახირის თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა, ნულოვანი ვარსკვლავიერი სიდიდის ნარინჯისფერი ვარსკვლავი; ზომით გიგანტი ვარსკვლავი. — 430

ახალი ვარსკვლავები — ვარსკვლავები, რომელთა გამოსხივება უეცრად მატულობს რამდენიმე ათასჯერ და შემდეგ ნელ-ნელა იკლებს. ხანდახან ჩვენსა და სხვა გალაქტიკებში შეინიშნება ზეახალი ვარსკვლავების აფეთქება. ასეთი აფეთქებებისას ვარსკვლავები მზესთან შედარებით მილიონჯერ და ასობით მილიონჯერ უფრო ინტენსიურად გამოასხივებენ სინათლეს. ამ აფეთქებების მიზეზი მეცნიერების მიერ ჯერ კიდევ არ არის საბოლოოდ გამორკვეული. — 299 — 300

ახალმთვარეობა — იხ. მთვარის ფაზები.

ახერნარი — ერიდანოსის თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა, 1-ლი ვარსკვლავიერი სიდიდის თეთრი ვარსკვლავი. საბჭოთა კავშირიდან არ ჩანს. — 430

ბ

ბაკლუნდი, ოსკარ ანდრიას ძე (1846 — 1916) — რუსი ასტრონომი, წარმოშობით შვედი. 1895 — 1916 წწ. იყო პულკოვოს ობსერვატორიის დირექტორი. მისი ძირითადი მეცნიერული გამოკვლევები ეხება ცის მექანიკასა და გეოდეზიას. — 381

ბალისტიკა — მეცნიერება საარტილერიო ჭურვების, რაკეტებისა და სხვ. მოძრაობის შესახებ. — 345

ბელიაევი, პავლე ივანეს ძე (1925)—საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი. კოსმოსური ხომალდის „აისი-2“ ეკიპაჟის მეთაური. — 180, 345, 434

ბელიავსკი, სერგეი ივანეს ძე (1883 — 1953) — საბჭოთა ასტრონომი; აღმოაჩინა 37 მცირე პლანეტა, მათ შორის ვლადილენა, ეს სახელი ვლადიმერ ილიას ძე ლენინის პატივსაცემად ეწოდა. — 274, 381

ბელოპოლსკი, არისტარქე აპოლონის ძე (1854 — 1934) — რუსი ასტრონომი; გამოიკვლია მზის ბრუნვის კანონები, დაამტკიცა სატურნის რგოლების მეტეორიტული აგებულება, ჩაატარა ვარსკვლავთ სპექტრებისა და მათი სხივური სიჩქარეების მნიშვნელოვანი კვლევა; ცდებით დაადასტურა დოპლერის (იხ.) პრინციპის სისწორე სინათლის მიმართ. — 215, 271, 381, 386 — 388

ბესელი, ფრიდრიხ ვილჰელმი (1784 — 1846) — გერმანელი ასტრონომი, დაამუშავა ვარსკვლავთა მდებარეობების განსაზღვრის ზუსტი მეთოდები; შეადგინა ვარსკვლავთ ვრცელი კატალოგები; ვ. სტრუვესთან ერთად პირველმა დაიწყო ვარსკვლავებამდე მანძილების ზუსტი განსაზღვრა.—377—378

ბეტელჰეიზე — სიკაშკაშის მიხედვით მეორე ვარსკვლავი ორიონის თანავარსკვლავედში; 1-ლი ვარსკვლავიერი სიდიდის მოწითალო ფერის ვარსკვლავი; ეკუთვნის ზეგიგანტ ვარსკვლავებს. დიამეტრით 300-ჯერ მეტია მზეზე, მოცულობით კი — 27 მლნ-ჯერ; — 214, 292 — 294, 299, 430

ბიელის კომეტა — კომეტა, რომელმაც XIX ს. ნაწილებად დაშლის შედეგად მეტეორული ნაკადი (იხ.) წარმოშვა, რასაც უხვი ვარსკვლავთ წვიმები მოჰყვა. — 279

ბიკოვსკი, ვალერი თევდორეს ძე (დაიბ. 1934) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი. კოსმოსური ხომალდით „აღმოსავლეთი-5“, რომელიც გაუშვეს 1963 წ. 14 ივნისს, 119 საათი იფრინა, 81-ჯერ შემოუარა დედამიწას და გაიარა 3 მლნ 300 ათასი კმ. — 180, 344, 434

ბირუნი (972 ან 973 — 1048) — შუააზიელი მეცნიერი, ასტრონომი, გეოგრაფი, ისტორიკოსი; შუა აღმოსავლეთში პირველმა გამოთქვა აზრი დედამიწის მზის ირგვლივ მოძრაობის შესახებ; განსაზღვრა დედამიწის ზომები.—187—189

ბლაჟკო, სერგეი ნიკოლოზის ძე (1870 — 1956) — საბჭოთა ასტრონომი, მოსკოვის უნივერსიტეტის პროფესორი, ცვალებად ვარსკვლავთა მკვლევარი. — 390

ბნელებად-ცვალებადი ვარსკვლავები — ძალიან მჭიდრო ორჯერადი ვარსკვლავები, რომელთა ორბიტა მხედველობის სხივზე გადის. საერთო სიმძიმის ცენტრის ირგვლივ ბრუნვისას ორივე ვარსკვლავი მორიგეობით ფარავს ერთმანეთს, ისე რომ სისტემის საერთო სიკაშკაშე ამ დაბნელებების დროს სუსტდება. ალგოლი (იხ.) ამ ტიპის პირველი აღმოჩენილი ვარსკვლავია. — 297 — 298

ბოლიდი — თვალისმომჭრელად კაშკაშა მეტეორი: ჰგავს ცეცხლოვანი კუდის მქონე მნათ სფეროს. მისი გაელვების შემდეგ ცაზე ერთ ხანს ჩანს სუსტად მნათი ნისლოვანი კვალი. — 284 — 285, 290

ბრადლი, ჯემსი (1693 — 1762) — ინგლისელი ასტრონომი, თანამედროვე ვარსკვლავთ ასტრონომიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი. — 376 — 377, 380

ბრამაგუპტა (598 — 660) — ინდოელი მათემატიკოსი და ასტრონომი; თავის თხზულებებში ამტკიცებს, რომ დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო; გადმოცემული აქვს აგრეთვე მოსაზრებანი დედამიწისა და მთვარის ზომების შესახებ. — 190

ბრედიხინი, თევდორე ალექსანდრეს ძე (1831 — 1904) — რუსი ასტრონომი; განსაკუთრებით ცნობილია როგორც კომეტების კუდებისა და მეტეორული ნაკადების წარმოშობის თეორიათა შემქმნელი; 1890-დან 1895 წლამდე ხელმძღვანელობდა პულკოვოს ობსერვატორიას. — 222, 278, 281, 283, 315, 384 — 386

ბრუნო, ჯორდანო (1548 — 1600) — იტალიელი მოაზ-

როვნე, ათეისტი; ავითარებდა კოპერნიკის მოძღვრებას, ამტკიცებდა, სამყარო უსასრულოა, ვარსკვლავები, მზეები და დასახლებული პლანეტები ურიცხვიაო. — 193, 194

ბრუნვა ვარსკვლავების. [1] — 395

ბრწყინვალება ვარსკვლავების — სიდიდე, რომელიც მიღებულია ასტრონომიაში ვარსკვლავის გამოსხივების სიძლიერის გამოსახატავად მზის გამოსხივებასთან შეღარებით. ბრწყინვალების მიხედვით ვარსკვლავები იყოფა გიგანტებად და ჯუჯებად. გიგანტები რამდენიმე ასეულჯერ და ათასეულჯერ მეტ სინათლეს გამოასხივებენ, ვიდრე მზე. არსებობს ზეგიგანტი ვარსკვლავები, რომლებიც მზეზე ათეულ და ასეულ ათასჯერ უფრო ინტენსიურად გამოასხივებენ სინათლეს. ჯუჯა ვარსკვლავები ისევე გამოასხივებენ სინათლეს, როგორც მზე, ანდა ბევრად უფრო ნაკლებად. — 292

გ

გაგარინი, იური ალექსის ძე (დაიბ. 1934) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი; პირველი ადამიანი მსოფლიოში, რომელიც 1961 წ. 12 აპრილს კოსმოსური ხომალდით — „აღმოსავლეთი“ — კოსმოსში გაფრინდა. — 180, 296, 341, 434

გაზე, ვერა თევდორეს ასული (1899 — 1954) — საბჭოთა ასტრონომი; აკადემიკოს გ. შაინთან ერთად შეისწავლიდა გაზოვან-მტვეროვან ნისლეულებს. — 396

გალაქტიკა — ვარსკვლავთ სისტემა, რომელშიც შედის თანავარსკვლავედების თვალითა და ტელესკოპით ხილული ვარსკვლავები და ირმის ნახტომის ყველა ვარსკვლავი. გალაქტიკაში 100 მლრდ-ზე მეტი ვარსკვლავია. ამ ვარსკვლავთ სისტემის დიამეტრი თითქმის 100 ათას სინათლის წელს უდრის. გალაქტიკის ყველა ვარსკვლავი მისი ცენტრის ირგვლივ მოძრაობს. — 306, 307, 373, 378, 380, 383

გალაქტიკა ანდრომედაში — აგებულებისა და შემადგენელი ვარსკვლავების მრავალფეროვნების მიხედვით ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი ვარსკვლავთ სისტემა. ჩანს ანდრომედას თანავარსკვლავედში შეუიარაღებელი თვალით. — 308

გალაქტიკა სამკუთხედში — სპირალური (იხ.) ვარსკვლავთ სისტემა, რომელიც სამკუთხედის თანავარსკვლავედში მდებარეობს. — 309

გალაქტიკები — ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი ვარსკვლავთ სისტემები. — 307 — 310

გალაქტიკების ბირთვი. — 306

გალაქტიკების ბრუნვა. — 307

გალაქტიკების რადიოგამოსხივება. — 309

გალაქტიკური ეკვატორი — დიდი წრე ცის თაღზე, რომელიც წარმოიქმნება ცის თაღის ირმის ნახტომის (იხ.) შუა სიბრტყით გადაკვეთისას. — 306

გალე, იოჰან გოტფრიდი (1812 — 1910) — გერმანელი ასტრონომი, მეტეორებისა და კომეტების კვლევის სპეციალისტი. 1846 წ. სექტემბერში ლევერიეს მიერ წინასწარ გაანგარიშებული მონაცემების მიხედვით აღმოაჩინა პლანეტა ნეპტუნი. — 205, 272, 433

გალილეი, გალილეო (1564 — 1642) — იტალიელი ფიზიკოსი, მექანიკოსი და ასტრონომი; ერთ-ერთმა პირველმა გამოიყენა ტელესკოპი ცაზე დაკვირვებისათვის; უჩვენა, რომ ირმის ნახტომი ვარსკვლავთ სიმრავლეა; აღმოაჩინა ვენერას ფაზები, მზის ბრუნვა თავისი ღერძის გარშემო, მთვარის ზედაპირის რელიეფის ფორმები, იუპიტერის ოთხი დიდი თანამგზავრი; მნიშვნელოვანი აღმოჩენები აქვს აგრეთვე ფიზიკასა და მექანიკაში. — 195, 196, 242, 264, 270, 364, 395, 433

განიმედი — იუპიტერის ოთხი უყველაზე კაშკაშა თანამგზავრიდან ზომებითა და მასით უყველაზე დიდი თანამგზავრი, რომელიც გალილეიმ აღმოაჩინა. — 430

განიმედი — მცირე პლანეტა. — 429

„გაფრენა-1“ — საბჭოთა კავშირში 1963 წ. 1 ნოემბერს გაშვებული მმანევრირებელი კოსმოსური აპარატი. — 344

„გაფრენა-2“ — საბჭოთა კავშირში 1964 წ. 12 აპრილს გაშვებული მმანევრირებელი კოსმოსური აპარატი. — 344

გიადები — ვარსკვლავთ გროვა კუროს თანავარსკვლავედში; შეიცავს დაახლოებით 100 ვარსკვლავს. ცაზე მდებარეობს ვარსკვლავ ალდებარანის მახლობლად. — 302

გიდალგო — მცირე პლანეტა. — 429

გლენი, ჯონი — ამერიკელი კოსმონავტი, რომელიც 1962 წ. 20 თებერვალს აფრინდა კოსმოსში. 4 საათისა და 56 წუთის განმავლობაში მან სამჯერ შემოუარა დედამიწას.— 342, 434

გრანულები — მარცვლისებური გაზოვანი წარმონაქმნები მზის ზედაპირზე. ცალკეული მარცვლების ზომა ასეულ კილომეტრებს უდრის. — 251

გრიგორიუსის კალენდარი (ახალი სტილი) — შემოიღო 1582 წ. პაპმა გრიგორი XIII; უფრო ზუსტია, ვიდრე იულიუსის კალენდარი (იხ.). ამჟამად მიღებულია მსოფლიოს უმრავლეს ქვეყანაში. — 330

გრისომი, ვირჯილი — ამერიკელი კოსმონავტი, რომელმაც ცოტა ხანი დაყო კოსმოსში 1961 წ. 27 ივლისს. — 342

გუდრაიკი, ჯონი (1764 — 1786) — ინგლისელი ასტრონომი, ცვალებადი ვარსკვლავების ერთ-ერთი პირველი მკვლევარი. — 297

დ

დაკვირვებები ღედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე. — 414

დაკვირვებები ვერცხლისფერ ღრუბლებზე. — 417—418

დაკვირვებები კომეტებზე. — 420

დაკვირვებები მეტეორებზე. — 415, 416

დაკვირვებები მზეზე. — 412

[1] მეცნიერების გვარებს, მათემატიკურ ცნებებსა და ტერმინებს, რომლებიც სახელთა და საგანთა საძიებელშია შესული, ვრცელი განმარტება მხოლოდ იმ შემთხვევაში ახლავთ, თუ ენციკლოპედიის ტექსტში მათ შესახებ დაწვრილებით არ არის მოთხრობილი.

დაკვირვებები მზის დაბნელებებზე. — 413
დაკვირვებები მთვარეზე. — 419
დაკვირვებები პლანეტებზე. — 419
დაკვირვებები პოლარულ ნათებებზე. — 414
დაკვირვებები ცვალებად ვარსკვლავებზე. — 420 — 422
დ'ალამბერი ჟან ლერონი (1717 — 1783) — ფრანგი მათემატიკოსი და ფილოსოფოსი, ამუშავებდა ცის სხეულთა მოძრაობის ურთულეს საკითხებს. — 374
დედამიწა — პლანეტა, რომელზეც ჩვენ ვცხოვრობთ. საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე ასტრონომიაში მიღებულია დიდი მანძილების გასაზომ ერთეულად (იხ. ასტრონომიული ერთეული). — 265, 266, 268, 310, 311, 314, 315, 428
დედამიწის ატმოსფერო. — 321, 351 — 353
დედამიწის მაგნიტური ველი. — 355 — 356
დედამიწის პირველი საბჭოთა ხელოვნური თანამგზავრი — გაუშვეს 1957 წ. 4 ოქტომბერს. — 337
დედამიწის მეორე საბჭოთა ხელოვნური თანამგზავრი — გაუშვეს 1957 წ. 3 ნოემბერს, იარსება 163 დღე და 2370-ჯერ შემოუარა დედამიწას. — 338
დედამიწის მესამე საბჭოთა ხელოვნური თანამგზავრი — გაუშვეს 1958 წ. 15 მაისს. წარმოადგენდა მთელ კოსმოსურ ლაბორატორიას, რომლის დახმარებითაც მიიღეს მნიშვნელოვანი ცნობები ატმოსფეროს ზედა ფენების, მეტეორული სხეულების, დედამიწის მაგნიტური ველისა და სხვ. შესახებ. იარსება 691 დღე და 10037-ჯერ შემოუარა დედამიწას.—338
დედამიწის პოლუსების მოძრაობა — პოლუსების გადაადგილება, რომელიც დაკავშირებულია იმასთან, რომ დედამიწას არ უჭირავს უცვლელი მდგომარეობა თავისი ბრუნვის ღერძის მიმართ; პოლუსების მოძრაობას თვალყურს ადევნებს ობსერვატორიების საგანგებო — განედთა სადგურების — ქსელი. — 319, 397
დედამიწის რადიაციული სარტყელები — დედამიწის ირგვლივ გარშემორტყმულ დამუხტულ ნაწილაკთა სარტყელები; აღმოჩენილია დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებისა და კოსმოსური რაკეტების დახმარებით. — 355 — 356
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრები — ხელოვნური ციური სხეულები, სამეცნიერო ლაბორატორიები, რომლებიც აღჭურვილია ავტომატური ხელსაწყოებით ატმოსფეროს ზედა ფენებისა და დედამიწის გარე სივრცის გამოსაკვლევად. — 336 — 347, 350
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი „აისი-2“ — გაუშვეს 1965 წლის 18 მარტს 10 საათზე მოსკოვის დროით. ხომალდი აღჭურვილი იყო კოსმონავტის კოსმოსში გასვლისათვის საჭირო ტექნიკური მოწყობილობით. — 345
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრები „ელექტრონი“. — 344
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი „ექო-2“. — 344
დეიმოსი — მარსის თანამგზავრი. — 269
დეკარტე, რენე (1596 — 1650) — ფრანგი ფილოსოფოსი, ფიზიკოსი, მათემატიკოსი, ფიზიოლოგი. — 364
დეკრეტული დრო — საბჭოთა მთავრობის 1930 წ. დეკრეტის თანახმად ჩვენი ქვეყნის ყველა საათი ერთი საათით წინ გადაიწია. — 336
დელანდრი, ანრი (1853 — 1948) — ფრანგი ასტრონომი, რომელიც მზის ქრომოსფეროს სისტემატურად უღებდა ფოტოს, მიიღო პლანეტებისა და ნისლეულების ბევრი ფოტოსურათი, იკვლევდა სატურნის რგოლების ბრუნვას. — 387
დემოკრიტე (დაახლ. 460 — 370 წწ. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი-მატერიალისტი, ატომების მოძღვრების ერთ-ერთი ფუძემდებელი; მიაჩნდა, რომ მთელს სამყაროში აურაცხელი რაოდენობის ცალკეული სამყაროა, რომელთაგანაც ერთნი ყალიბდებიან, მეორენი გაფურჩქვნის ხანაში არიან, ხოლო მესამენი ინგრევიან და იღუპებიან.—183
დეფერენტი და ეპიციკლი — წრეხაზები, რომლებზეც პტოლემეს აზრით პლანეტები მოძრაობენ; დეფერენტი დიდი წრეხაზია, მისი ცენტრი დედამიწაა; ეპიციკლი უფრო პატარა წრეხაზია, რომლის ცენტრიც დეფერენტზე მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ. — 185
დიგესი თ. (დაბადების წელი არ არის ცნობილი — 1595) — ინგლისელი მეცნიერი, კოპერნიკის მოძღვრების ერთ-ერთი პირველი მიმდევარი ინგლისში; ავითარებდა და აღრმავებდა კოპერნიკის მოძღვრებას და იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ სამყარო უსასრულოა, მზე კი ერთ-ერთი ვარსკვლავია აურაცხელ ვარსკვლავთა შორის. — 193
დიდი დათვი — ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თანავარსკვლავედი. მისი შვიდი ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი ქმნის გამოსახულებას, რომელსაც ჩამჩის მოყვანილობა აქვს. — 232, 233, 236, 295, 325
დიონა — სატურნის თანამგზავრი. — 430
დიფუზური ნისლეულები — გაფანტული (გაზოვანი ან მყარი ნაწილაკებისაგან, მტვრისგან შემდგარი) ნივთიერების დიდი ღრუბლები ვარსკვლავთშორის სივრცეში. ბევრი მეცნიერის აზრით ვარსკვლავები და პლანეტები წარმოშობილია დიფუზური ნისლეულებიდან მათი შემკვრივების შედეგად. — 304, 305
დოპლერის პრინციპი — რხევების სიხშირის ან ტალღის სიგრძის ცვლა ამ რხევების წყაროს მოძრაობისას დამკვირვებლის მიმართ; წამოაყენა ავსტრიელმა ფიზიკოსმა ქრისტიანე დოპლერმა (1803—1853) 1842 წ.; სინათლის მიმართ კი ლაბორატორიულ პირობებში დაამტკიცა ა. ბელოპოლსკიმ (იხ.); ასტრონომიაში იყენებენ ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების სიჩქარის განსაზღვრისათვის მხედველობის სხივის გასწვრივ და ციურ სხეულთა ბრუნვის გამოსაკვლევად. — 387, 388
დროის სამსახური — სამუშაოები, რომლებიც დაკავშირებულია ასტრონომიული დაკვირვებების გზით ზუსტი დროის განსაზღვრასთან, დროის შენახვასთან ზუსტი ასტრონომიული საათების მეშვეობით და მის გადაცემასთან რადიოსიგნალებით. — 216, 319, 320
დროის სიგნალები — გადაიცემა რადიოთი საათების შესამოწმებლად; საგანგებო სიგნალების გარდა, რომლებსაც ძალზე ზუსტი საათების შესამოწმებლად გადასცემენ, ყოველ საათში გადაიცემა რადიოგადაცემების სიგნალები — ექვსი წერტილი (უკანასკნელი წერტილი იძლევა საათების ზუსტად მთელ რიცხვს, ნულ წუთსა და ნულ წამს წამის მეასედი ნაწილების სიზუსტით). — 216, 319, 320
დღე-ღამე — დროის საზომი ერთეული, რომელიც უდრის ღედამიწის თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნვის პერიოდს. — 324, 325, 326

ე

ეგოროვი, ბორის ბორისის ძე (დაიბ. 1937) საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი, რომელიც გაფრინდა 1964 წ. 12 ოქტომბერს სამადგილიანი კოსმოსური ხომალდით „აისი“. — 180, 345, 434

ედინგტონი, არტურ სტენლი (1882 — 1944) — ინგლისელი ასტრონომი. მისი გამოკვლევები ეხება უმთავრესად ვარსკვლავების მოძრაობის, მათი შინაგანი აგებულებისა და ფარდობითობის თეორიის შესწავლას. — 391 — 392

ევკლიდე — ძველი ბერძენი მათემატიკოსი, რომელიც მუშაობდა ალექსანდრიაში ძვ. წ. III ს.; განაზოგადა უძველეს დროში დაგროვილი გეომეტრიული ცოდნა. — 363

ევროპა — იუპიტერის ოთხი კაშკაშა თანამგზავრიდან ერთ-ერთი, რომელიც გალილეიმ აღმოაჩინა. — 430

ეილერი, ლეონარდი (1707 — 1783) — მათემატიკოსი, მექანიკოსი და ფიზიკოსი, რომელიც 30 წელზე მეტს მუშაობდა პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიაში. ბევრი მისი ნაშრომი ეხება მზის სისტემის სხეულთა მოძრაობის კვლევას. — 364, 374

ეკლიპტიკა — დიდი წრე ცის თაღზე, რომელზეც მზე მოძრაობს ვარსკვლავებს შორის. — 239

ელიფსური გალაქტიკები. — 309

ენკეს კომეტა — კომეტა, რომელსაც მზის ირგვლივ გარემოქცევის ძალზე მოკლე პერიოდი (3,3 წელი) აქვს, ამასთან ეს პერიოდი თანდათან მცირდება; შეინიშნება 1786 წლიდან. ასე დაერქვა გერმანელი ასტრონომის ი. ენკეს (1791 — 1865) პატივსაცემად. — 277, 279

ენკელადოსი — სატურნის თანამგზავრი. — 430

ერატოსთენე (დაახლ. 276 — 194 წწ. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი მეცნიერი; პირველმა განსაზღვრა დედამიწის ზომები, საფუძველი ჩაუყარა მათემატიკურ გეოგრაფიას; მათემატიკაში მუშაობდა მარტივ რიცხვთა შესწავლაზე. — 184, 186, 433

ეროსი — არაწესიერი ფორმის მცირე პლანეტა, რომელიც დედამიწას ზოგჯერ 23 მლნ კმ მანძილზე უახლოვდება. 1931 წ. ასეთი მოახლოებისას ეროსზე დაკვირვების შედეგად დიდი სიზუსტით დადგინდა ასტრონომიული ერთეულის (იხ.) სიდიდე. — 429

ვ

ვარახამიხარა — ახ. წ. VI ს. ინდოელი მათემატიკოსი და ასტრონომი; მის თხზულებებში ახსნილია დაბნელებანი და მოცემულია მსჯელობა მზესა და მთვარემდე მანძილების შესახებ. — 190

ვარსკვლავები — გიგანტური, გავარვარებული, თვითმნათი გაზოვანი სფეროები. მზე ერთ-ერთი საშუალო ვარსკვლავია თავისი ზომებითა და ბრწყინვალებით. თავიანთი მახასიათებლებით ვარსკვლავები სხვადასხვანაირია: არჩევენ გიგანტ და ჯუჯა ვარსკვლავებს, ცალმაგ, ორმაგ და ჯერად ვარსკვლავებს, ცვალებადსა და ახალ ვარსკვლავებს. — 280 — 301

ვარსკვლავთ გროვები — ვარსკვლავთ ჯგუფები, რომლებშიც ვარსკვლავები უფრო ახლოს არიან ერთმანეთთან. ასეთ ჯგუფებში ვარსკვლავებს აკავშირებს საერთო მოძრაობა სივრცეში, ამასთან ისინი საერთო წარმოშობისა არიან. — 301 — 302

ვარსკვლავთშორისი გარემო — გაიშვიათებული ნივთიერება, რომელიც ავსებს სივრცეს ვარსკვლავებს შორის. შედგება გაზისა და პატარა-პატარა მყარი ნაწილაკებისაგან (მტვრისაგან), რომლებიც უმეტესად ნისლეულებს ქმნიან. ვარსკვლავთშორის გარემოში იგივე ქიმიური ელემენტები შედის, რომელთაგანაც მზე და ვარსკვლავები შედგება. — 302 — 305

ვარსკვლავთ წვიმა — იხ. მეტეორული ნაკადი.

ვარსკვლავიერი სიდიდე — ასტრონომიაში მიღებული ერთეული ვარსკვლავებისა და სხვა ციური სხეულების ხილული სიკაშკაშის გასაზომად. რაც უფრო სუსტად ანათებს ვარსკვლავი, მით უფრო დიდია მისი ვარსკვლავიერი სიდიდის აღმნიშვნელი რიცხვი. ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები 1-ლი ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავებს ეკუთვნის, ხოლო ყველაზე სუსტი, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალით ჩანს, მე-6 ვარსკვლავიერ სიდიდეს. ვარსკვლავების ჭეშმარიტ ზომებსა და ბრწყინვალებასთან ვარსკვლავიერ სიდიდეს პირდაპირი დამოკიდებულება არა აქვს. — 231, 232 291

ვეგა — ლირას თანავარსკვლავედის და ვარსკვლავიერი ცის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო კაშკაშა, ნულოვანი ვარსკვლავიერი სიდიდის თეთრი ფერის ვარსკვლავი. — 209, 231, 292, 430

ვენერა — მზიდან დაშორების მიხედვით მეორე პლანეტა მზის სისტემაში. მზისა და მთვარის შემდეგ ყველაზე კაშკაშა მნათობი ცაზე; ჩანს დაბინდებისას ცის დასავლეთ მხარეს, ადრიანი დილით კი — აღმოსავლეთ მხარეს. ზომებითა და მასით დედამიწას უახლოვდება. — 182, 263 — 265, 270, 420

ვენერას გავლა მზის დისკოზე. — 364

ვერნადსკი, ვლადიმერ ივანეს ძე (1863 — 1945) — საბჭოთა ბუნებისმკვლევარი, მინერალოგი და კრისტალოგრაფი, გეოქიმიისა და ბიოქიმიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი. ასტრონომიისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მის ნაშრომებს დედამიწის ქერქის, ოკეანისა და ატმოსფეროს ქიმიური შემადგენლობის შესახებ, გამოკვლევებს რადიოაქტიური ელემენტების როლის შესახებ დედამიწის სფეროს ევოლუციაში. მან პირველმა მიაქცია ყურადღება ცოცხალი ნივთიერების უდიდეს როლს დედამიწის ქერქის ისტორიაში. — 315

ვერცხლისფერი ღრუბლები — ღრუბლები, რომლებიც ზაფხულობით შებინდებისას შეინიშნება და რომლებიც 80 — 85 კმ სიმაღლეზე დაცურავენ. ძალზე გაიშვიათებული (ვერცხლისფერი ღრუბლების იქით ვარსკვლავები მოჩანს) და ცვალებადებია; ვარაუდობენ, რომ ყინულოვანი კრისტალებისაგან შედგება. — 417

ვერძი — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

ვესტა—ყველაზე კაშკაშა მცირე პლანეტებიდან; ჩანს ხოლმე შეუიარაღებელი თვალით. აღმოაჩინა 1807 წ. გერმანელმა ასტრონომმა გ. ოლბერსმა. — 274, 429

ვეშაპის „საოცარი“ — ვარსკვლავი ომიკრონი ვეშაპის თანავარსკვლავედში, რომელსაც მირა ეწოდება, რაც ლა-

თინურად „საოცარს“ ნიშნავს. ასე ეწოდა სიკაშკაშის ცვლილების გამო. ხანდახან იგი შედარებით კაშკაშაა — მე-3 ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავია, ხანდახან კი მხოლოდ ტელესკოპებში მოჩანს. გრძელპერიოდიანი ცვალებადი ვარსკვლავი, რომელმაც ცვალებად ვარსკვლავთა მთელ კლასს მისცა სახელწოდება. წითელი ზეგიგანტი. — 299

ვიდმანშტეტენის ფიგურები — მჟავას სუსტი ხსნარით ამოჭმული ნახატი, რომელიც რკინის მეტეორიტის კრიალა ზედაპირზე შეინიშნება. ასე ეწოდა ავსტრიელი მეცნიერის ვიდმანშტეტენის გვარის მიხედვით, რომელმაც პირველმა მიიღო ეს ფიგურები 1808 წ. — 289

ვინოგრადოვი, ალექსანდრე პავლეს ძე (დაიბ. 1895) — საბჭოთა ბიოქიმიკოსი, გეოქიმიკოსი და ქიმიკოს-ანალიტიკოსი. მისი ძირითადი გამოკვლევები ეხება დედამიწის ქერქის ზედა ნაწილში ქიმიური ელემენტების განაწილების კანონზომიერებათა შესწავლას, დედამიწის დანალექი საფარველის შემქმნელი პირველადი ქანების შემადგენლობის გამორკვევას და სხვ.; იკვლევს აგრეთვე მეტეორიტებს. — 290

ვოლფის რიცხვი — მზის აქტივობის ერთ-ერთი დამახასიათებელი. ვოლფის რიცხვი უდრის მოცემულ მომენტში მზის დისკოზე შენიშნული ლაქების ჯგუფების ათჯერ გაზრდილ რაოდენობას პლუს ლაქების საერთო რიცხვი. — 413

ვორონცოვ-ველიამინოვი, ბორის ალექსანდრეს ძე (დაიბ. 1904) — საბჭოთა ასტროფიზიკოსი; გამოიკვლია ახალი ვარსკვლავები, გაზოვანი და პლანეტმსგავსი ნისლეულები, ვარსკვლავთშორისი სივრცე და გალაქტიკების მნიშვნელოვანი ნაწილი. ის მრავალი სახელმძღვანელოსა და მეცნიერულ-პოპულარული წიგნის ავტორია. — 316

ვსეხსვიატსკი, სერგეი კონსტანტინეს ძე (დაიბ. 1905) — საბჭოთა ასტროფიზიკოსი; კომეტების, მზის კორონისა და მზის კორპუსკულარული გამოსხივების ცნობილი მკვლევარი. — 222

ზ

ზეახალი ვარსკვლავები — იხ. ახალი ვარსკვლავები.

ზეელიგერი, ჰუგო (1849 — 1924) — გერმანელი ასტრონომი; მუშაობდა თეორიული ასტრონომიის, ირმის ნახტომის აგებულებისა და სხვ. საკითხებზე. — 391

ზენიტი — შვეული ხაზისა და წარმოსახვითი ცის თაღის გადაკვეთის წერტილი დამკვირვებლის ზევით. — 235

ზვერევი, მიტროფანე სტეფანეს ძე (დაიბ. 1903) — საბჭოთა ასტრონომი; პულკოვოს ობსერვატორიის დირექტორის მოადგილე. — 220

ზოლური დრო — მთელი დედამიწა დაყოფილია 24 ზოლად. ზოლები ერთმანეთისაგან დაშორებულია გრძედის 15°-ით. შეთანხმების საფუძველზე ყოველი ზოლის შიგნით ერთი და იგივე სამოქალაქო დროა. — 334 — 335

ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები — 12 თანავარსკვლავედი: ვერძი, კურო, მარჩხვი, კირჩხიბი, ლომი, ქალწული, სასწორი, ღრიანკალი, მშვილდოსანი, თხის რქა, მერწყული და თევზები, რომლებიც ცაზე ვარსკვლავებს შორის მზის გადაადგილების გზის გასწვრივაა განლაგებული. თითოეულ თანავარსკვლავედში მზე ყოველწლიურად თითო თვეს რჩება. — 239, 429

თ

თალესი (VII ს. დასასრული — VI ს. დასაწყისი ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი მეცნიერი; აქვს მთელი რიგი აღმოჩენები არითმეტიკაში, გეომეტრიასა და ასტრონომიაში. პირველად იწინასწარმეტყველა მზის დაბნელება 585 წ. ძვ. წ.—183, 433

თანავარსკვლავედები — უბნები, რომლებადაც იყოფა ვარსკვლავიერი ცა კაშკაშა ვარსკვლავების მიერ შექმნილი გამოსახულებების მიხედვით. სულ 88 თანავარსკვლავედი არსებობს. თანავარსკვლავედებით სარგებლობენ ვარსკვლავიერ ცაზე ორიენტირებისათვის. ვარსკვლავების ერთი თანავარსკვლავედისათვის მიკუთვნება მხოლოდ „ხილული“ ან პერსპექტიული სიახლოვის მიხედვით ხდება. სინამდვილეში ერთი თანავარსკვლავედის ვარსკვლავები ჩვენგან სულ სხვადასხვა მანძილებით არიან დაშორებულნი. — 230 — 234

თარიღთა ცვლის ხაზი — წარმოსახვითი ხაზი დედამიწაზე; გადის უმთავრესად წყნარ ოკეანეში 180° გრძედის მერიდიანზე და ხანდახან სცდება მას. მოგზაურები, რომლებიც დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მიდიან, ამ ხაზის გადაკვეთისას ერთსა და იმავე დღეს ორჯერ თვლიან, უკან მომავალნი კი ერთ დღეს გამოტოვებენ ხოლმე. — 335

თევზები — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

თეთრი ჯუჯები — ვარსკვლავები, რომლებსაც ძალზე პატარა ზომები და ბრწყინვალება (რამდენიმე ასეულ და ათასეულჯერ უფრო ნაკლები, ვიდრე მზის ზომები და ბრწყინვალება) და ამასთან ერთად მაღალი ტემპერატურა აქვთ. გამოირჩევიან ნივთიერებების მეტისმეტი სიმკვრივით (წყალზე უფრო მკვრივია ათეულ, ასეულ, ათასეულ და თითქმის რამდენიმე მილიონჯერაც). — 294

თვე — დროის პერიოდი, რომელიც დაკავშირებულია მთვარის დედამიწის ირგვლივ შემოვლასთან. არჩევენ სიდერულ ან ვარსკვლავიერ თვეს (დედამიწის ირგვლივ მთვარის შემოვლის პერიოდი), რომელიც საშუალოდ 27 დღე-ღამეს, 7 საათს, 43 წუთსა და 11 წამს უდრის და სინოდურ თვეს (მთვარის ფაზების ცვლის პერიოდი), საშუალოდ უდრის 29 დღე-ღამეს, 12 საათს, 44 წუთსა და 2 წამს. — 242, 325

თვითნაკეთი ტელესკოპი. — 404 — 407

თხის რქა — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

ი

იარდიმლინის მეტეორიტი — რკინის მეტეორიტი, რომელიც ჩამოვარდა 1959 წ. 24 ნოემბერს აზერბაიჯანის სსრ ტერიტორიაზე. შეგროვილია მეტეორიტის 6 ცალკეული ნატეხი, რომელთა საერთო წონა 157 კბ უდრის. — 286

იაფეტი — სატურნის თანამგზავრი. — 430

იბნ-იუნუსი (950 — 1009) — არაბი ასტრონომი; მნიშვნელოვანი დაკვირვებები ჩაატარა კაიროს მახლობლად მდებარე ობსერვატორიაში. შეადგინა მთვარის, მზისა და პლანეტების მოძრაობის ტაბულები. — 186

იკაროსი — მცირე პლანეტა, რომელიც თავის ორბიტაზე მოძრაობისას მზის სისტემის ცნობილ სხეულთაგან ყველაზე მეტად უახლოვდება მზეს. — 275, 429

იო — გალილეის მიერ აღმოჩენილი იუპიტერის ოთხი კაშკაშა თანამგზავრიდან ერთ-ერთი. — 430

იონოსფერო — დედამიწის ატმოსფეროს ფენა, რომლის ატომები და მოლეკულები ნაწილობრივ იონიზებულია მზის მოკლეტალღოვანი გამოსხივებისა და კორპუსკულარული ნაკადების გავლენით. — 353

ირმის ნახტომი — ფართე მნათი ზოლი, რომელიც კარგად ჩანს შემოდგომის ან ზამთრის ბნელ ღამეებში. შედგება უამრავი ვარსკვლავისაგან. ყველა ეს ვარსკვლავი ჩვენს ვარსკვლავთ სისტემაში — გალაქტიკაში (იხ.) შედის, რომლის ერთ-ერთ ვარსკვლავს მზე წარმოადგენს.—303, 306, 307, 371

იულიუსის კალენდარი (ძველი სტილი) — მზის კალენდარი, რომელიც შემოიღო რომის იმპერატორმა იულიუს კეისარმა 46 წ. ძვ. წ. და დაამუშავეს ალექსანდრიელმა ასტრონომებმა სოზიგენის მეთაურობით. ბევრ ქვეყანაში ხმარობდნენ XVI ს. დასასრულამდე — გრიგორიუსის კალენდრის (იხ.) შემოღებამდე. — 328 — 330

იუნონა — აღმოჩენის დროის მიხედვით მესამე მცირე პლანეტა; აღმოჩენილია 1804 წ. — 429

იუპიტერი — მზიდან დაშორების მიხედვით მეხუთე პლანეტა მზის სისტემაში. აქვს ვრცელი ატმოსფერო, რომელიც (სატურნის, ურანისა და ნეპტუნის ატმოსფეროების მსგავსად) შედგება შხამიანი გაზების — ამიაკისა და მეთანისაგან. იუპიტერს ჰყავს 12 თანამგზავრი, რომელთაგანაც 4 გალილეიმ აღმოაჩინა 1610 წ. — 182, 263 — 270, 276, 277, 313, 420

კ

კალენდარი — დროის ათვლის სისტემა; საფუძვლად უდევს დროის საზომი ერთეულები, რომლებიც თვით ბუნებამ შემოგვთავაზა: წელიწადი და დღე-ღამე. — 182, 185, 320, 323 — 333

კალენდრის რეფორმა (პროექტი). — 331

კალისტო — გალილეის მიერ აღმოჩენილი იუპიტერის ოთხი კაშკაშა თანამგზავრიდან ერთ-ერთი. — 233, 430

კანოპუსი — სირიუსის შემდეგ ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი; ეკუთვნის ზეგიგანტ ვარსკვლავებს; ბრწყინვალებით რამდენიმე ათასჯერ აღემატება მზეს; ჩვენს განედებში არ ჩანს. — 430

კანტი, ემანუილი (1724 — 1804) — გერმანელი ფილოსოფოსი და მეცნიერი; ამტკიცებდა ვარსკვლავიერი სამყაროს უსასრულობას; 1755 წ. პირველად წამოაყენა მეცნიერული ჰიპოთეზა ციურ სხეულთა წარმოშობის შესახებ. — 310, 371, 376, 433

კანტის კოსმოგონიური ჰიპოთეზა. — 375, 376

კაპელა — მეეტლის თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა, ნულოვანი ვარსკვლავიერი სიდიდის ყვითელი ფერის ვარსკვლავი. — 292, 294, 430

კარპენტერი, მალკოლმ სკოტი — ამერიკელი კოსმონავტი, რომელიც 1962 წ. 24 მაისს აფრინდა კოსმოსში (3-ჯერ შემოუარა დედამიწას). — 343, 434

კასინი, ჯოვანი დომენიკო (1625 — 1712) — ასტრონომი, წარმოშობით იტალიელი, შემდეგ მუშაობდა საფრანგეთში; აღმოაჩინა იუპიტერისა და მარსის ბრუნვა, სატურნის ოთხი თანამგზავრი, სატურნის რგოლის დაყოფა; განსაზღვრა მანძილი დედამიწიდან მზემდე. — 197 — 198, 433

კასიოპეა — ყველასათვის კარგად ცნობილი ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თანავარსკვლავედი. საბჭოთა კავშირის ჩრდილოეთ რაიონებსა და შუა ზოლში არასოდეს არ ჩადის. უკიდურეს სამხრეთ რაიონებში კარგად ჩანს ზაფხულში და შემოდგომაზე. — 233

კენტავრის ალფა — მზის სისტემასთან ყველაზე ახლოს მყოფი სამი ვარსკვლავისაგან შემდგარი სისტემა კენტავრის თანავარსკვლავედში; მანძილი 4,3 სინათლის წელი (იხ.). — 198, 210, 296, 430

კეპლერი, იოჰანი (1571 — 1630) — გერმანელი ასტრონომი. შეიმუშავა სამი ძირითადი კანონი, რომელთა მიხედვითაც პლანეტები მზის გარშემო მოძრაობენ. — 192, 195 — 199, 201, 301, 433

კეპლერის კანონები პლანეტების მოძრაობის შესახებ — კეპლერის მიერ აღმოჩენილი სამი კანონი, რომელთა მიხედვითაც მზის სისტემის სხეულები მოძრაობენ. — 196, 347, 348, 364, 433

კერტისი, ხებერი (1872 — 1942) — ამერიკელი ასტრონომი; ამტკიცებდა, რომ ბევრი ნისლეული ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი შორეული ვარსკვლავთ სისტემებია. ეს აზრი დადასტურდა ჰაბლის აღმოჩენით 1924 წ. — 393

კვადრატურა — დედამიწის, მზისა და ერთი გარე პლანეტის (რომელიც მზისგან უფრო შორსაა, ვიდრე დედამიწა) ურთიერთ განლაგება, რომლის დროსაც მიმართულებები პლანეტისა და მზისკენ სწორ კუთხეს ქმნიან. — 207

კვირა — დროის საზომი საშუალედო ერთეული დღე-ღამესა და თვეს შორის; წარმოიშვა აღმოსავლეთის უძველეს სახელმწიფოებში. — 329

კიბორჩხალისმაგვარი ნისლეული — ნისლეული კუროს თანავარსკვლავედში, რომელიც 1054 წლის ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქების შედეგად წარმოიშვა. წარმოადგენს რადიოგამოსხივების მძლავრ წყაროს. — 301

კილერი, ჯემს ედუარდი (1857 — 1903) — ამერიკელი ასტრონომი; პლანეტების, ვარსკვლავებისა და ნისლეულების სპექტრების მკვლევარი; იკვლევდა სატურნის რგოლებს.—387

კირჩხიბი — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

კლერო, ალექსის კლოდი (1713 — 1765) — ფრანგი მათემატიკოსი; მუშაობდა მზის სისტემის სხეულთა მოძრაობის შესწავლაზე. — 364, 374

კოვალსკი, მარიან ალბერტის ძე (1821 — 1884) — რუსი ასტრონომი; მისი ყველაზე მნიშვნელოვანი შრომები ეხება ვარსკვლავთ მოძრაობისა და გალაქტიკის აგებულების შესწავლას და ცის მექანიკას. — 382 — 383

კოზირევი, ნიკოლოზ ალექსანდრეს ძე (დაიბ. 1908) —

საბჭოთა ასტროფიზიკოსი; მთვარის, პლანეტების, ვარსკვლავების შინაგანი აგებულების მკვლევარი; აკვირდებოდა ვულკანიზმის მოვლენებს მთვარეზე. — 220

კომაროვი, ვლადიმერ მიხეილის ძე (დაიბ. 1927) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი, რომელიც 1965 წ. 12 ოქტომბერს გაფრინდა სამადგილიანი კოსმოსური ხომალდით „აისი“. — 180, 345, 434

კომეტები — ციური სხეულები, რომლებიც მზის სისტემის შემადგენლობაში შედის. აქვთ ნისლოვანი ლაქის სახე, რომლის ცენტრშიც კაშკაშა შესქელება — ბირთვია მოქცეული. კაშკაშა კომეტებს მზესთან მიახლოებისას მნათი ზოლის მსგავსი კუდი უჩნდება. — 275—282

კომეტების კუდები. — 276, 278, 280, 281, 385, 386

კომეტების წარმოშობა. — 281, 282

კომეტების ბირთვი. — 275, 280, 281

კომეტმაძიებელი — კომეტის მოსაძებნი საგანგებო ასტრონომიული მილი; აქვს დიდი შუქძალა და მხედველობის დიდი ველი. — 276

კოპერნიკი, ნიკოლოზი (1473 — 1543) — პოლონელი მეცნიერი; უარყო არისტოტელე-პტოლემეს სამყაროს ცრუ გეოცენტრული სისტემა; აღმოაჩინა მზის სისტემის ჰელიოცენტრული აგებულება, რომელშიც დედამიწა მხოლოდ რიგითი პლანეტაა. — 178, 190 — 193, 195, 198, 235, 264, 364, 380, 433

კოსმოსური ხომალდი „აისი“ — იხ. კომაროვი, ვლადიმერ მიხეილის ძე.

კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი“ — იხ. გაგარინი, იური ალექსის ძე.

კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი-2“ — იხ. ტიტოვი, გერმანე სტეფანეს ძე.

კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი-3“ — იხ. ნიკოლაევი, ანდრიანე გრიგოლის ძე.

კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი-4“ — იხ. პოპოვიჩი, პავლე რომანის ძე.

კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი-5“ — იხ. ბიკოვსკი, ვალერი თევდორეს ძე.

კოსმოსური ხომალდი „აღმოსავლეთი-6“ — იხ. ნიკოლაევა-ტერეშკოვა, ვალენტინა ვლადიმერის ასული.

კოსმოსური ხომალდი „აისი“-2 — იხ. ბელიაევი, პავლე ივანეს ძე და ლეონოვი, ალექსი არქიპოს ძე.

კოსმოსურ ფრენათა ტრაექტორია. — 346

კრილოვი, ალექსი ნიკოლოზის ძე (1863 — 1945) — საბჭოთა მათემატიკოსი, მექანიკოსი და გემთმშენებელი. მისი ძირითადი გამოკვლევები ეხება გემთმშენებლობის თეორიას, აგრეთვე ხომალდის სამშენებლო მექანიკას, არტილერიასა და ბალისტიკას. — 204

კუკარკინი, ბორის ვასილის ძე (დაბ. 1909) — საბჭოთა ასტრონომი, ცვალებადი ვარსკვლავების, ვარსკვლავთ სისტემების აგებულებისა და მათი განვითარების მკვლევარი. — 221

კულიკი, ლეონიდ ალექსის ძე (1883 — 1942) — საბჭოთა მეცნიერი; მუშაობდა მეტეორიტების შესწავლაზე, განსაკუთრებით ტუნგუსკის მეტეორიტის ვარდნის საკითხებზე. — 288

კულმინაცია მნათობის — მნათობის გავლა ცის მერიდიანზე. — 236

კურო — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

ლ

ლაგრანჟი, ჟოზეფ ლუი (1736 — 1813) — ფრანგი მათემატიკოსი და მექანიკოსი. — 364, 374

ლაიბნიცი, გოტფრიდ ვილჰელმი (1646 — 1716) — გერმანელი მათემატიკოსი და ფილოსოფოსი. — 199, 364

ლამბერტი, იოჰან ჰენრიხი (1728 — 1777) — გერმანელი მათემატიკოსი, ფიზიკოსი და ფილოსოფოსი; ამტკიცებდა, რომ ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემა ერთ-ერთი სისტემაა უსასრულო სამყაროს ურიცხვ ვარსკვლავთ სისტემებს შორის. — 371, 372, 380

ლაპლასი, პიერ სიმონი (1749 — 1827) — ფრანგი მათემატიკოსი და ასტრონომი. ლაპლასის ძირითადი შრომები ეხება მზის სისტემის სხეულთა მოძრაობის თეორიის დამუშავებას მსოფლიო მიზიდულობის კანონის საფუძველზე. მანვე დაამუშავა მზისა და პლანეტების წარმოშობის ჰიპოთეზა (იხ.). — 311, 312, 364, 374 — 376

ლაპლასის კოსმოგონიური ჰიპოთეზა. — 311 — 312, 376

ლებედევი, პეტრე ნიკოლოზის ძე (1866 — 1912) — რუსი ფიზიკოსი; უზუსტესი ცდებით დაამტკიცა სინათლის წნევის (იხ.) არსებობა, რასაც ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ასტრონომიისათვის. — 281, 385

ლევერიე, ურბენ ჟან ჟოზეფი (1811 — 1877) — ფრანგი ასტრონომი, რომლის გამოთვლების საფუძველზეც 1846 წ. პლანეტა ნეპტუნი აღმოაჩინეს. — 204, 205, 272

ლევკიპე (დაახლ. 500 — 440 წწ. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი, მატერიის ატომური აგებულების თეორიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი. — 183

ლეონოვი, ალექსი არქიპოს ძე (დაიბ. 1934) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი. კოსმოსური ხომალდის ეკიპაჟის წევრი. პირველად კოსმოსის ათვისების ისტორიაში განახორციელა ღია კოსმოსში გასვლა. — 182, 345, 434

ლექსელი, ანდრეი ივანეს ძე (1740 — 1784) — რუსი ასტრონომი; გამოიკვლია კომეტის მოძრაობა, რომელსაც შემდეგ მისი სახელი ეწოდა. დაამტკიცა, რომ უ. ჰერშელის მიერ აღმოჩენილი ახალი ციური სხეული — ურანი—კომეტა კი არ არის, როგორც ვარაუდობდნენ, არამედ პლანეტაა. — 371

ლივიტი, გენრიეტა (1868 — 1921) — ამერიკელი ასტრონომი; დაადგინა დამოკიდებულება ცვალებადი ვარსკვლავების — ცეფეიდების — სიკაშკაშის ცვლის პერიოდსა და მათ ბრწყინვალებას შორის. ეს აღმოჩენა საფუძვლად დაედო შორეულ ვარსკვლავთ სისტემებამდე მანძილების განსაზღვრას. — 393

ლოკიერი, ჟოზეფ ნორმანი (1836 — 1920) — ინგლისელი ასტროფიზიკოსი, მზისა და ვარსკვლავების სპექტრების მკვლევარი. — 386

ლომი. — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

ლომონოსოვი, მიხეილ ვასილის ძე (1711—1765) — რუსი მეცნიერი-ენციკლოპედისტი, თავისი ეპოქის გამოჩენილი ასტრონომი. აღმოაჩინა ვენერაზე ატმოსფეროს არსებობა, შექმნა ტელესკოპის ახალი ტიპი, დაამუშავა მთელი რიგი ხელსაწყოები და მეთოდები პრაქტიკული ასტრონომიის სა-

ჰიროებისათვის; დიდი ღვაწლი მიუძღვის რუსეთის ასტრონომიულ-გეოგრაფიულ შესწავლაში. — 179, 184, 264, 281, 368 — 370, 375

ლუნდმარკი, კნუტი (1889 — 1958) — შვედი ასტრონომი; 1920 წ. განსაზღვრა მანძილი ანდრომედას ნისლეულამდე და დაადგინა, რომ იგი შორს მდებარეობს, ჩვენი გალაქტიკის საზღვრებს იქით. — 393

მ

მაგელანის ღრუბლები (დიდი და მცირე) — ჩვენს გალაქტიკასთან უახლოესი ვარსკვლავთ სისტემები; აქვთ არაწესიერი ფორმა; მდებარეობენ ცის სამხრეთ ნახევარსფეროში და საბჭოთა კავშირის ტერიტორიიდან არ ჩანან. უხვად შეიცავენ გიგანტ და ზეგიგანტ ვარსკვლავებს. კერძოდ, მაგელანის ღრუბლებში აღმოჩენილია ვარსკვლავები (მაგალითად, ოქროს თევზის ვარსკვლავი S), რომლებიც მილიონჯერ მეტ სინათლეს გამოასხივებენ, ვიდრე მზე. — 307, 394

მაკსუტოვი, დიმიტრი დიმიტრის ძე (1896 — 1964) — საბჭოთა ოპტიკოსი; შექმნა ახალი ტიპის მენისკური (იხ.) ტელესკოპი, რომელსაც განსაკუთრებით კარგი ოპტიკური თვისებები აქვს. — 213, 219, 407, 433

მანძილები ვარსკვლავებამდე. — 209

მარსი — მზიდან დაშორების მიხედვით მეოთხე პლანეტა მზის სისტემაში. სრულ შემოვლას მზის გარშემო ანდომებს ერთ წელიწადსა და 11 თვეს. — 182, 266 — 269, 275, 313, 420

მარსის დიდი პირისპირდგომა — იხ. მარსის პირისპირდგომა.

მარსის პირისპირდგომა — მარსის მდებარეობა ორბიტაზე, როცა ის და დედამიწა მზიდან ერთ მხარეს არიან მოქცეული და დაახლოებით ერთ სწორ ხაზზე დგანან. თუ პირისპირდგომა მაშინ მოხდება, როცა ეს მანძილი უმცირესია (55,5 მლნ კმ), მას დიდი ეწოდება; ამ დროს ძალიან კარგი პირობები იქმნება მარსზე დაკვირვებების ჩასატარებლად. დიდი პირისპირდგომები ყოველ 15—17 წელიწადში მეორდება. — 266

მარტინოვი, დიმიტრი იაკობის ძე (დაიბ. 1906) — საბჭოთა ასტრონომი, ცვალებად ვარსკვლავთა, ვარსკვლავთშორისი გარემოსა და პლანეტების მკვლევარი. — 222

მარჩბივი — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

მენისკური ტელესკოპი — სარკე-ლინზიანი ტელესკოპი; მისი ოპტიკური სისტემა შედგება სფერული ჩაზნექილი სარკისა და ამოზნექილ-ჩაზნექილი ლინზის — მენისკისაგან; შეიმუშავა დ. მაკსუტოვმა. — 213, 219, 407

მეორე კოსმოსური სიჩქარე — სხეულის მინიმალური სიჩქარე დედამიწის სიახლოვეს, რომლის მიღწევის შემდეგაც იგი სძლევს დედამიწის მიზიდულობასა და სამუდამოდ სცილდება მას; უდრის 11,2 კმ/წმ. — 347, 351

მეორე საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა („მთვარე-2“) — გაუშვეს 1959 წ. 12 სექტემბერს; კაცობრიობის ისტორიაში მან პირველად მიაღწია სხვა ციურ სხეულს—მთვარეს. — 433

მერკური — მზის სისტემის პლანეტა, რომელიც ყველაზე ახლოსაა მზესთან; მზისკენ ყოველთვის ერთი და იმავე მხრითაა მიქცეული. — 182, 262 — 263, 268, 269, 275

მერწყული — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

მესამე საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა („მთვარე-3“) — 1959 წ. 4 ოქტომბერს ორბიტაზე გაიყვანა ავტომატური საპლანეტათშორისო სადგური, რომელმაც მთვარეს შემოუარა და მისი უკანა მხარე გადაიღო. მიღებული გამოსახულება სატელევიზიო სისტემის საშუალებით გადმოიცა დედამიწაზე. — 239, 245, 340, 349

მესიე, შარლი (1730 — 1817) — ფრანგი ასტრონომი, კომეტების მკვლევარი, 1784 წ. შეადგინა ნისლეულებისა და ვარსკვლავთ გროვების პირველი კატალოგი. — 301

მესტლინი, მიხაელი (1550 — 1631) — ავსტრიელი მათემატიკოსი და ასტრონომი, კეპლერის მასწავლებელი, კოპერნიკის სისტემის მიმდევარი. — 196

მეტაგალაქტიკა — ვარსკვლავთ სისტემების (გალაქტიკების) და გალაქტიკების გროვების გრანდიოზული ერთობლიობა. ყველაზე მძლავრი ტელესკოპებით ხილული ვარსკვლავთ სისტემები მეტაგალაქტიკის მხოლოდ ნაწილს წარმოადგენს, რადგან საკუთრივ მეტაგალაქტიკის საზღვრები ჯერჯერობით დაკვირვებისათვის მიუწვდომელია. თვით მეტაგალაქტიკა უსასრულო სამყაროს უმნიშვნელო ნაწილია. — 310

მეტეორები — ციური მოვლენა, რომელსაც ხალხში „ვარსკვლავების ვარდნას“ უწოდებენ. მეტეორების წარმოშობა ღაკავშირებულია დედამიწის ატმოსფეროში საპლანეტათშორისო სივრციდან უწვრილესი მყარი ნაწილაკების შემოფრენასთან, რომლებიც ჰაერში იწვიან. ძალიან კაშკაშა მეტეორებს ბოლიდებს (იხ.) უწოდებენ. მეტეორებზე დაკვირვებას დიდი მნიშვნელობა აქვს ატმოსფეროს ზედა ფენების ფიზიკური მდგომარეობის შესწავლისათვის. — 282 — 285, 321

მეტეორების რადიოლოკაცია — მეტეორების კვლევის მეთოდი, რომელიც ანალოგიურია მთვარისა და პლანეტების რადიოლოკაციისა (იხ.). ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა მეტეორების შესწავლა დღე-ღამის ნებისმიერ დროს და ნებისმიერ ამინდში ჩატარდეს. — 218, 281

მეტეორიტების წარმოშობა. — 289 — 290

მეტეორიტები — ქვები ან რკინის ნაჭრები, რომლებიც დედამიწაზე საპლანეტათშორისო სივრციდან ცვივა. მეტეორიტები იმავე ქიმიური ელემენტებისგან შედგებიან, რომლებიც დედამიწის შემადგენლობაში გვხვდება. — 279, 285 — 290

მეტეორიტული კრატერები — ჩაღრმავებები (ხშირად დიდი ზომის) დედამიწის ზედაპირზე, რომლებიც წარმოიქმნებიან გიგანტური მეტეორიტების ვარდნის შედეგად (იხ. არიზონის მეტეორიტული კრატერი). — 287

მეტეორიტული წვიმა — დედამიწის ზედაპირის არცთუ ისე დიდ ფართობზე ერთბაშად ბევრი ცალკეული მეტეორიტის ცვენა. ეს მეტეორიტები წარმოშობილია ერთი დიდი მეტეორიტის ჰაერში დაშლის შედეგად. — 288

მეტეორული ნაკადი—ბევრი მეტეორის პერიოდული გამოჩენა ცაზე. აიხსნება დედამიწის შეხვედრით მეტეორული ნაწილაკების გროვასთან. ხანდახან დედამიწა მეტეორული გროვის ორბიტის გადაკვეთისას მის უფრო მკვრივ ნაწილში ექცევა და მაშინ ვარსკვლავთ წვიმა შეინიშნება. — 279, 283—284

მეტონე (დაახლ. 460 ძვ. წ. — გარდაცვალების წელი არ არის ცნობილი). — ძველი ბერძენი ასტრონომი და მათემატიკოსი; მის შრომებს დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა კალენდრის შედგენისათვის. — 430

მზე — ჩვენი უახლოესი ვარსკვლავი, ცენტრალური სხეული მზის სისტემაში; დედამიწიდან დაშორებულია 149,5 მლნ კმ. (უკანასკნელი რადიოლოკატორული მონაცემებით 149,599 000 ± 500 კმ), — 214, 248—255, 291 — 292 — 293, 296, 310 — 314, 316 — 317, 320, 365, 386 — 387

მზის ანთებები — აქტიურ უბანში მოქცეული მზის ქრომოსფეროს რომელიმე უბნის სიკაშკაშის მკვეთრი და სწრაფი ზრდა; აფეთქებებს თან ახლავს მზის მოკლეტალღოვანი გამოსხივებისა და დამუხტული ნაწილაკების ნაკადების ზრდა. — 253

მზის აქტივობის პერიოდულობა, — 254

მზის დაბნელება — ციური მოვლენა, გამოწვეული იმით, რომ მთვარე დედამიწის ირგვლივ გარემოქცევისას დედამიწასა და მზეს შორის გადის და მზის დისკოს ეფარება. დაბნელებები შეიძლება მოხდეს სრული, რგოლისებური და ნაწილობრივი. — 255 — 261, 431

მზის დანადგარები — მოწყობილობები, რომლებიც უშუალოდ მზის ენერგიას იყენებენ სახალხო მეურნეობის საჭიროებისათვის. — 322

მზის კალენდარი — კალენდრის სისტემა, რომელსაც საფუძვლად უდევს მზის წლის ხანგრძლიობა. ამჟამად მსოფლიოს უმეტეს ქვეყანაში ხმარობენ. — 327

მზის კორონა (გვირგვინი) — მზის ატმოსფეროს ყველაზე გარეთა ნაწილი. მზის სრული დაბნელებებისას კორონა მოვერცხლისფრო-მარგალიტისებრი ციაგის სახით აკრავს გარს მთვარით დაფარულ მზის დისკოს. — 260, 351 — 353

მზის ლაქები — მაგნიტური ზემოქმედების ქვეშ მყოფი შედარებით ცივი გაზების ძაბრისებური უბნები მზის ზედაპირზე. წლის განმავლობაში ლაქების რაოდენობა იცვლება. ყველაზე ნაკლები რაოდენობის ლაქები მზეზე ყოველი 11 წლის შემდეგ შეინიშნება. — 252 — 253

მზის სისტემა, ანუ პლანეტების სისტემა — მზის მიზიდულობის ძალით მზის ირგვლივ მბრუნავი ციური სხეულების — პლანეტების, ასტეროიდების, კომეტებისა და სხვ. ერთობლიობა. — 238 — 290

მზის სისტემის წარმოშობა. — 310 — 318

მზის ფოტოსფერო — მზის ხილული ზედაპირი. — 251

მთვარე — დედამიწის თანამგზავრი. მისი რადიუსი ოთხმოცდაათი აღემატება დედამიწის რადიუსის 1/4-ს. მოცულობით 50-ჯერ ნაკლებია დედამიწაზე. მთვარე ჩვენსკენ მუდამ ერთი და იმავე მხრითაა მოქცეული; მასზე ატმოსფერო არ არის. — 239 — 248, 268 — 269

მთვარე-მზის კალენდარი — კალენდრის სისტემა, რომელშიც სცადეს ერთმანეთთან შეეთანხმებინათ დროის სამი ბუნებრივი ერთეული — (იხ.) წელიწადი, (იხ.) თვე, (იხ.) დღე-ღამე. — 326

მთვარის დაბნელება — ციური მოვლენა, რაც გამოწვეულია იმით, რომ დედამიწის ირგვლივ გარემოქცევისას მთვარე დედამიწის ჩრდილში ექცევა და უჩინარდება. — 259 — 260, 432

მთვარის ზედაპირი. — 242 — 248

მთვარისა და პლანეტების რადიოლოკაცია — კვლევის მეთოდი, რომლის დროსაც ციური სხეულებისაკენ მიმართავენ მოკლე რადიოტალღების ვიწრო კონას. მათ მიერ არეკლილი რადიოსხივები აღინუსხება. ამის მიხედვით შეიძლება მანძილების განსაზღვრა და მთვარისა და პლანეტების ზოგი ფიზიკური თვისებების დადგენა; უკვე ჩატარებულია მთვარის, მერკურის, ვენერას, მარსისა და იუპიტერის რადიოლოკაცია. — 218, 265

მთვარის „ზღვები“ — ვრცელი დაბლობი ადგილები მთვარეზე, რომლებშიც სრულებით არ არის წყალი. — 242

მთვარის კალენდარი — კალენდრის სისტემა, რომელსაც საფუძვლად უდევს მთვარის თვე (იხ.). — 326

მთვარის კრატერები — წესიერი რგოლის სახის მთიანი ქედები, რომლებიც სწორ მოედნებს აკრავს გარს. ამ მოედნის ცენტრში აღმართულია კონუსური მთა. — 245

მთვარის უკანა მხარე. — 244 — 245

მთვარის ფაზები — მთვარის ხილული ნაწილის სხვადასხვა ფორმები. არჩევენ ოთხ ძირითად ფაზას: ახალმთვარეობა — მთვარე უხილავია; პირველი მეოთხედი — ჩანს მთვარის დისკოს ნახევარი; სავსემთვარეობა — მთვარის დისკო მთლიანადაა განათებული; უკანასკნელი მეოთხედი — ჩანს ისევ მთვარის დისკოს ნახევარი. — 241, 242, 325

მთვარის ცირკები — რგოლისებური მოყვანილობის მთები მთვარეზე, რომლებსაც კრატერებისაგან განსხვავებით ცენტრალური მთა არ გააჩნია. — 244

მიმასი — სატურნის თანამგზავრი. — 430

მირანდა — ურანის თანამგზავრი. — 430

მიცარი — შუა ვარსკვლავი დიდი დათვის თანავარსკვლავედის ჩამჩის ტარში; ალკორთან (იხ.) ერთად ქმნის ორჯერად ვარსკვლავს. — 232—233, 295 — 296

მიხაილოვი, ალექსანდრე ალექსანდრეს ძე (დაიბ. 1888) — საბჭოთა ასტრონომი, აკადემიკოსი 1947 წლიდან. პულკოვოს ობსერვატორიის დირექტორი 1947 წლიდან 1964 წლამდე. — 220, 258, 381

მოქცევები და უკუქცევები — წყლის პერიოდული შემოტევა და უკანდახევა ოკეანეების სანაპიროებზე. გამოწვეულია მთვარისა და მზის მიერ დედამიწის მიზიდულობით. — 205 — 208, 321

მრკოსი ა. — ჩეხი ასტრონომი; აღმოაჩინა მრავალი კომეტა. — 276

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი — კანონი, რომლის მიხედვითაც ნებისმიერი ორი სხეული ერთმანეთს იზიდავს. მათი მიზიდვის ძალა პირდაპირ პროპორციულია მიმზიდველი სხეულების მასისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა. ეს კანონი აღმოაჩინა ინგლისელმა მეცნიერმა ი. ნიუტონმა (იხ.) 1687 წ. — 200 — 205, 350, 364, 433

მუსტელი, ევალდ რუდოლფის ძე (დაიბ. 1911)—საბჭოთა ასტროფიზიკოსი, ვარსკვლავთ ატმოსფეროების, ახალი ვარსკვლავებისა და მზის მკვლევარი. — 220

მშვილდოსანი — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

მცირე პლანეტები ანუ ასტეროიდები — მზის სისტემაში შემავალი პატარა სხეულები; მათი განივკვეთები უდრის 800-დან 1 — 2 კმ-ს და უფრო ნაკლებს. მზის ირგვლივ იმავე კანონებით მოძრაობენ, როგორითაც პლანეტები; მცირე პლანეტების უმეტესობა მზის ირგვლივ მოძრაობს მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შუა მოქცეულ არეში. ზოგ მათგანს (მაგალითად, იკაროსს, ჰერმესს) ძალზე გაჭიმული ორბიტები აქვთ და ხანდახან მზესთან დედამიწაზე და მერკურიზე ახლოსაც კი აღმოჩნდებიან ხოლმე. — 275 — 276, 289, 429

ნ

ნაკიანი წელიწადი. — 328 — 329

ნამატი საათი — საათებსა და წუთებში გამოხატული სიდიდე, რომელიც ახასიათებს მოქცევის უმაღლესი დონის საშუალო დაგვიანებას მთვარის კულმინაციის (იხ.) მიმართ. — 207

ნასირედინ ტუსი, მუჰამედი (1201 — 1274) — აზერბაიჯანელი ასტრონომი და მათემატიკოსი; დააარსა ობსერვატორია ქ. მარაგაში; შეადგინა თავისი დროისათვის მეტად მნიშვნელოვანი ვარსკვლავთ კატალოგი. — 186—187

ნეიმანის ხაზები—წვრილი, სწორი ხაზებისაგან გამოყვანილი ნაყში, რომელიც ჩნდება რკინის ზოგი მეტეორიტის ზედაპირზე მჟავის გავლენით; ასე ეწოდა მეტეორიტების მკვლევარის, გერმანელი მეცნიერის — ნეიმანის სახელის მიხედვით. — 289

ნეპერი, ჯონი (1550 — 1617) — შოტლანდიელი მათემატიკოსი, ლოგარითმების გამომგონებელი. — 364

ნეპტუნი — მზიდან მერვე პლანეტა მზის სისტემაში; აღმოაჩინა 1846 წ. გერმანელმა ასტრონომმა გალემ ლევერიეს გამოთვლების საფუძველზე. — 272, 382

ნერეიდა — ნეპტუნის თანამგზავრი. — 430

ნეუიმინი, გრიგოლ ნიკოლოზის ძე (1886 — 1946) — საბჭოთა ასტრონომი; 1944 — 1946 წწ. პულკოვოს ობსერვატორიის დირექტორი. — აღმოაჩინა 63 მცირე პლანეტა და 7 კომეტა. — 274, 381

ნიკოლაევა-ტერეშკოვა, ვალენტინა ვლადიმერის ასული (დაიბადა 1937) — პირველი ქალი მსოფლიოში, რომელიც კოსმოსს ეწვია. 1963 წ. 16 ივნისს გაშვებული კოსმოსური ხომალდით „აღმოსავლეთი-6“ 71 საათი იფრინა, 48-ჯერ შემოუარა დედამიწას და გაიარა დაახლოებით 2000 ათასი კმ. — 180, 344, 434

ნიკოლაევი, ანდრიანე გრიგოლის ძე (დაიბ. 1929) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი. 1962 წ. 11 აგვისტოს გაშვებული კოსმოსური ხომალდით „აღმოსავლეთი-3“ 94 საათი და 22 წუთი იფრინა, 64-ჯერ შემოუარა დედამიწას და გაიარა დაახლოებით 2640 ათასი კმ. — 180, 342, 434

ნიკოლოზ კუზანსკი (1401 — 1464) — აღორძინების ეპოქის ფილოსოფოსი და მეცნიერი, რომელმაც გამოთქვა აზრი, რომ დედამიწა მოძრაობს და ის არ წარმოადგენს სამყაროს ცენტრს. კუზანსკი კოპერნიკის ერთ-ერთი წინამორბედი იყო. — 191

ნიკონოვი, ვლადიმერ ბორისის ძე (დაიბ. 1905) — საბჭოთა ასტრონომი, ვარსკვლავთ ფერებისა და სპექტრების მკვლევარი, მთელი რიგი ასტრონომიული ხელსაწყოების კონსტრუქტორი, ასტრონომიაში ელექტროხელსაწყოების გამოყენების ერთ-ერთი პიონერი. — 220

ნიუტონი, ისააკ (1643 — 1727) — ინგლისელი მათემატიკოსი, ფიზიკოსი, ასტრონომი; აღმოაჩინა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი, ახსნა მოქცევებისა და უკუქცევების მიზეზი. — 190, 198 — 205, 239, 322, 345, 348, 364, 433

ო

ობერონი — ურანის თანამგზავრი. — 430

ობიექტივი — ერთი ან რამდენიმე ლინზისაგან შემდგარი ოპტიკური სისტემა, რომლის საშუალებითაც შეიძლება საგნის გადიდებული გამოსახულების მიღება. იყენებენ ტელესკოპ-რეფრაქტორებში. — 241, 402

 okულარი — ტელესკოპის ნაწილი, რომლითაც ათვალიერებენ ობიექტივის მიერ შექმნილ გამოსახულებას; ჩვეულებრივ, რამდენიმე ლინზისაგან შედგება. — 241, 402, 403

ოლბერსი, ჰენრიხ ვილჰელმი (1758 — 1840) — გერმანელი ასტრონომი, კომეტებისა და მცირე პლანეტების მკვლევარი; წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომ მცირე პლანეტები წარმოშობილია მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის მდებარე დიდი პლანეტის დაშლის შედეგად. — 377

ოორტი, იან ხენდრიკი (დაიბ. 1900) — თანამედროვე ჰოლანდიელი ასტრონომი; 1927 წ. საბოლოოდ დაამტკიცა, რომ ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემა—გალაქტიკა ბრუნავს თავისი ცენტრალური ვარსკვლავთ შემკვრივების (გალაქტიკის ბირთვის) ირგვლივ. — 282, 301, 433

ორი სხეულის ამოცანა — ცის მექანიკის პრობლემა, რომელიც დაკავშირებულია ურთიერთმიზიდულობის ძალის გავლენის ქვეშ მყოფი გარკვეული მასის მქონე ორი სფერული სხეულის მოძრაობის განსაზღვრასთან. — 348

ორლოვი, ალექსანდრე იაკობის ძე (1880 — 1954) — საბჭოთა ასტრონომი; მისი ძირითადი ნაშრომები ეხება ცის მექანიკას, სიმძიმის ძალისა და დედამიწის პოლუსების მოძრაობის (იხ.) კვლევას. — 222

ორლოვი, სერგეი ვლადიმერის ძე (1880 — 1958) — საბჭოთა ასტრონომი; იკვლევდა კომეტების ფიზიკურ ბუნებას, მათ წარმოშობასა და კავშირს მცირე პლანეტებსა და მეტეორებთან. — 229, 278

ორჯერადი ვარსკვლავები — სისტემები, რომლებიც ორორი ვარსკვლავისაგან შედგება. ორივე ვარსკვლავი საერთო სიმძიმის ცენტრის ირგვლივ ბრუნავს. ჩვეულებრივ, ყოველ წყვილში ერთი ვარსკვლავი უფრო კაშკაშაა და მას მთავარ ვარსკვლავს უწოდებენ, მეორეს კი — მის თანამგზავრს (მაგალითად, მიცარი და მისი თანამგზავრი ალკორი). სისტემებს, რომლებიც სამი, ოთხი და უფრო მეტი ვარსკვლავისაგან შედგება, ჯერადი ვარსკვლავები ეწოდება. — 295 — 296, 371

პ

პალადა — ზომების მიხედვით მეორე მცირე პლანეტა, რომელიც აღმოაჩინა ოლბერსმა (იხ.) 1802 წ. — 274, 429

პალასი, პეტრე სიმონი (1741 — 1811) — რუსი ბუნებისმკვლევარი; პეტერბურგში ჩამოიტანა ციმბირში ნაპოვნი მეტეორიტი, რომელსაც „პალასის რკინა“ ეწოდა. — 285

პარალაქსი ვარსკვლავების, ანუ წლიური — კუთხე, რომლითაც ამა თუ იმ ვარსკვლავიდან დედამიწის ორბიტის რადიუსი გამოჩნდებოდა (149500 ათასი კმ). მანძილს, რომელზეც ეს კუთხე ერთ წამს უდრის (დაახლოებით 31 ტრილიონი კმ), ეწოდება პარსეკი და წარმოადგენს მანძილების საზომს სამყაროს შორეულ სიღრმეებამდე. პარსეკი უდრის 3,26 სინათლის წელს. — 376

პარენაგო, პავლე პეტრეს ძე (1906 — 1960) — საბჭოთა ასტრონომი; ჩაატარა მნიშვნელოვანი გამოკვლევები გალაქტიკის აგებულებაზე, ცვალებად ვარსკვლავებზე, ვარსკვლავთ სისტემების დინამიკაზე, კომპლექსურად გამოიკვლია ორიონის თანავარსკვლავედის ნისლეულის არე. — 221

პარსონსი (ლორდი როსი), უილიამი (1800 — 1867) — ინგლისელი ასტრონომი; 1845 წ. ააგო იმდროისათვის გიგანტური რეფლექტორი, რომელსაც 182 სმ დიამეტრიანი სარკე ჰქონდა. ამ რეფლექტორის დახმარებით გამოიკვლია ბევრი გარეგალაქტიკური ნისლეული. — 366, 371

პეგასი — ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თანავარსკვლავედი; ჩანს ზაფხულის მიწურულში, შემოდგომაზე და ზამთრის დასაწყისში. — 233

პერსევსი — ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თანავარსკვლავედი; ჩანს თითქმის მთელი წელიწადი გვიანი გაზაფხულის გარდა. მასში შედის ცვალებადი ვარსკვლავი ალგოლი (იხ.) — 233, 234

პიაცი, ჯუზეპე (1746 — 1826) — იტალიელი ასტრონომი; აღმოაჩინა პირველი მცირე პლანეტა ცერერა. — 274, 433

პითაგორე (დაახლ. 580 — 500 წწ. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი მათემატიკოსი და ფილოსოფოსი. — 183

პიკარი, ჟანი (1620 — 1682) — ფრანგი ასტრონომი; გაზომა დედამიწის მერიდიანის რკალი პარიზსა და ამიენს შორის, რის შედეგადაც შესაძლებელი გახდა დედამიწის ზომების უფრო ზუსტად განსაზღვრა. — 202

პიკერინგი, ედუარდი (1846 — 1919)—ამერიკელი ასტრონომი; შუშაობდა ცვალებადი ვარსკვლავების კვლევაზე. მას ეკუთვნის აგრეთვე ყველა ასტრონომის მიერ აღიარებული ვარსკვლავთ სპექტრების კლასიფიკაცია. — 388 — 390

პირველი კოსმოსური სიჩქარე — როგორც კი სხეულის სიჩქარე დედამიწის ზედაპირის სიახლოვეს 7,9 კმ/წამ მიაღწევს, იგი წრიული ორბიტის მქონე ხელოვნურ თანამგზავრად იქცევა. — 346

პირველი საბჭოთა კოსმოსური რაკეტა („ოცნება“ ანუ „მთვარე-1“) — გაუშვეს 1959 წ. 2 იანვარს; გაიარა 5 — 6 ათას კმ-ზე მთვარიდან და ხელოვნურ პლანეტად იქცა. მისი გაშვებისას კაცობრიობის ისტორიაში პირველად გადალახეს მეორე კოსმოსური სიჩქარე (იხ.). — 239, 339, 347, 355

პირველი ჯგუფური გაფრენა კოსმოსში — საბჭოთა კავშირის მფრინავი-კოსმონავტების ა. ნიკოლაევისა და პ. პოპოვიჩის ფრენა კოსმოსში 1962 წ. 11—15 აგვისტოს.—342

„პლანეტარიუმი“ — საპროექციო აპარატი, რომლის საშუალებითაც გამოსახავენ ვარსკვლავიერი ცის სურათსა და ციურ სხეულთა მოძრაობას. პლანეტარიუმებს უწოდებენ აგრეთვე სამეცნიერო-განმანათლებელ დაწესებულებებს, რომლებშიც დგამენ აპარატ „პლანეტარიუმს“ და მოსახლეობას შორის ასტრონომიულ ცოდნას ავრცელებენ. — 423—427

პლანეტები — ციური სხეულები, რომლებიც შედიან მზის სისტემაში და, უდავოა, სხვა ვარსკვლავთ სისტემებშიც არსებობენ. აქვთ სფეროსებური ფორმა. მზის სისტემის პლანეტები თავიანთი ზედაპირიდან არეკლილი მზის სინათლის ხარჯზე ანათებენ. — 265 — 275

პლანეტების თანამგზავრები — ციური სხეულები, რომლებიც ბრუნავენ პლანეტების ირგვლივ მათი მიზიდულობის ძალის გავლენით. ანათებენ თავიანთი ზედაპირიდან არეკლილი მზის სინათლით. დედამიწის თანამგზავრია მთვარე. — 269 — 274, 430

პლანეტმსგავსი ნისლეულები — მრგვალი ფორმის ნისლეულები, რომლებიც ტელესკოპში პლანეტის დისკოს მსგავსი მრგვალი დისკოს სახით ჩანს; ხანდახან რგოლის სახე აქვთ, რომლის ცენტრშიც კაშკაშა ვარსკვლავია მოქცეული; შედგება ძალზე გაიშვიათებული გაზისაგან. ასეთი გაზოვანი ნისლეულის შიგნით ყოველთვის არის ცხელი ვარსკვლავი. — 305

პლეადები (ხომლი) — ვარსკვლავთ გროვა; ეკუთვნის გაბნეულ გროვათა ტიპს, მდებარეობს კუროს თანავარსკვლავედში. — 301, 303

პლუტონი — მზის სისტემის მეცხრე, მზიდან ყველაზე მეტად დაშორებული პლანეტა. 1930 წ. აღმოაჩინა ასტრონომმა ტომბომ (აშშ). — 213, 272, 274

პოლარული ვარსკვლავი — ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი პატარა დათვის თანავარსკვლავედში. პოლარული ეწოდა იმიტომ, რომ სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსის ახლოს მდებარეობს. სიკაშკაშით მე-2 ვარსკვლავიერი სიდიდისაა. — 235, 321

პოლარული ნათება — ცის ელექტრული ნათება ღამით, რაც ყველაზე ხშირად დედამიწის პოლარულ უბნებში შეინიშნება. — 413

პოლუსების მოძრაობის სამსახური — განედურ სადგურთა ქსელი, რომელიც თვალყურს ადევნებს პოლუსების გადაადგილებას დედამიწის ზედაპირზე. — 319

პოპოვიჩი, პავლე რომანის ძე (დაიბ. 1930) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი; 1962 წ. 12 აგვისტოს გაშვებული კოსმოსური ხომალდით „აღმოსავლეთი-4“ 70 საათი და 57 წუთი იფრინა, 48-ჯერ შემოუარა დედამიწას და გაიარა 1980 ათასი კმ. — 180, 342, 434

პროტუბერანცები—უცნაური ფორმის და ხანდახან სწრაფად ცვალებადი უზარმაზარი შვერილები მზის ატმოსფეროში; შედგება გავარვარებული გაზებისაგან. — 254

პროციონი—პატარა ჭოფჩის თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი. იგი ორჯერადი ვარსკვლავია, ჰყავს თანამგზავრი, რომელიც თეთრ ჯუჯას წარმოადგენს. — 378

პტოლემე, კლავდიუსი — ძველი ბერძენი ასტრონომი, რომელიც ალექსანდრიაში მუშაობდა II ს. ახ. წ. დაამუშავა სამყაროს გეოცენტრული სისტემა, რომელიც 1543 წ. გამოქვეყნებულ კოპერნიკის უდიდეს აღმოჩენამდე ბატონობდა მეცნიერებაში. — 185, 186, 191, 433

პულკოვოს ობსერვატორია — საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის მთავარი ასტრონომიული ობსერვატორია, რომელიც მსოფლიოში ერთ-ერთი უდიდესია, უწოდებდნენ „მსოფლიოს ასტრონომიულ დედაქალაქს“. გაიხსნა 1839 წ. — 180, 219 — 220, 380, 381, 433

ჟ

ჟანსენი, პიერი (1824 — 1907) — ფრანგი ასტრონომი, ასტრონომიაში სპექტრული ანალიზის გამოყენების ერთ-ერთი პიონერი. — 386, 433

რ

რადიანტი — წერტილი ცის თაღზე, საიდანაც (როგორც დედამიწიდან დამკვირვებელს ეჩვენება) მოფრინავენ მეტეორები, როცა დედამიწა მეტეორულ ნაკადს ხვდება.—263

რადიოასტრონომია — ცის სხეულთა და სამყაროს სიღრმეების გამოსაკვლევი მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს სამყაროს სივრციდან დედამიწაზე მოსული რადიოტალღების შესწავლა. — 216 — 218

რადიოტელესკოპები — კოსმოსური რადიოგამოსხივების გამოსაკვლევი ხელსაწყოები. წარმოადგენს გამოსხივების მიმღებ ანტენასთან შეერთებულ ძალზე მაღალი მგრძნობიარობის რადიომიმღებს. რადიოტელესკოპების ანტენები თავიანთი დანიშნულებით რეფლექტორების სარკეების მსგავსია და ხანდახან გიგანტურ ზომებს აღწევს. მაგალითად, ჯოდრელ ბენკში (ინგლისი) საკვლევი სადგურის მოძრავი ანტენა წარმოადგენს ლითონის სარკეს, რომლის დიამეტრი 76 მ უდრის. — 217 — 218

რაიტი, თომასი (1711 — 1786) — ინგლისელი ასტრონომი, წამოაყენა საინტერესო იდეები ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის აგებულების შესახებ. — 371

რეა — სატურნის თანამგზავრი. — 430

რეგმაგლიპტები — ატმოსფეროს ზემოქმედების შედეგად გაჩენილი ჩაღრმავებები მეტეორიტის ზედაპირზე. — 285

რესელი, ჰენრი ნორისი (1877 — 1957) — ამერიკელი ასტრონომი, მნიშვნელოვან გამოკვლევათა ავტორი ასტროფიზიკაში, ვარსკვლავთ ასტრონომიასა და კოსმოგონიაში; საბოლოოდ დაადგინა დამოკიდებულება ვარსკვლავთ ბრწყინვალებასა და მათ სპექტრულ კლასს შორის. — 390 — 391

რეფლექტორი — ტელესკოპი, რომელშიც ცის მნათობთა გამოსახულება ჩაზნექილი სარკიდან არეკვლის დახმარებით მიიღება. — 212, 213, 369, 371, 405

რეფრაქტორი — ტელესკოპი, რომელშიც ცის მნათობთა გამოსახულება მიიღება ლინზური ობიექტივის დახმარებით. წარმოქმნილი გამოსახულება შეიძლება თვალით დავინახოთ okულარში ან მისი ფოტოსურათი გადავიღოთ. უკანასკნელ შემთხვევაში რეფრაქტორს ასტროგრაფს უწოდებენ. — 212, 213, 403

რიგელი — ორიონის თანავარსკვლავედის ყველაზე კაშკაშა, ნულოვანი ვარსკვლავიერი სიდიდის თეთრი ფერის ვარსკვლავი. ბრწყინვალების მიხედვით ზეგიგანტია. მისი ბრწყინვალება 23 ათასჯერ აღემატება მზის ბრწყინვალებას. — 430

რკინა-ქვის მეტეორიტები. — 290

რკინის მეტეორიტები. — 290

ს

საათი — დროის შესანახი და გასაზომი ხელსაწყო. არსებობს მზის, ქანქარიანი, მექანიკური, კვარცის, ატომური და სხვ. საათები. — 216

სავსემთვარეობა. — იხ. მთვარის ფაზები.

სამყარო — ჩვენი გარემომცველი ქვეყნიერება, უსასრულო სივრცეში, დროში, თავისი შემადგენელი ნივთიერებების ფორმების მრავალფეროვნებითა და გარდაქმნებით.—307, 310

სამყაროს გეოცენტრული სისტემა (პტოლემეს სისტემა) — უძველეს დროსა და შუა საუკუნეებში გაბატონებული მცდარი მოძღვრება, რომელიც ამტკიცებდა, რომ დედამიწა უძრავია, ხოლო მზე, მთვარე, პლანეტები და ვარსკვლავები მის ირგვლივ ბრუნავენ; ეს მოძღვრება უარყო კოპერნიკმა, რომელმაც დაადგინა, რომ დედამიწა მზის სისტემის ერთ-ერთი პლანეტაა. — 185, 186, 191, 195

სამყაროს კოპერნიკისეული სისტემა — იხ. სამყაროს ჰელიოცენტრული სისტემა.

სამყაროს პოლუსი — სამყაროს წარმოსახვითი ღერძის გადაკვეთა ცის წარმოსახვით თაღთან. ჩრდილოეთი პოლუსი მდებარეობს პატარა დათვის თანავარსკვლავედში, პოლარული ვარსკვლავის მახლობლად; სამხრეთი პოლუსი — ოქტანტის თანავარსკვლავედში. — 235

სამყაროს პტოლემესეული სისტემა — იხ. სამყაროს გეოცენტრული სისტემა.

სამყაროს ღერძი — დედამიწის ბრუნვის ღერძის პარალელური წარმოსახვითი სწორი ხაზი, რომლის ირგვლივაც წარმოებს ცის ხილული დღეღამური ბრუნვა. — 235

სამყაროს ჰელიოცენტრული სისტემა (კოპერნიკის სისტემა) — კოპერნიკის მიერ დასაბუთებული მოძღვრება, რომლის თანახმადაც დედამიწა ერთ-ერთი პლანეტაა, რომელიც მზის — პლანეტათა სისტემის ცენტრის — ირგვლივ ბრუნავს; ეს მოძღვრება დაედო საფუძვლად ახალი ასტრონომიის განვითარებას. — 191, 192, 193, 195

საპლანეტათშორისო გაზი—გაიშვიათებული გაზოვანი რემო, რომლითაც მზის სისტემაა შევსებული. — 354—

საროსი — მზისა და მთვარის დაბნელებათა გამეორების პერიოდი (ძველეგვიპტურად „საროსი“ „გამეორებას“ ნიშნავს). უდრის 18 წელსა და 11 დღეს (ან 10 დღეს, თუ ამ ხანში 5 ნაკიანი წელიწადი გამოერევა). საროსი ცნობილი იყო ჯერ კიდევ უძველესი დროის ასტრონომებისათვის. — 258, 261

სასკოლო ტელესკოპი. — 402 — 403, 408

სასწორი — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

სატურნი — მზიდან დაშორების მიხედვით მეექვსე პლანეტა მზის სისტემაში. ჰყავს ცხრა თანამგზავრი, რომელთაგანაც ყველაზე დიდია ტიტანი. — 182, 270 — 272, 313, 420

სატურნის რგოლები — წარმონაქმნი პლანეტა სატურნის ირგვლივ, რომელიც შედგება აურაცხელი რაოდენობის წვრილი ნაწილაკისაგან. ნაწილაკები ბრუნავენ პლანეტის ირგვლივ კეპლერის კანონების თანახმად. რგოლების სისქე 15 კმ ნაკლებია, გარეთა ნაპირის განივკვეთი 275 ათას კმ უდრის. — 270, 387 — 388

სახალხო ობსერვატორიები — მოყვარულთა ობსერვატორიები, რომლებსაც ხშირად სახალხო მშენებლობის მეთოდით აგებენ. — 410

სევერნი, ანდრეი ბორისის ძე (დაიბ. 1913) — საბჭოთა ასტრონომი; მისი ძირითადი შრომები ეხება მზის ფიზიკას და ვარსკვლავების შინაგან აგებულებას. საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ყირიმის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორი. — 220

სეკი, ანჯელო (1818 — 1878) — იტალიელი ასტრონომი; ერთმა პირველთაგანმა შეისწავლა ვარსკვლავების, მზისა და პლანეტების სპექტრები. — 386 — 389

სიდერული (ანუ ვარსკვლავიერი) თვე — იხ. თვე.

სიზიგიები — ახალმთვარეობა და სავსემთვარეობა. — 207

სინათლის ვარსკვლავთშორისი შთანთქმა — შორეულ ვარსკვლავთა ხილული სიკაშკაშის შესუსტება, რაც გამოწვეულია მტვეროვანი მატერიის ბნელი ღრუბლებით, რომლებშიაც ვარსკვლავთშორისი სივრცეების მნიშვნელოვანი ნაწილია ამოვსებული. — 380

სინათლის წელი — მანძილის ერთეული ასტრონომიაში; აღნიშნავს მანძილს, რომელსაც სინათლე 300 ათასი კმ/წმ სიჩქარით გავრცელებისას ერთ წელიწადში გადის. სინათლის წელი უდრის 63290 ასტრონომიულ ერთეულს, ანუ 9,5 ტრილიონ კილომეტრს. — 198, 430

სინათლის წნევა — სინათლის მექანიკური მოქმედება მისი გავრცელების გზაზე მყოფ ნაწილაკებზე. მყარ სხეულებზე და გაზებზე სინათლის წნევა პირველად აღმოაჩინა და გაზომა რუსმა ფიზიკოსმა პ. ლებედევმა (იხ.) 1899 — 1909 წლებში. — 281

სინოდური თვე — იხ. თვე.

სირიუსი — ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკელავი. ჰყავს თეთრი ჯუჯა თანამგზავრი. — 231, 292, 296, 327—328, 378

სირიუსის თანამგზავრი — (იხ.). თეთრი ჯუჯა. — 294

სიცოცხლის პრობლემა მარსზე. — 267 — 268

სიხოტე-ალინის მეტეორიტი — 1947 წ. 12 თებერვალს შორეულ აღმოსავლეთში, სიხოტე-ალინის ქედის რაიონში ჩამოვარდნილი რკინის მეტეორიტი. შეგროვილია ამ მეტეორიტის დაახლოებით 23 ტ ნივთიერება. — 298 — 299

სკიაპარელი, ჯოვანი ვირჯინიო (1835 — 1910) — იტალიელი ასტრონომი, კომეტების, მეტეორებისა და პლანეტების მკვლევარი; ფართოდ არის ცნობილი მისი დაკვირკებები პლანეტა მარსზე, რომელზეც წვრილი, სწორი ხაზების ბადე აღმოაჩინა და ამ ხაზებს არხები უწოდა. — 279, 283

სნელიუსი, ვილებრორდი (1580 — 1626) — ჰოლანდიელი მათემატიკოსი და ასტრონომი, შეიმუშავა მერიდიანის რკალის გაზომვის მეთოდები, რომლებითაც დღესაც სარგებლობენ. — 202

სპექტროსკოპი — ხელსაწყო სპექტრების ვიზუალური შესწავლისათვის. — 215

სპექტრული ანალიზი — ასტროფიზიკის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა მნათობების ქიმიური შემადგენლობა მათი სპექტრების გამოკვლევით შევისწავლოთ.—214—215, 293, 322

სპექტრულად-ორჯერადი ვარსკვლავები — ვარსკვლავთ მჭიდრო წყვილები, რომელთა ცალ-ცალკე დანახვა შეუძლებელია თანამედროვე ოპტიკური საშუალებებით. ამ ვარსკვლავების ორჯერადობა შეინიშნება მათივე სპექტრებში ხაზების პერიოდული გადაადგილებით. — 297, 389

სპექტრული კლასიფიკაცია ვარსკვლავების. — 389

სპირალური გალაქტიკები. — 309

სტანდარტული კორონოგრაფი — ხელსაწყო მზის კორონის ფოტოგრაფირებისათვის მზის სრული დაბნელების დროს. — 260

სტრუვე, ვასილი იაკობის ძე (1793 — 1864) — რუსი ასტრონომი, პულკოვოს ობსერვატორიის დამაარსებელი და პირველი დირექტორი. გამოიკვლია ორჯერადი ვარსკვლავები და საფუძველი ჩაუყარა თანამედროვე წარმოდგენას ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის — გალაქტიკის აგებულებაზე. — 178, 192, 209, 378 — 381, 383, 433

სტრუვე, ოტო ვასილის ძე (1819 — 1905)—რუსი ასტრონომი, ვ. სტრუვეს შვილი; იკვლევდა ორჯერად ვარსკვლავებს, გაზომა ზოგი ვარსკვლავის პარალაქსი, აკვირდებოდა პლანეტებს, მათ თანამგზავრებს, კომეტებსა და ნისლეულებს. — 381, 433

სტრუვე, ოტო ლუდვიგის ძე (1897 — 1963) — ამერიკელი ასტრონომი, ვ. სტრუვეს ბადიშიშვილი; ცნობილია თავისი ნაშრომებით ვარსკვლავთ სპექტრებისა და ცის სხეულთა ევოლუციის შესწავლის დარგში. გ. შაინთან (იხ.) ერთად აღმოაჩინა ვარსკვლავთ ბრუნვა. — 395, 433

სუბოტინი, მიხეილ თევდორეს ძე (დაიბ. 1893)—საბჭოთა ასტრონომი, აქვს ბევრი გამოკვლევა ცის მექანიკის დარგში. — 221

სფერული გროვები. — იხ. ვარსკვლავთ გროვები.

ტ

ტელესკოპი — ოპტიკური მოწყობილობის მქონე ხელსაწყო ციურ მნათობებზე დაკვირვებისათვის. — 211 — 214, 369 — 371, 402 — 411

ტელესკოპის აზიმუტური დანადგარი — დანადგარი, რომლითაც შეიძლება ტელესკოპის ბრუნვა ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ღერძების ირგვლივ. — 403

ტელესკოპის გამადიდებლობა. — 403 — 404

ტელესკოპის ეკვატორული დანადგარი — დანადგარი, რომლითაც შეიძლება ტელესკოპის ბრუნვა ორი ღერძის გარშემო: სამყაროს ღერძის (პოლარული ღერძის) პარალელური ღერძისა და ცის ეკვატორის პარალელური ღერძის (დაბრილობის ღერძის) ირგვლივ. — 204

ტელესკოპის პავილიონი. — 409 — 410

ტემპერატურა მთვარეზე. — 247

ტემპერატურა ვარსკვლავების. — 293

ტერმინატორი — ხაზი, რომელიც მთვარეზე (ან პლანეტაზე) განათებულ ნაწილს გაუნათებელი ნაწილისაგან გამოყოფს. — 241

ტეფია (სხვანაირად ფეტიდა) — სატურნის თანამგზავრი.

ტექტიტები — მინისმაგვარი წარმონაქმნები, რომლებსაც ჰოულობენ ნიადაგში დედამიწის სხვადასხვა ადგილას. ზოგი მკვლევარის აზრით, ეს განსაკუთრებული ტიპის მინის მეტეორიტებია. ტექტიტების ბუნება ჯერჯერობით არ არის საბოლოოდ გამორკვეული. — 289

ტიტანია — ურანის თანამგზავრი. — 271

ტიტანი — სატურნის ყველაზე დიდი თანამგზავრთაგანი; ზომებით დაახლოებით მერკურის ტოლია. ტიტანზე აღმოჩენილია ატმოსფერო. — 430

ტიტოვი, გერმანე სტეფანეს ძე (დაიბ. 1935) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი. 1961 წ. 6 აგვისტოს გაშვებული კოსმოსური ხომალდით „აღმოსავლეთი-2“ 25 საათი და 18 წუთი იფრინა, 17-ჯერ შემოუარა დედამიწას და გაიარა 700 ათასი კმ. — 180; 266, 341, 434

ტიხო ბრაჰე (1546 — 1601) — დანიელი ასტრონომი-დამკვირვებელი; თავის გამოკვლევებში მიაღწია უდიდეს სიზუსტეს, რომლის მიღებაც კი შეიძლებოდა ტელესკოპის გარეშე. მისი გამოკვლევებით ისარგებლა კეპლერმა პლანეტების მოძრაობის კანონების დასადგენად. — 196, 300

ტიხოვი, გაბრიელ ადრიანეს ძე (1875 — 1960) — საბჭოთა ასტროფიზიკოსი; ცნობილია როგორც პლანეტა მარსისა და ციურ მნათობთა ფერის მკვლევარი. — 222

ტრანსპლუტონი — პლანეტა პლუტონის ორბიტის გარეთ, რომლის არსებობასაც ზოგი მეცნიერი ვარაუდობს. — 274

ტრიტონი — ნეპტუნის თანამგზავრი, ერთ-ერთი უდიდესი თანამგზავრი მზის სისტემაში. — 272, 430

ტუნგუსკის მეტეორიტი — გიგანტური სხეული, რომელიც 1908 წ. 30 ივნისს შემოიჭრა დედამიწის ატმოსფეროში და დედამიწის ზედაპირიდან გარკვეულ სიმაღლეზე აფეთქდა ციმბირის ტაიგაში მდ. პოდკამენაია ტუნგუსკას რაიონში. ვარაუდობენ, რომ ეს იყო დედამიწის შეჯახება პატარა კომეტის ბირთვთან. — 288, 289

უ

ულუღ-ბეგი, მუჰამედი (1394 — 1449) — სამარყანდის მმართველი, უზბეკი ასტრონომი და მათემატიკოსი. სამარყანდში ააშენა შეუანიშნავი ობსერვატორია; იმდროინდელ გამოჩენილ ასტრონომებთან ერთად შეადგინა თავისი ეპოქისათვის ყველაზე ზუსტი ვარსკვლავთ კატალოგები და პლანეტების მოძრაობის ტაბულები. — 188 — 190, 212

უმბრიელი — ურანის თანამგზავრი. — 430

უმოვი, ნიკოლოზ ალექსის ძე (1846 — 1915) — რუსი ფიზიკოსი, ჩაატარა დედამიწის მაგნეტიზმის, ელექტრობის, წყლის ხსნარების დიფუზიისა და მღვრიე გარემოს ოპტიკის მნიშვნელოვანი კვლევა; პირველმა გამოთქვა აზრი, რომ ცეფეიდები მფეთქავი (პულსირებადი) ვარსკვლავებია. — 387

ურანი — მზიდან დაშორების მიხედვით მეშვიდე პლანეტა მზის სისტემაში. აღმოაჩინა უ. ჰერშელმა 1781 წ. ჰყავს ხუთი თანამგზავრი. — 272, 273, 312, 371

ფ

ფერფლისებური სინათლე — უშუალოდ მზით გაუნათებელი მთვარის დისკოს ნაწილის სუსტი ნათება; აიხსნება იმით, რომ მთვარეს ანათებს დედამიწიდან არეკლილი მზის სინათლე. — 241, 265

ფეოქტისტოვი, კონსტანტინე პეტრეს ძე (დაიბ. 1926) — საბჭოთა მფრინავი-კოსმონავტი, გაფრინდა 1964 წლის 12 ოქტომბერს სამადგილიანი ხომალდით „აისი“. — 180, 345, 434

ფესენკოვი, ვასილი გრიგოლის ძე (დაიბ. 1889) — საბჭოთა ასტრონომი; ავტორი ბევრი მნიშვნელოვანი გამოკვლევისა ასტროფიზიკაში, მათ შორის ციურ სხეულთა წარმოშობისა და ევოლუციის პრობლემისა. — 222, 314, 316

ფლორენსკი, კირილე პავლეს ძე (დაიბ. 1915) — საბჭოთა გეოქიმიკოსი, სამი ექსპედიციის ხელმძღვანელი, რომლებიც ტუნგუსკის მეტეორიტის ვარდნის ადგილს იკვლევდნენ.—288

ფობოსი — მარსის თანამგზავრი. — 269, 430

ფოგელი, გერმან კარლი (1842 — 1907) — გერმანელი ასტრონომი; ცნობილია როგორც ვარსკვლავთ სპექტრების მკვლევარი. ამუშავებდა სპექტრული კლასიფიკაციისა და ასტრონომიაში ფოტოგრაფიის გამოყენების საკითხებს. — 386 — 388

ფოტოგრაფირება ვარსკვლავების. — 214

ქ

ქალწული — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

ქვის მეტეორიტები. — 289

ქრომოსფერო — მზის ატმოსფეროს ქვედა ფენები, რომლებიც უშუალოდ ეკვრის მზის ფოტოსფეროს (იხ.). ვრცელდება 15 ათას კმ სიმაღლეზე ფოტოსფეროს ზემოთ. — 253, 259

ღ

ღრიანკალი — იხ. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები.

უ

ყაზი-ზადე არ-რუმი — XV ს. მათემატიკოსი და ასტრონომი, რომელიც მუშაობდა სამარყანდში ულუღ-ბეგის (იხ.) ობსერვატორიაში. — 188

ყაში, ჯემშიდ იბნ-მასუდი (დაბადების წელი არ არის ცნობილი—გარდაიცვ. დაახლ. 1436წ.)—XV ს. მათემატიკოსი და ასტრონომი, რომელიც მუშაობდა სამარყანდში ულუღ-ბეგის ობსერვატორიაში; მონაწილეობდა სამარყანდის ვარსკვლავთ კატალოგის შედგენაში. — 188

შ

შაინი, გრიგოლ აბრამის ძე (1892 — 1956) — საბჭოთა ასტრონომი. მისი ძირითადი შრომები ეხება ვარსკვლავთ სპექტრებისა და დიფუზური ნისლეულების სტრუქტურის შესწავლას. ამერიკელ ასტრონომ ო. სტრუვესთან ერთად დაადგინა ვარსკვლავების ბრუნვითი მოძრაობა. — 220, 394—396, 433

შეპარდი, ალანი — ამერიკელი კოსმონავტი, რომელმაც ცოტა ხანს (15 წუთი) იფრინა კოსმოსში 1961 წ. 5 მაისს. — 342

შვარცშილდი, კარლი (1873 — 1916) — გერმანელი ასტრონომი; მნიშვნელოვანი გამოკვლევები ჩაატარა ვარსკვლავთ ასტრონომიისა და თეორიული ასტროფიზიკის დარგში. დაამუშავა ვარსკვლავთ ატმოსფეროების თეორია. — 391—392

შვარცშილდი, მარტინი — ამერიკელი ასტრონომი, კარლ შვარცშილდის შვილი. მისი ძირითადი შრომები ეხება ვარსკვლავების შინაგან აგებულებას. — 392

შირა, უოლტერი — ამერიკელი კოსმონავტი, რომელიც 1962 წ. 3 ოქტომბერს აფრინდა კოსმოსში და 9 საათისა და 13 წუთის განმავლობაში ექვსჯერ შემოუარა დედამიწას. — 343

შკლოვსკი, იოსებ სამუილის ძე (დაიბ. 1916) — საბჭოთა ასტროფიზიკოსი; ჩაატარა მნიშვნელოვანი რადიოასტრონომიული კვლევა, იკვლევს აგრეთვე მზის კორონას, ვარსკვლავთშორის გარემოს და სხვ. — 221

შმიდტი, ოტო იულის ძე (1891 — 1956) — საბჭოთა მეცნიერი, აკადემიკოსი; დაამუშავა ჰიპოთეზა მზის ირგვლივ არსებული მტვრის ცივი ნაწილაკებისა და გაზებისაგან დედამიწისა და პლანეტების წარმოშობის შესახებ. — 312, 315

შმიდტის კოსმოგონიური ჰიპოთეზა — 312 — 315

შრეტერი, იოჰანი (1745 — 1816) — გერმანელი ასტრონომიის მოყვარული, რომელიც შემდეგ თავისი დროის ერთ-ერთი დიდი ასტრონომი გახდა. მისი ძირითადი გამოკვლევები ეხება პლანეტებს: მერკურის, ვენერასა და მარსს. — 377

შტერნბერგი, პავლე კარლის ძე (1865 — 1920) — ასტრონომი და რევოლუციონერი; მუშაობდა ასტრონომიის მრავალ დარგში; დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციისა და სამოქალაქო ომის აქტიური მონაწილე.—220—221, 397 — 399

ჩ

ჩირაღდნები — გარემომცველ ფოტოსფეროზე უფრო კაშკაშა უბნები მზეზე. — 253

ც

ცერასკაია, ლიდია პეტრეს ასული (1855—1931) — პირველი ქალი ასტრონომი რუსეთში; მოსკოვის ობსერვატორიაში მუშაობისას აღმოაჩინა 219 ცვალებადი ვარსკვლავი. — 390

ცერასკი, ვიტოლდ კარლის ძე (1849—1925)—რუსი ასტროფიზიკოსი. — 385, 390

ცერერა — აღმოჩენის დროის მიხედვით პირველი და ყველაზე დიდი მცირე პლანეტებიდან. აღმოაჩინა იტალიელმა ასტრონომმა პიაცის 1801 წ. — 429

ცესევიჩი, ვლადიმერ პლატონის ძე (დაიბ. 1907) — საბჭოთა ასტროფიზიკოსი, ცვალებად ვარსკვლავთა მკვლევარი. — 222, 274

ცეფეევსის დელტა — ცეფეევსის თანავარსკვლავედის ცვალებადი ვარსკვლავი, რომლის სიკაშკაშე მკაცრი პერიოდულობით იცვლება. სიკაშკაშის ცვლილების პერიოდი უდრის 5 დღე-ღამეს, 8 საათსა და 47 წუთს. ამ ტიპის ყველა ცვალებად ვარსკვლავს ცეფეევსის დელტას სახელის მიხედვით ცეფეიდები (იხ.) ეწოდა. — 298

ცეფეევსი—თანავარსკვლავედი, რომელიც სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსის მახლობლად მდებარეობს და ამიტომ ჩვენთან მთელი წლის განმავლობაში ჩანს. ამ თანავარსკვლავედში შედის ცვალებადი ვარსკვლავი ცეფეევსის დელტა.—233, 236

ცეფეიდები — ცვალებად ვარსკვლავთა სახესხვაობა. ყველა ცეფეიდი გიგანტი და ზეგიგანტი ვარსკვლავია. მათი სიკაშკაშე მკაცრი პერიოდულობით იცვლება. დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა იმ დამოკიდებულების აღმოჩენას, რომელიც არსებობს ცეფეიდების სიკაშკაშის ცვლის პერიოდსა და მათ ბრწყინვალებას შორის. ამის მეოხებით შესაძლებელი გახდა მანძილების დადგენა უშორეს ვარსკვლავთ სისტემებამდე, თუკი ისინი ცეფეიდებს შეიცავენ. — 298 — 299, 302, 387, 393

ცვალებაღი ვარსკვლავები — ვარსკვლავები, რომელთა სიკაშკაშე დროთა განმავლობაში იცვლება. ამ ცვლილებების ხასიათისა და მათი გამომწვევი მიზეზების მიხედვით იყოფიან სხვადასხვა ტიპებად (იხ. ცეფეიდები, ბნელებად-ცვალებადი ვარსკვლავები, ახალი ვარსკვლავები). — 297, 298, 420 — 423

ციოლკოვსკი, კონსტანტინე ედუარდის ძე (1857 — 1935) — რუსი მეცნიერი, კოსმონავტიკის ფუძემდებელი; აქვს მთელი რიგი დიდი აღმოჩენები რაკეტულ ტექნიკასა და საპლანეტათშორისო მიმოსვლის თეორიაში. — 337

ცის ღეღამური ბრუნვა — ცის მოჩვენებითი ბრუნვა სამყაროს პოლუსის ირგვლივ. სინამდვილეში დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო და დედამიწაზე მყოფ დამკვირვებელს ეჩვენება, რომ ვარსკვლავები გადაადგილდებიან ცაზე. — 234 — 235

ცის ეკვატორი — წარმოსახვითი ხაზი ცის თაღზე, რომელიც წარმოიქმნება ცის თაღისა და სამყაროს ღერძის პერპენდიკულარული სიბრტყის გადაკვეთით. — 236

ცის მერიდიანი — წარმოსახვითი ხაზი ცის თაღზე, რომელიც გადის სამყაროს პოლუსებზე და დაკვირვების ადგილის ზენიტზე; ჰორიზონტის ხაზს კვეთს ჩრდილოეთისა და სამხრეთის წერტილებში. — 236

ცის მექანიკა — ასტრონომიის ნაწილი, რომელიც მსოფლიო მიზიდულობის კანონის საფუძველზე შეისწავლის ცის სხეულთა მოძრაობას და პირველ რიგში ჩვენი მზის სისტემის სხეულთა მოძრაობას. — 345, 365 — 366

წ

წარმოშობა ვარსკვლავების. — 316

წელიწადი — დროის საზომი ერთეული. უდრის შუალედს, რომელიც შეესაბამება დედამიწის სრულ შემოვლას მზის ირგვლივ. წელიწადი შეიცავს 365 დღეს, 5 საათს, 48 წუთსა და 45 წამს ნაწილებით.—182, 323—325, 328—329

წითელი გადაადგილება გალაქტიკების სპექტრებში — ხაზების გადაადგილება შორეული გალაქტიკების სპექტრებში სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ. როგორც ჩანს, აიხსნება დოპლერის (იხ.) პრინციპით გალაქტიკების ჩვენგან დაშორებასთან დაკავშირებით. — 309

ხ

ხაიამი, ომარ (დაახლ. 1040 — 1123) — შუააზიელი პოეტი, მათემატიკოსი და ფილოსოფოსი, კალენდრის საინტერესო სისტემის ავტორი. — 188 — 189, 224 — 226

ხარაძე, ევგენი კირილეს ძე (დაიბ. 1907) — საბჭოთა ასტრონომი, საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორი. — 220, 224 — 225

ხლადნი, ერნსტ ფლორენს ფრიდრიხი (1756 — 1827) — ჩეხი მეცნიერი; პირველმა დაამტკიცა, რომ მეტეორიტები არამიწიერი (კოსმოსური) წარმოშობისაა. — 285

ხონდრები — მომრგვალებული მარცვლები, რომლებიც ქვის მეტეორიტებში გვხვდება (ბერძნული სიტყვიდან „ხონდროს“ — მარცვალი). — 289

ხორეზმი, მუჰამედ ბენ-მუსა (დაახ. 780 — დაახ. 850) — შუააზიელი მათემატიკოსი და ასტრონომი. მისი ასტრონომიული შრომები ეხება მზის საათს, საზომ ხელსაწყოებს, ასტრონომიულ ტაბულებს; იგი თავის დროზე ცნობილი ალგებრის სახელმძღვანელოს ავტორიცაა. —187

ჩ

ჰაბლი, ედვინი (1889 — 1953) — ამერიკელი ასტრონომი; 1924 წ. პირველმა დაადგინა, რომ შორეული ნისლეულები, კერძოდ, ანდრომედას ნისლეული, ჩვენი გალაქტიკის თანასწორუფლებიანი ვარსკვლავთ სისტემებია. ამით დამტკიცდა, რომ ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემა სამყაროში ერთადერთი არ არის. — 392—394, 433

ჰალეი, ედმუნდი (1656 — 1742) — ინგლისელი ასტრონომი, აღმოაჩინა ვარსკვლავების საკუთარი მოძრაობა სივრცეში; დაადგინა, რომ კომეტა, რომელსაც შემდეგ მისი სახელი ეწოდა, მზის სისტემას ეკუთვნის და პერიოდულად ჩნდება ცაზე, — 200, 201, 371, 376, 433

ჰალეის კომეტა — პირველი კომეტა, რომლის ორბიტაც განსაზღვრეს და რომლის შემდგომი გამოჩენა იწინასწარმეტყველეს. მზის ირგვლივ გარემოიქცევა დაახლოებით 76 წლის პერიოდით. მორიგი გამოჩენა მოსალოდნელია 1986 წ. — 201, 277

ჰეველიუსი, იანი (1611 — 1687) — პოლონელი ასტრონომი-დამკვირვებელი; ქ. გდანსკში ააშენა დიდი ობსერვატორია, რომელიც ზუსტი კუთხმზომი იარაღებით იყო აღჭურვილი. იკვლევდა მთვარესა (შეადგინა მისი ზედაპირის პირველი დაწვრილებითი აღწერილობა) და კომეტებს (აღმოაჩინა ოთხი ახალი კომეტა), შეადგინა ვარსკვლავთ კატალოგი. — 197, 366

ჰენდერსონი, თომასი (1798 — 1842) — ინგლისელი ასტრონომი, ვარსკვლავებამდე ზუსტი მანძილების განსაზღვრის ერთ-ერთი პიონერი. 1840 წ. განსაზღვრა მანძილი კენტავრის თანავარსკვლავედის ალფა ვარსკვლავამდე, რომელიც მზის სისტემასთან უახლოესი ვარსკვლავი აღმოჩნდა. — 380

ჰერაკლიტე (დაახლ. 530 — 470 წწ. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი-მატერიალისტი, წამოაყენა ბუნებაში ცვალებადობის იდეა. — 183

ჰერმესი — მცირე პლანეტა. — 429

ჰერცშპრუნგი, ეინარი (დაიბ. 1873) — დანიელი ასტრონომი; ბევრს მუშაობდა ვარსკვლავთ გროვების, ცვალებადი ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავების ევოლუციის პრობლემების შესწავლაზე. — 390

ჰერცშპრუნგ — რესელის დიაგრამა (დიაგრამა სპექტრი — ბრწყინვალება) — გრაფიკი, რომელშიც შეტანილია ვარსკვლავების აბსოლუტური სიდიდეები მათი სპექტრული კლასების შესაბამისად. ამ დიაგრამის გამოკვლევის შედეგად შეიძლება მნიშვნელოვანი დასკვნების გამოტანა ვარსკვლავების შინაგან აგებულებასა და მათ ევოლუციაზე. — 390

ჰერშელი, უილიამი (1738 — 1822) — ინგლისელი ასტრონომი; აღმოაჩინა და გამოიკვლია ბევრი ნისლეული, ორჯერადი ვარსკვლავები, პლანეტა ურანი, მზის მოძრაობა სივრცეში ვარსკვლავებს შორის. დაკვირვებების საფუძველზე პირველად შეეცადა გარკვეულიყო ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის — გალაქტიკის აგებულებაში. პირველმა წამოაყენა იდეა, რომ ვარსკვლავების წარმოშობა განუწყვეტლივ გრძელდება ჩვენს ეპოქაშიც. — 272, 366, 370 — 374, 433

ჰერშელი, კაროლინა (1750 — 1848) — ასტრონომიის მოყვარული; უ. ჰერშელის და; აღმოაჩინა 8 კომეტა და 14 ნისლეული; ეხმარებოდა ძმას დაკვირვებების ჩატარებასა და მიღებული მასალის დამუშავებაში. — 371

ჰერშელი, ჯონი (1792 — 1871) — ინგლისელი ასტრონომი, უ. ჰერშელის შვილი; განაგრძო მამის გზა და მუშაობდა ორჯერადი ვარსკვლავების (შეადგინა 11 კატალოგი), ნისლე-

სწავ... და ვარსკვლავიერი ცის სამხრეთ ნახევარსფეროს ...ვლზე. — 374
...დაგო — მცირე პლანეტა. — 429
...ინი, უილიამი (1824 — 1910) — ინგლისელი ასტრო... ებსი. ერთი პირველთაგანი შეუდგა ვარსკვლავთ სპექ... ს შესწავლას. — 386
...არე (II ს. ძვ. წ.) — ძველი ბერძენი ასტრონომი; ხი... ულ... სიკაშკაშის მიხედვით ვარსკვლავები ვარსკვლავიერ სი... ...ბად (ხზ.) დაყო; განსაზღვრა მანძილი მთვარემდე და მთვარის ზომები; შეადგინა ვრცელი, თავისი დროისათვის ზუსტი, ვარსკვლავთ კატალოგი. — 184, 433

ჰიუგენსი, ქრისტიანი (1629 — 1695) — ნიდერლანდელი მექანიკოსი, ფიზიკოსი, მათემატიკოსი და ასტრონომი; აღმოაჩინა სატურნის თანამგზავრი ტიტანი და სატურნის რგოლები; აკვირდებოდა მარსს, იუპიტერს, ორიონის ნისლეულს; მუშაობდა ტელესკოპების ოპტიკისა და ქანქარებიანი საათების სრულყოფაზე. — 198, 271

რამდენიმე სიტყვა მათემატიკაზე

მოსწავლეებს რომ ჰკითხონ, რომელი საგანი უყვართ ყველაზე მეტად, საეჭვოა, უმრავლესობამ მათემატიკა დაასახელოს. ჩვეულებრივ, მათემატიკას უფრო მოკრძალებით ეკიდებიან, ვიდრე სიყვარულით. ჩვენს ქვეყანაში მეცნიერულ ცოდნას დიდ პატივს სცემენ, მაგრამ მოსწავლეთა შორის მაინც მოიძებნებიან ისეთები, რომელთაც უმძიმთ მათემატიკის შესწავლა. როგორც ჩანს, აქ საქმე მარტო ის კი არაა, რომ ხსენებული საგნის შესწავლა ბევრს არ ეადვილება, არამედ ისიც, რომ სასკოლო მათემატიკის ზოგი საკითხი ხანდახან არცთუ ისე საინტერესოა და ზოგჯერ მოსაწყენიც კი არის. ხშირად რომელიმე ენის ანბანი და გრამატიკაც არ არის მაინცდამაინც საინტერესო, მაგრამ მხოლოდ მათი შესწავლის შემდეგ შეგვიძლია გავეცნოთ ამ ენაზე არსებულ ლიტერატურას — წარმტაც ზღაპრებს, მოთხრობებს, რომანებსა და ლექსებს. ასევეა მათემატიკაშიც. მარტივი, სასკოლო ანბანური დებულებიდან იწყება ფართო გზა თანამედროვე მათემატიკისაკენ — ადამიანის ცოდნის უზარმაზარი, თავისი სიმდიდრით თითქმის განუზომელი დარგისაკენ, რომელსაც ყოველ წელს უფრო და უფრო მეტად იყენებენ.

ხანდახან ამბობენ, მათემატიკაში ძირითადად უკვე ყველაფერი ცნობილია, ამ მეცნიერებაში აღმოჩენების დრომ დიდი ხანია განვლო და ახლა მხოლოდ ისღა დაგვრჩენია, რომ შევისწავლოთ თეორემები, რომელთაც წარსულ საუკუნეთა მეცნიერების სახელები ჰქვია, და გამოვიყენოთ ისინი სხვადასხვა ამოცანის ამოსახსნელად. მაგრამ სინამდვილეში ასე როდია. მრავალი ათასი წლის წინათ წარმოშობილი ეს მეცნიერება სწორედ ახლა ვითარდება მთელი შესაძლებლობით. მსოფლიოს ყველა კუთხეში თითქმის ყოველდღე ცნობილი ხდება ახალ-ახალი მათემატიკური აღმოჩენები. ამ აღმოჩენათა რაოდენობის წარმოსადგენად საკმარისია გავეცნოთ ყოველთვიურ რეფერატულ ჟურნალ „მათემატიკას“, რომელიც საბჭოთა კავშირში გამოდის. მასში წვრილი შრიფტით იბეჭდება ძალიან მოკლე ცნობები (რეფერატები) მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერთა ახალ-ახალ მათემატიკურ აღმოჩენათა შესახებ. ამ ჟურნალის 1963 წლის სრული კომპლექტი წარმოადგენს ვეებერთელა ტომს (იგი შეიცავს დიდი ფორმატის 1100 გვერდზე მეტს!), რომელშიც 16000-ზე

მეტი რეფერატია მოთავსებული. ასე დიდია მარტო ერთი წლის მათემატიკურ აღმოჩენათა რაოდენობა. ყოველდღიურად საშუალოდ 45-ზე მეტი აღმოჩენა! რასაკვირველია, ყველა ეს აღმოჩენა ერთნაირი მნიშვნელობისა არ არის, მაგრამ თითქმის ყოველი მათგანი პატარა და მაინც წინ გადადგმული ნაბიჯია მეცნიერებაში.

მათემატიკის ასეთი მძაფრი განვითარება მჭიდროდაა დაკავშირებული თეორიისა და პრაქტიკის მიერ წამოყენებულ ახალ ამოცანებთან, რომლებიც მათემატიკოსებმა უნდა ამოხსნან. მაგრამ, როცა ძველი ცოდნა უკვე აღარ არის საკმარისი, უნდა ვეძებოთ ახალი გზები, შევქმნათ ახალი მეთოდები. დღეს მათემატიკა გამოყენებულია არა მარტო ასტრონომიაში, მექანიკაში, ფიზიკაში, ქიმიასა და ტექნიკაში, სადაც მას წინათაც იყენებდნენ, არამედ ბიოლოგიაშიც, საზოგადოებრივ მეცნიერებათა ზოგიერთ დარგში და ენათმეცნიერებაშიც კი. მათემატიკის გამოყენებას განსაკუთრებით ფართო ასპარეზი გაეხსნა მას შემდეგ, რაც შეიქმნა სწრაფმოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები. ეს მანქანები წინასწარმეტყველებენ ამინდს, მათივე საშუალებით ხდება ხელოვნურ თანამგზავრთა ორბიტების გამოთვლა, მეცნიერული ტექსტის ერთი ენიდან მეორეზე თარგმნა და სხვა.

უახლოეს დროში ახალი ტიპის უნივერსალურ და სპეციალიზებულ მანქანებს გამოიყენებენ ადამიანის მოღვაწეობის სულ სხვადასხვა დარგში; ეს დარგებია საწარმოო პროცესების მართვა, სტატისტიკური და საბუღჰალტრო აღრიცხვა, საგეგმო და საპროექტო გაანგარიშებები და სხვ.

მოკლედ, მათემატიკა შეიძლება დავახასიათოთ როგორც მეცნიერება რიცხვებისა და ნაკვთების შესახებ. ძნელია დავასახელოთ ადამიანის მოღვაწეობის ისეთი დარგი, სადაც არ გვიხდებოდეს საგანთა რაოდენობის, მათი ზომისა და ფორმის გარკვევა. უხსოვარი დროიდან, ადამიანთა საზოგადოების განვითარებასთან ერთად, სულ უფრო და უფრო მეტი ცნობები გროვდებოდა სხვადასხვა საგნის რაოდენობის, ზომისა და ფორმის შესახებ. მალე აუცილებელი შეიქნა ამ ცნობების წესრიგში მოყვანა, რათა ადვილი ყოფილიყო მათი ერთი თაობიდან მეორესათვის გადაცემა. ასე თანდათანობით ისახებოდა მათემატიკა.

მათემატიკური ცოდნის საწყისებს ვხვდებით დაახლოებით ოთხი ათასი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. ამას მოწმობს ჩვენამდე მოღწეული ეგვიპტური პაპირუსები და ლურსმულწარწერებიანი ბაბილონური ფილები, რომლებზეც ამოხსნილია სხვადასხვა არითმეტიკული, გეომეტრიული და ალგებრული ამოცანები.

ძლიერ განვითარდა მათემატიკა ძველ საბერძნეთში. ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 300-ზე მეტი წლით ადრე აქ გამოჩნდა ევკლიდეს „საწყისები“. ამ თხზულებაში სისტემურად იყო გადმოცემული გეომეტრია დაახლოებით იმ მოცულობით, რომლითაც იგი დღესაც ისწავლება საშუალო სკოლაში. ამის გარდა ევკლიდეს თხზულებაში მოყვანილი იყო ცნობები რიცხვთა გაყოფადობისა და კვადრატულ განტოლებათა ამოხსნის შესახებ (გეომეტრიული სახით). III საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე არქიმედემ მოძებნა სხვადასხვა მარტივი ნაკვთის ფართობის, მოცულობისა და სიმძიმის ცენტრის განსაზღვრის წესი. ამავე საუკუნის ბოლოს აპოლონიუსმა დაწერა წიგნი ზოგიერთი შესანიშნავი წირის — ელიფსის, ჰიპერბოლისა და პარაბოლის — თვისებათა შესახებ. თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ II საუკუნეში (ჩვენი წელთაღრიცხვით)

პტოლემემ თავის ასტრონომიულ თხზულებაში (იგი ცნობილია არაბული სახელწოდებით — „ალმაგესტი“) მოგვცა ტრიგონომეტრიის საფუძვლები, სინუსების ცხრილები (უფრო სწორად, წრეწირის ქორდების სიგრძეთა ცხრილები) და სფერული სამკუთხედების ამოხსნის წესები (ე. ი. ისეთი სამკუთხედებისა, რომელთა გვერდებს სფეროს ზედაპირზე გავლებული დიდი წრეწირის რკალები წარმოადგენს), ცხადი გახდება, რა დიდი წვლილი შეუტანიათ მათემატიკური მეცნიერების განვითარების საქმეში ძველ ბერძნებს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე მრავალი საუკუნით ადრე. თამამად შეიძლება ითქვას, რომ საშუალო სკოლაში მოწაფე ამ ცოდნის მხოლოდ მცირე ნაწილს ეუფლება (თუმცა, დღეს ზოგიერთ ისეთ ცნობასაც ღებულობს, რომელიც ძველი ბერძნებისათვის უცნობი იყო).

მათემატიკის განვითარებისათვის ბევრი რამ გააკეთეს აღმოსავლეთის ხალხთა მეცნიერებმა (განსაკუთრებით დიდ წარმატებებს მიაღწიეს ინდოელებმა და არაბებმა ალგებრისა და ტრიგონომეტრიის განვითარების საქმეში). შუა საუკუნეებში მეცნიერების განვითარების ხანგრძლივი შეფერხების შემდეგ დასავლეთ ევროპის მეცნიერებს დიდი შრომა დასჭირდათ, რომ თავიანთ წინამორბედთა შრომები აეთვისებინათ; მხოლოდ ამის შემდეგ შეძლეს დამოუკიდებლად წინსვლა. მათემატიკის აყვავება ევროპაში XVII საუკუნეში იწყება. ამ დროს ისახება მათემატიკის ახალი დარგები, რომლებიც ე. წ. უმაღლეს მათემატიკას მიეკუთვნება, და რომლებსაც უმაღლეს სასწავლებლებში ასწავლიან. განსაკუთრებით ღრმად ისწავლება უმაღლესი მათემატიკა უნივერსიტეტებისა და პედაგოგიური ინსტიტუტების ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტებზე. ზოგიერთ მის ნაწილს სწავლობენ უმაღლეს ტექნიკურ სასწავლებლებში.

უმაღლესი მათემატიკის საფუძველს წარმოადგენს ანალიზური გეომეტრია და დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა. ამ დარგების შექმნამ, რაც დაკავშირებულია XVII საუკუნის ისეთ უდიდეს მეცნიერთა სახელებთან, როგორიცაა რ. დეკარტე, პ. ფერმა, ი. ნიუტონი და გ. ლაიბნიცი, საშუალება მოგვცა მათემატიკურად შეგვესწავლა მოძრაობა, სიდიდეებისა და გეომეტრიული ნაკვთების ცვლილებათა პროცესები. ამასთან ერთად მათემატიკაში შევიდა კოორდინატები, ცვლადი სიდიდეები და ფუნქციის ცნება; კოორდინატებს, ცვლად სიდიდეებსა და ფუნქციებს მოსწავლეები ალგებრისა და ტრიგონომეტრიის კურსში ეცნობიან, მაგრამ ისინი მაინც იმ უმაღლესი მათემატიკის მიჯნაზე რჩებიან, რომელმაც უკანასკნელი სამასი წლის განმავლობაში დაგვანახვა, რომ იგი არის განსაკუთრებული ძალისა და სიზუსტის უბადლო იარაღი. ამ იარაღმა კი საშუალება მისცა ასტრონომების, ფიზიკოსების, მექანიკოსებისა და სხვა დარგების წარმომადგენელთა მრავალ თაობას გადაეჭრათ ბუნებისმეტყველებისა და ტექნიკის ურთულესი პრობლემები.

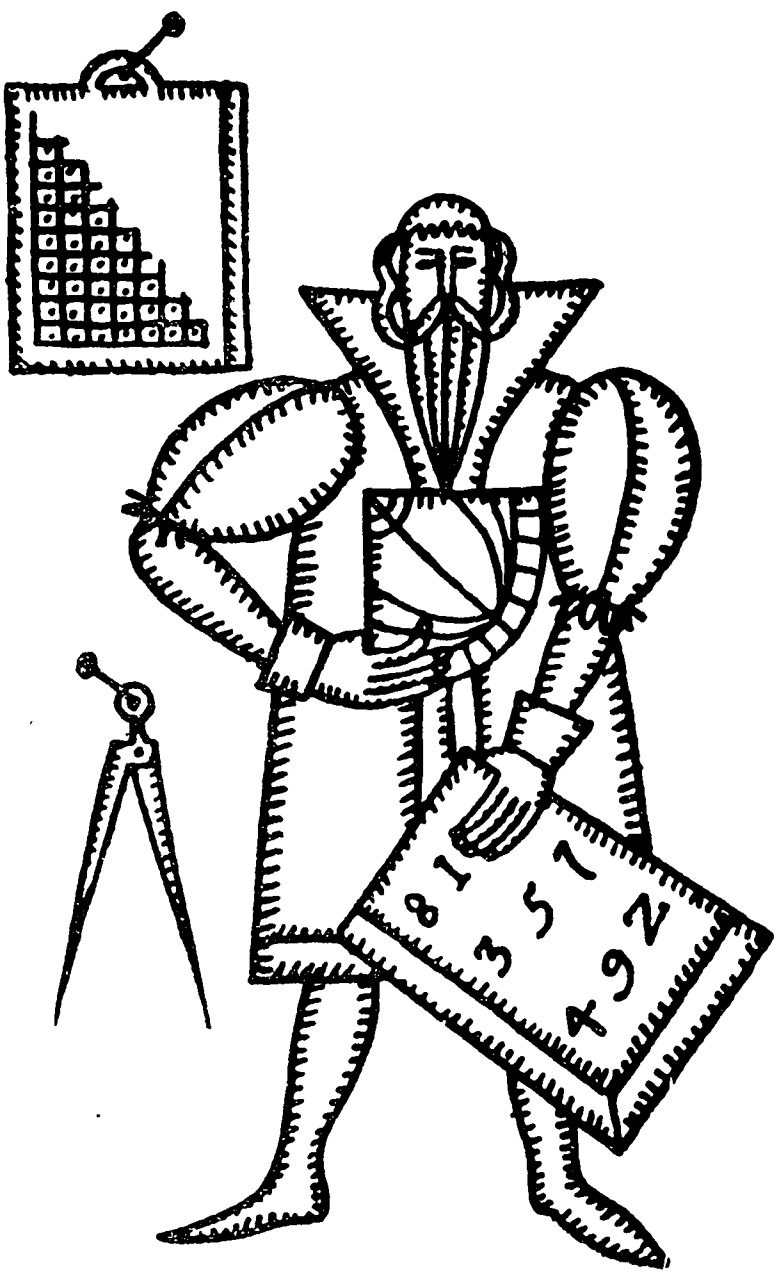
აქ შეუძლებელია თუნდაც ზერელედ აღვნუსხოთ ის წარმატებები, რომელთაც მათემატიკამ უკანასკნელი საუკუნეების მანძილზე მიაღწია. უნდა აღვნიშნოთ გამოჩენილი რუსი მეცნიერების ნ. ლობაჩევსკის, პ. ჩებიშევისა და საბჭოთა მათემატიკოსების დიდი წვლილი მათემატიკის განვითარების საქმეში. შეიძლება ითქვას, რომ თანამედროვე მათემატიკამ განვითარების ისეთ საფეხურს მიაღწია და ისე მდიდარია თავისი შინაარსით, რომ ერთი კაცი, თვით მეცნიერიც კი, მას მთლიანად ვერ გასწვდება და იძულებული იქნება ერთ რომელიმე გარკვეულ დარგს დაეუფლოს.

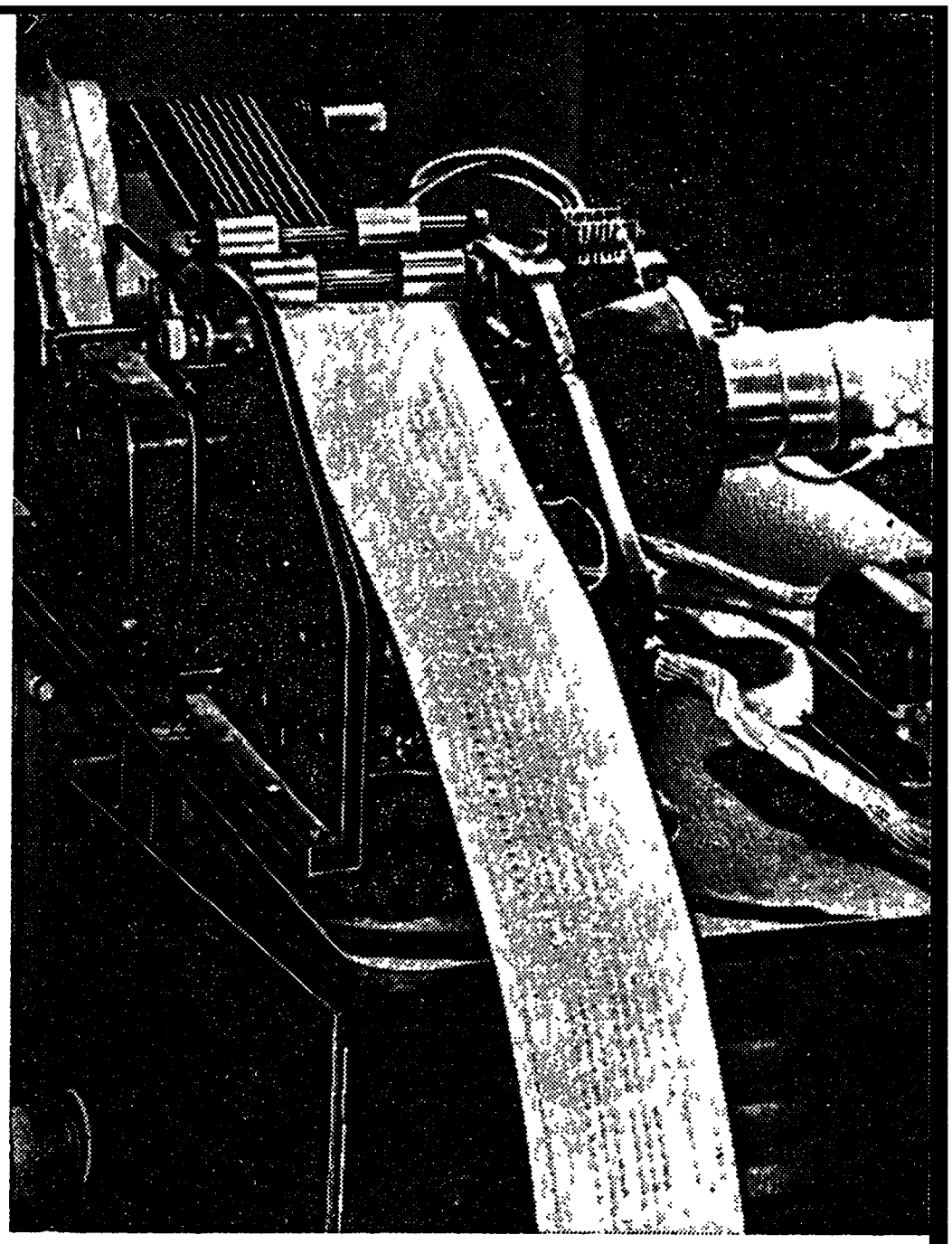
უნდა შევნიშნოთ, რომ თანამედროვე მათემატიკა სასკოლო კურსის მსგავსად მარტო ალგებრისა და გეომეტრიისაგან როდი შედგება. ამჟამად შეიძლება ჩამოვთვალოთ მათემატიკის ათობით სხვადასხვა დარგი. თითოეულ მათგანს თავისი განსაკუთრებული შინაარსი, მეთოდები და გამოყენების არე გააჩნია.

ამ ტომის ნაწილში, რომელიც მათემატიკას მიეძღვნა და „რიცხვები და ნაკვთები“ ჰქვია, ჩვენ მოვათავსეთ მათემატიკის სასკოლო კურსთან მჭიდროდ დაკავშირებული რამდენიმე სტატია (ისინი ავსებენ და აღრმავებენ მკითხველის მიერ უკვე შეძენილ ცოდნას). მაგრამ მაინც საჭიროდ მივიჩნიეთ მკითხველისათვის მიგვეწოდებინა ისიც, რაც ელემენტარულ, სასკოლო მათემატიკას უმაღლესი მათემატიკისაგან გამოყოფს.

ცხადია, ზოგიერთ სტატიას არ შეიძლება მარტივი და ადვილად გასაგები ეწოდოს. ამიტომ ჩვენი რჩევაა, ასეთი სტატიების კითხვისას გამოიჩინოთ მოთმინება, მოიმარჯვოთ ქაღალდი, ფანქარი და მასალა ნაწილ-ნაწილ დაძლიოთ. თუ მკითხველი კვლავ შეფერხდება, გულს ნუ გაიტეხს. გაიხსენოს სიტყვები, რომლებითაც სახელოვანი ფრანგი მათემატიკოსი ლაგრანჟი მიმართავდა ახალგაზრდა მათემატიკოსებს: „წაიკითხეთ, გაიგებთ შემდეგ“.

ყოველ შემთხვევაში, იმედი გვაქვს, რომ მათემატიკის ახალგაზრდა მოყვარული ჩვენს სტატიებს შორის იპოვის ისეთებსაც, რომლებსაც მაშინვე გაიგებს, რაც შეეხება დანარჩენებს, მათ შეიძლება მოგვიანებით დაუბრუნდეს, როდესაც სასკოლო კურსს უფრო მეტად შეისწავლის. ერთი სიტყვით, მათ „შემდეგ გაიგებს“!





რიცხვები

როგორ ითვლიდა ადამიანი ძველად და როგორ წერდა ციფრებს

ჩვენ შეჩვეული ვართ ჩავწეროთ ყოველი რიცხვი ათი ნიშანციფრის საშუალებით; ესენია: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. მაგალითად, რიცხვს, რომელიც შედგება ოთხი ასეულისა, ოთხი ათეულისა და ოთხი ერთეულისაგან, ასე ვწერთ: 444. ამასთან, ერთი და იგივე ნიშანი „4“ აღნიშნავს ერთეულების რიცხვს, თუ ეს ციფრი ბოლოშია, ათეულებისას — თუ ბოლოდან მეორე ადგილზეა, და ათეულ ათეულების ანუ ასეულების რიცხვს — თუ ბოლოდან მესამე ადგილზე დგას. რიცხვთა ასეთი ჩაწერის პრინციპს ეწოდება პ ო ზ ი ც ი უ რ ი ანუ ა დ გ ი ლ ო ბ ი თ ი პრინციპი, რადგან ყოველ ციფრს რიცხვითი მნიშვნელობა ეძლევა არა მარტო თავისი მოხაზულობის მიხედვით, არამედ იმის მიხედვითაც, თუ რომელ ადგილზე დგას იგი რიცხვის ჩანაწერში. პოზიციური პრინციპი სა-

შუალებას იძლევა ათი ნიშანციფრის მეშვეობით ჩავწეროთ ნებისმიერი რიცხვი. მართლაც, ვთქვათ, მოცემულია მთელი რიცხვი N. ჩვენი სისტემის მიხედვით ამ რიცხვის ჩასაწერად ჯერ მოვძებნით N-ის 10-ზე გაყოფის შედეგად მიღებულ ნაშთს, შემდეგ განაყოფის 10-ზე გაყოფის შედეგად მიღებულ ნაშთს და ა. შ. მანამ, სანამ განაყოფში არ მივიღებთ 10-ზე მცირე რიცხვს. მაგალითად:

$$N=523=10\cdot 52+3;$$
$$52=10\cdot 5+2;$$
$$5=10\cdot 0+5.$$

სწორედ ეს მიღებული ნაშთები წარმოადგენს პოზიციური ათობითი სისტემის მიხედვით ჩაწერილი ჩვენი რიცხვის მიმდევრობით ციფრებს:

$$N=523,$$

ან უფრო დაწვრილებით:

$$N=5\cdot 10^2+2\cdot 10+3.$$

მათ, ვინც იცნობს ალგებრას, ვეტყვით, რომ ასეთივე სახით შეგვიძლია წარმოვადგინოთ ყოველი მთელი M რიცხვი. თუ

$$10^n \leqslant M < 10^{n+1},$$

მაშინ

$$M = a_n 10^n + a_{n-1} 10^{n-1} + \ldots + a_1 10 + a_0,$$

სადაც ყოველი კოეფიციენტი: a_0, a_1,..., a_n ნაკლებია 10-ზე (თითოეული წარმოადგენს M რიცხვის 10-ზე მიმდევრობით გაყოფისას მიღებულ ნაშთს). მაშასადამე, თითოეული ეს კოეფიციენტი შეგვიძლია ჩავწეროთ ათი ციფრიდან ერთ-ერთის საშუალებით. ათობითი პოზიციური პრინციპის მიხედვით M რიცხვი ასე ჩაიწერება:

$$M = a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0,$$

სადაც a_0 აღნიშნავს ჩვეულებრივ ერთეულთა, ანუ პირველი თანრიგის ერთეულთა რიცხვს, ე. ი. ერთეულებს, რომლებსაც M შეიცავს, a_1 — მეორე თანრიგის ერთეულთა რიცხვს, ე. ი. ათეულებს, a_2 — მესამე თანრიგის ერთეულთა რიცხვს, ე. ი. ასეულებს, და ა. შ.

რიცხვი 10 ჩვენი სისტემის ფუძედ იწოდება.

ამგვარად, რიცხვის ჩასაწერად ვსარგებლობთ თვლის პოზიციური ათობითი სისტემით.

ორობით, სამობით და თორმეტობით თვლა

მაგრამ ათობით თვლა სავალდებულო როდია. შეიძლება, მაგალითად, ორობით ან სამობით ვთვალოთ. ამისათვის თვლის სისტემის ფუძედ უნდა ავიღოთ 2 ან 3, დანარჩენ შემთხვევაში კი ისევე მოვიქცეთ, როგორც მაშინ, როდესაც ფუძედ 10 გვქონდა.

რიცხვი რომ ორობითი სისტემით ჩავწეროთ, მხოლოდ ორი ციფრი დაგვჭირდება: 0 და 1. ამ სისტემაში რიცხვი „ორი“ ისევე ჩაიწერება, როგორც 10, ვინაიდან $2=1\cdot 2+0$. იმისათვის, რომ ჩვენი ჩანაწერი ჩვეულებრივ ჩანაწერში არ აგვერიოს, მარჯვნივ, ქვევით, დავსვათ პატარა ციფრი 2. ეს იმის მაჩვენებელი იქნება, რომ სისტემის ფუძეა რიცხვი „ორი“. ამგვარად, 10_2 აღნიშნავს რიცხვ ორს. რიცხვი $3 = 1\cdot 2 + 1$, ე. ი. მისი ჩანაწერია 11_2.

რიცხვი $4=1\cdot 2^2+0\cdot 2+0\cdot 1$, ამიტომ ის ასე ჩაიწერება: 100_2. რიცხვი 5 ჩაიწერება შემდეგნაირად: 101_2, 7 კი 111_2.

ნებისმიერი N რიცხვის ჩასაწერად უნდა მოიძებნოს ამ რიცხვის 2-ზე მიმდევრობითი გაყოფის შედეგად მიღებული ნაშთები. მკითხველისათვის მიგვინდვია შეამოწმოს, რომ 35 ორობით სისტემაში ასე ჩაიწერება: 100011_2. თუ N რიცხვი ისეთია, რომ

$$2^n \leqslant N < 2^{n+1},$$

მაშინ იგი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ ასე:

$$N = a_n 2^n + a_{n-1} 2^{n-1} + \ldots + a_1 2 + a_0,$$

ე. ი. ამ რიცხვის ჩანაწერი ორობით სისტემაში ასეთი სახის იქნება:

$$N = a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0,$$

მაგრამ აქ უკვე ყოველ a_i კოეფიციენტს შეუძლია მიიღოს მხოლოდ ორი მნიშვნელობა: 0 ან 1.

ორობით სისტემას, რომელმაც ამჟამად დიდი მნიშვნელობა მოიპოვა სწრაფმოქმედ მათემატიკურ მანქანებში მის გამოყენებასთან დაკავშირებით, უფრო დაწვრილებით გაეცნობით, თუ წაიკითხავთ ამავე ტომში მოთავსებულ სტატიას: „ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები“.

სამობითი სისტემით რიცხვის ჩასაწერად სამი ციფრი გვჭირდება: მაგალითად, 0, 1, 2. რიცხვი „სამი“ აქ ასე ჩაიწერება: 10_3, „ოთხი“ კი — 11_3. რიცხვს 35 ამ სისტემაში შემდეგნაირად ჩავწერთ: 1022_3.

მოვიყვანოთ სამობითი სისტემით ჩაწერილი რიცხვების შეკრებისა და გამრავლების ცხრილები:

შეკრების ცხრილი

	1	2
1	2_3	10_3
2	10_3	11_3

გამრავლების ცხრილი

	1	2
1	1_3	2_3
2	2_3	11_3

თვლა დუჟინობითაც შეიძლება, ე. ი. შეიძლება ვისარგებლოთ თვლის ისეთი სისტემით, რომლის ფუძე თორმეტია. არცთუ ისე დიდი ხნის წინათ რუსეთსა და დასავლეთ ევროპაში ზოგიერთ საგანს, მაგალითად, კალმებსა და ფანჭრებს თორმეტობით ითვლიდნენ. სერვიზიც, ჩვეულებრივ, 12 ფინჯნის, 12 ლამბაქისა და 12 თეფშისაგან შედგება, ხოლო ავეჯის კომპლექტში 12 სკამი ან სავარძელი შედის. „დუჟინთა დუჟინისათვის“ არსებობდა სპეციალური დასახელება — გროსი.

თორმეტობითი სისტემის ფართოდ გავრცელებას მოწმობს ასეთი ფაქტები: აქამდე წელიწადს ვყოფთ 12 თვედ, დღე-ღამეს კი 24 საათად, ამასთან ყოველდღიურ ცხოვრებაში საათებს მხოლოდ 12-მდე ვანგარიშობთ, ამის შემდეგ კი თვლას ისევ თავიდან ვიწყებთ (დღის პირველი საათი, დღის ორი საათი და ა. შ.). 12 ხშირად გვხვდება აგრეთვე ზღაპრებსა და ლეგენდებში (თორმეტთავიანი გველეშაპი, თორმეტი ძმა-ყაჩაღი), რაც აგრეთვე მოწმობს თვლის თორმეტობითი სისტემის უძველეს წარმოშობას.

ვნახოთ, როგორ გამოისახება რიცხვები ამ სისტემით. ჯერ ერთი, ამ სისტემით 12 ციფრი უნდა გვქონდეს. მაშასადამე, ათ ციფრს კიდევ ორი ციფრი უნდა დავუმატოთ, მაგალითად, ა აღნიშნავდეს ათს, ბ კი თერთმეტს. მეორეც, ამ სისტემით რიცხვის ჩანაწერი უფრო მოკლე იქნება, ვიდრე ჩვენი სისტემით, ხოლო გამრავლების ცხრილი უფრო გრძელი გამოვა. რიცხვი 12 ჩაიწერება როგორც 10_{12} (ისევ ვსვამთ ნიშნაკს $_{12}$-ს იმისათვის, რომ ვიცოდეთ, რომელი სისტემითაა შესრულებული ჩანაწერი); რიცხვი 13 ჩაიწერება ასე: 11_{12}, რიცხვი $35 = 2 \cdot 12 + 11$ როგორც $2\,ბ_{12}$, ხოლო რიცხვი $133 = 11 \cdot 12 + 1$ ჩაიწერება, როგორც $ბ1_{12}$, ე. ი. ის გახდება ორნიშნა. მოვიყვანოთ რიცხვთა გამრავლების ცხრილი[1] ამ სისტემის მიხედვით:

	2	3	4	5	6	7	8	9	ა	ბ
2	4	6	8	ა	10	12	14	16	18	1ა
3	6	9	10	13	16	19	20	23	26	29
4	8	10	14	18	20	24	28	30	34	38
5	ა	13	18	21	26	2ბ	34	39	42	47
6	10	16	20	26	30	36	40	46	50	56
7	12	19	24	2ბ	36	41	48	53	5ა	65
8	14	20	28	34	40	48	54	60	68	74
9	16	23	30	39	46	53	60	69	76	83
ა	18	26	34	42	50	5ა	68	76	84	92
ბ	1ა	29	38	47	56	65	74	83	92	ა1

ზოგიერთ მეცნიერს მიაჩნდა, რომ ასეთი სისტემა უფრო მოსახერხებელია, რადგან რიცხვი 12 მეტ გამყოფს შეიცავს, ვიდრე 10. სინამდვილეში კი ეს განსაკუთრებულ უპირატესობას არ წარმოადგენს.

ქვევით გიამბობთ, რომ ოდესღაც არსებობდა ნუმერაციები, რომელთა ფუძეები იყო 20 და 60.

ახლა კი გავაკეთოთ რამდენიმე ზოგადი დასკვნა: 1) ყოველი რიცხვი, რომელიც ერთისაგან განსხვავდება, გამოდგება თვლის პოზიციური სისტემის ფუძედ; 2) თვლის სისტემაში იმდენი ციფრია საჭირო, რამდენ ერთეულსაც შეიცავს სისტემის ფუძე.

მიუხედავად იმისა, რომ აღრიცხვის ყველა პოზიციური სისტემა პრინციპულად თანატოლუფლებიანია, უფრო მოსახერხებელია სხვადასხვა შემთხვევაში სხვადასხვა სისტემით სარგებლობა. მაგალითად, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ელექტრონულ მანქანებზე ანგარიშის დროს ძირითადად სარგებლობენ ორობითი სისტემით.

ახლა მოვიყვანოთ რამდენიმე ამოცანა, რომელთა ამოსახსნელად უფრო მოსახერხებელია აღრიცხვის არა ათობითი, არამედ სხვა სისტემების გამოყენება.

[1] ამ ცხრილის ჩაწერისას ჩვენ გამოვტოვეთ ნიშნაკი 12, მაგრამ არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ ყველა რიცხვი ჩაწერილია თორმეტობითი სისტემით.

საწონების ამოცანა

აი, ერთ-ერთი კლასიკური ამოცანა, რომელიც უცებ ამოიხსნება, თუ აღრიცხვის სისტემისათვის შესაფერის ფუძეს შევარჩევთ. ეს ამოცანა მოყვანილია XIII საუკუნის სახელგანთქმული მათემატიკოსის ლეონარდო პიზელის მათემატიკურ წიგნში. ამ ამოცანით დაინტერესებული იყო დიდი მათემატიკოსი ეილერიც.

უნდა შეირჩეს 5 ისეთი საწონი, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება 30 კბ-მდე ნებისმიერი ტვირთის აწონა იმ პირობით, რომ საწონები სასწორის მხოლოდ ერთ ჯამზე იქნება დალაგებული.

როგორი საწონები უნდა შევარჩიოთ?

საწონების წონათა ჯამი 30 კილოგრამზე ნაკლები არ უნდა იყოს. მაგრამ, რასაკვირველია, მარტო ეს სრულებითაც არაა საკმარისი. მაგალითად, თუ ავარჩევთ წონით 1, 2, 3, 10 და 15 კბ საწონებს, მათი საშუალებით შეუძლებელი იქნება 7, 8, 9, 22, 23 და 24 კბ ტვირთის აწონა.

გავარჩიოთ ამოცანის მათემატიკური შინაარსი. იმისათვის, რომ რაიმე ტვირთი ავწონოთ სასწორის მხოლოდ ერთ ჯამზე საწონების მოთავსებით, საჭიროა ტვირთის წონა წარმოვადგინოთ როგორც აღებული საწონების წონათა ჯამი ისე, რომ ყოველი საწონი არ იქნეს აღებული ერთ ჯერზე მეტად. თუ ჩვენი არჩეული საწონებია p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, მაშინ ტვირთი, რომლის წონაა $Q \leqslant 30$ კბ, ასე წარმოგვიდგება:

$$Q = a_1p_1 + a_2p_2 + a_3p_3 + a_4p_4 + a_5p_5,$$

სადაც თითოეული კოეფიციენტი ერთის ტოლია, თუ სათანადო საწონს დავდებთ სასწორის ჯამზე, და ნულის ტოლია, თუ ეს საწონი არაა გამოყენებული ტვირთის ასაწონად.

საკითხის ასეთი დასმიდან ჩანს მსგავსება Q რიცხვის წარმოდგენასთან აღრიცხვის ორობით სისტემაში. საჭიროა მხოლოდ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 საწონებად ავიღოთ: $p_1=1$ კბ, $p_2=2$ კბ, $p_3=4$ კბ, $p_4=8$ კბ, $p_5=16$ კბ. მათი წონის ჯამია $1+2+4+8+16=31>30$ კბ. გარდა ამისა, ყოველი Q რიცხვი, რომელიც 31-ს არ აღემატება, შეგვიძლია ასე წარმოვადგინოთ:

$$Q = b_4 2^4 + b_3 2^3 + b_2 2^2 + b_1 2 + b_0,$$

სადაც b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 კოეფიციენტებიდან ყოველი მათგანი ან ერთის ტოლია ან ნულია.

ვთქვათ, მაგალითად, ასაწონია 22 კბ ტვირთი. ჩავწეროთ რიცხვი 22 ორობითი სისტემით:

$$22 = 10110_2.$$

მაშასადამე, უნდა ავიღოთ საწონები $p_2=2$ კბ, $p_3=4$ კბ და $p_5=16$ კბ.

ახლა ამოცანას ცოტათი შევუცვალოთ სახე: ვთქვათ, ასარჩევია 4 საწონი, რომელთა საშუალებითაც შესაძლო იქნება ავწონოთ ნებისმიერი ტვირთი 40 კბ-მდე, იმ პირობით, რომ საწონები შეიძლება დავდოთ სასწორის როგორც ერთ, ისე მეორე ჯამზე.

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ ამ ამოცანის ამოსახსნელად უნდა გამოვიყენოთ სამობითი სისტემა, ე. ი. უნდა ავარჩიოთ შემდეგი 4 საწონი: $p_1=1$ კბ, $p_2=3$ კბ, $p_3=9$ კბ, $p_4=27$ კბ.

ვთქვათ, მაგალითად, ასაწონია 19 კბ ტვირთი. რიცხვი 19 წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$19 = 3\cdot 6 + 1 = 3\cdot(3\cdot 2) + 1 = 2\ 9 + 1 = \\ = 0\cdot 27 + 2\cdot 9 + 0\cdot 3 + 1 = 201_3.$$

ახლა 19 კბ ტვირთი სასწორის მარჯვენა ჯამზე დავდოთ, მარცხენაზე კი 1 კბ ტვირთი მოვათავსოთ. შემდეგ აქვე უნდა დაგვემატებინა ორი ცხრაცხრა კილოგრამიანი საწონი, ჩვენ კი მხოლოდ ერთი ასეთი საწონი გვაქვს.

მაგრამ $18=2\cdot 9$ შეიძლება წარმოვადგინოთ სხვანაირადაც:

$$18 = 2\cdot 9 = (3 - 1)\cdot 9 = 27 - 9.$$

ე. ი. სასწორის მარცხენა ჯამზე უნდა დავდოთ კიდევ 27 კბ საწონი, მარჯვენაზე კი 9 კბ.

ასევე მოვიქცევით სხვა შემთხვევებშიაც. თუ $Q\leqslant 40$ კბ, ის ყოველთვის შეიძლება წარმოვადგინოთ ასე:

$$Q = b_3 3^3 + b_2 3^2 + b_1 3 + b_0,$$

სადაც b_0, b_1, b_2, b_3 კოეფიციენტებიდან თითოეული შეიძლება იყოს 0, 1 ან 2. როცა კოეფიციენტი ნულია, შესაბამის საწონს გვერდზე გადავდებთ; თუ ერთის ტოლია, ვდებთ სასწორის მარცხენა ჯამზე, ხოლო თუ ორისა — ისევე მოვიქცევით, როგორც ახლახან მოვიქეცით, ე. ი. საწონს დავ-

დებთ სასწორის მარჯვენა ჯამზე, სიდიდით მომდევნო საწონს კი — მარცხენაზე.

უნდა გვახსოვდეს ერთი რამ: მართალია, აღრიცხვის სხვადასხვა სისტემით რიცხვები სხვადასხვანაირად ჩაიწერება, მაგრამ ამით არ იცვლება რიცხვთა ძირითადი თვისებები: მაგალითად, 20 იყოფა 2-ზე რა სისტემითაც არ უნდა ჩავწეროთ იგი, ხოლო 27 არ გაიყოფა 2-ზე, მაგრამ გაიყოფა 3-ზე. რიცხვები 3, 5 და 7 აღრიცხვის ყოველ სისტემაში მარტივი რიცხვებია, მაგრამ გაყოფადობის ნიშნები, რომელთა დადგენა იმის მიხედვით ხდება, თუ აღრიცხვის რა სისტემითაა რიცხვი ჩაწერილი, იცვლება სისტემის ფუძესთან ერთად. მაგალითად, რიცხვი იყოფა 5-ზე, თუ იგი თავდება ხუთით ან ნულით, როდესაც ეს რიცხვი ჩაწერილია ათობითი პოზიციური სისტემით. მაგრამ რიცხვი ყოველთვის არ იყოფა 5-ზე, თუ სამობითი სისტემით ამ რიცხვის ჩანაწერი ნულით თავდება, მაგალითად, 10_3 (ე. ი. 3), 100_3 (ე. ი. 9), 1000_3 (ე. ი. 27) არ იყოფა 5-ზე, ხოლო 120_3 (ე. ი. 15) ხუთზე გაიყოფა.

ჩვენი ზეპირი თვლა

ბუნებრივია, ისმის კითხვა: მაინც რატომ ვსარგებლობთ ათობითი სისტემით, და არა რომელიმე სხვაფუძიანი სისტემით? და კიდევ: რიცხვებს ადამიანი ყოველთვის პოზიციური პრინციპის გამოყენებით იწერდა?

ახლა სწორედ ამ კითხვებზე შევეცდებით პასუხის გაცემას.

იმის უკეთ გასარკვევად, თუ როგორ ითვლიდა ძველად ადამიანი, მივმართოთ ჯერ ჩვენს მეტყველებას, ჩვენს ზეპირ თვლას. უწინარეს ყოვლისა, შევნიშნავთ, რომ ჩვენი ზეპირი თვლა ძალიან განსხვავდება წერილობითისაგან.

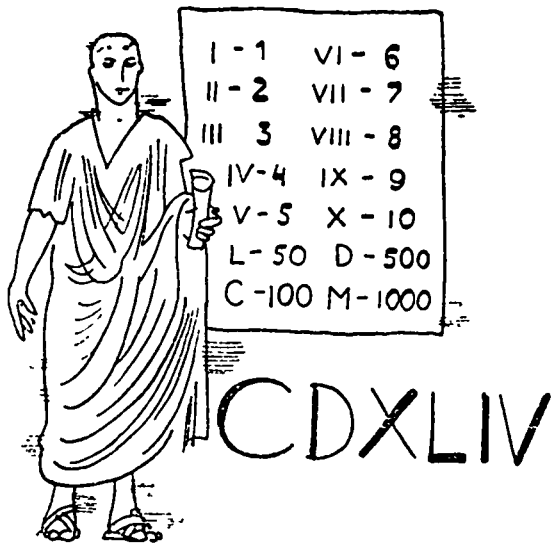
როგორ ვუწოდებთ რიცხვს 444-ს? ჩვენ ვამბობთ: „ოთხას ორმოცდაოთხი“, ე. ი. წარმოვთქვამთ სამ სხვადასხვა სიტყვას: ოთხასს, ორმოცს და ოთხს, წერისას კი სამ ერთნაირ ნიშანს ვწერთ. ამ რიცხვის ჩასაწერად რუსიც, ფრანგიც, ინგლისელიც და გერმანელიც სამ ერთნაირ ნიშანს ხმარობს, თუმცა თითოეული წარმოთქვამს სამ სხვადასხვა სიტყვას, ერთი — რუსულად, მეორე — ფრანგულად, მესამე — ინგლისურად და მეოთხე — გერმანულად.

ამგვარად, ჩვენი წერილობითი ნუმერაცია საერთაშორისო ხასიათისაა მაშინ, როდესაც რიცხვითი სახელები და მათი შედგენის წესი სხვადასხვა ერს სხვადასხვა აქვს. მაგრამ საქმე მარტო ეს როდია. მოდით, უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ, თუ როგორ ვუწოდებთ რიცხვებს.

ნულისა და პირველი ცხრა რიცხვისათვის იხმარება სპეციალური სახელები: „ნული“, „ერთი“, „ორი“, . . . , „ცხრა“; მომდევნო რიცხვისათვის გვაქვს ახალი სიტყვა — „ათი“. ჩვენ არ ვამბობთ: „ერთი, ნული“, თუმცა ვწერთ ერთსა და ნულს: 10.

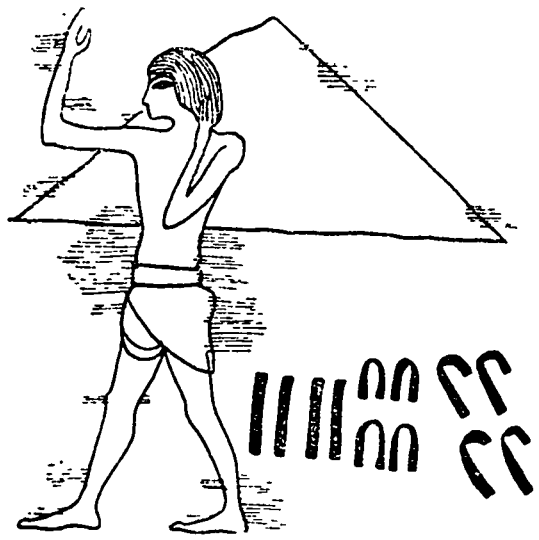
ყველა რიცხვი 11-დან 99-მდე, როგორც წესი, შედგება პირველი რიცხვების სახელწოდებისაგან: თერთმეტი (ათ-ერთ-მეტი), თორმეტი (ათ-ორ-მეტი) და ა. შ. რიცხვ 100-თვის ვხმარობთ ახალ სიტყვას — ასს. ყველა რიცხვის სახელი 101-დან 999-მდე ისევ შედგენილია, ხოლო 1000-სათვის გამოიყენება ახალი სიტყვა „ათასი“. შემდეგ იხმარება აგრეთვე ახალი სიტყვები: მილიონი, მილიარდი, ტრილიონი და ა. შ. როგორც ჩანს, რიცხვების ზრდასთან ერთად იზრდება ამ რიცხვთა სახელების რაოდენობაც. აქედან ჩანს, რომ რიცხვთა სახელების წესი პოზიციური არ არის. ჩვენმა ზეპირმა თვლამ შემოინახა რაღაც უფრო ძველი ნუმერაციების კვალი, რომელთაგან ერთს დღესაც ვიყენებთ რიცხვის რომაული სისტემით ჩაწერისას. აქ გვაქვს სპეციალური ნიშნები ერთისათვის (I), ხუთისათვის (V), ათისათვის (X), ორმოცდაათისათვის (L), ასისათვის (C), ხუთასისათვის (D) და ათასისათვის (M). დანარჩენი რიცხვების ჩაწერა ამ სიმბოლოთა მიმატება-გამოკლების საშუალებით ხდება: მაგალითად, III არის რიცხვი სამის ჩანაწერი (I + I + I), IV — რიცხვი ოთხისა (V — I), VI — რიცხვი ექვსისა (V + I) და ა. შ. ჩვენი რიცხვი 444 რომაული სისტემით ასე ჩაიწერება: CDXLIV.

ჩაწერის ეს ფორმა უფრო მოუხერხებელია, ვიდრე ის, რომლითაც დღეს ვსარგებლობთ. აქ ოთხი ერთეული ერთი სახის სიმბოლოებით იწერება (IV), ოთხი ათეული — სხვა სიმბოლოებით (XL), ხოლო ოთხი ასეული კიდევ სხვა (CD) სიმბოლოებითაა გამოსახული. რიცხვთა ჩანაწერი გრძელი გამოდის. მაგრამ ესეც რომ არ იყოს, რომაული ნუმერაციით ჩაწერილ რიცხვებზე ძალიან ძნელია არითმეტიკული მოქმედებების შესრულება. სცა-



ძველრომაული ციფრები.

დეთ, მაგალითად, 444-ის გამრავლება 36-ზე, როცა ორივე რიცხვი რომაული ციფრებითაა ჩაწერილი. მაშინვე დარწმუნდებით ამ ამოცანის სიძნელეში. თვით რომაელები არითმეტიკული მოქმედებისათვის სპეციალურ საანგარიშო დაფას — აბაკს იყენებდნენ.



ასე დაწერდნენ ძველი ეგვიპტელები 444-ს.

რომაულ სისტემას აქვს კიდევ ერთი არსებითი ნაკლი: იგი არ იძლევა დიდი რიცხვების ჩაწერის საშუალებას. მაგალითად, ამ სისტემის მიხედვით რომ 1 000 000 ჩავწეროთ, M ნიშანი ან 1000-ჯერ უნდა გავიმეოროთ, ანდა ახალი სიმბოლო შევიღოთ. ამგვარად, რიცხვთა ჩასაწერად მათი ზრდის შესაბამისად უნდა შემოვიღოთ სულ ახალი და ახალი ნიშნები. ყოველივე ეს იმის შედეგია, რომ რომაული ნუმერაცია პოზიციური არ არის. მაგალითად, სიმბოლო V აღნიშნავს მხოლოდ ხუთ ერთეულს და არ შეიძლება აღნიშნავდეს ხუთ ათეულს ან ხუთ ასეულს. რომაული ნუმერაცია არც ზუსტად ათობითია. მასში შემონახულია მეორე ფუძის — ხუთის კვალი. მართლაც, აქ არის სპეციალური ნიშნები ხუთის, ორმოცდაათისა და ხუთასისათვის.

ქართულ ზეპირ თვლაშიც მოიძებნება ამ სისტემისათვის დამახასიათებელი ზოგი ნიშანი. მაგალითად, რიცხვითი სახელების შესადგენად 11-დან 19-მდე გამოყენებულია შეკრების მოქმედება: თერთმეტი (ათ-ერთ-მეტი), თორმეტი (ათ-ორ-მეტი) და ა. შ.[1] ოცი ახალ რიცხვით სახელს წარმოადგენს, სწორედ ისევე, როგორც ათი. შემდეგ რიცხვებში გვხვდება შეკრებისა და გამრავლების ოპერაციები, რაც არ არის რომაულ სისტემაში: ოცდაათი (20+10), ორმოცი (2·20), ორმოცდაათი (2·20+10), სამოცი (3·20), სამოცდაათი (3·20 + 10), ოთხმოცი (4·20), ოთხმოცდაათი (4·20+10). ამიტომ ქართულ თვლაში გვაქვს ორი ფუძე 10 და 20, რომელთაგან 10 შესაკრებია მხოლოდ, 20 კი სამრავლი (ასის ფარგლებში). როგორც ჩანს, ძველად ჩვენში ასს ზევითაც ოცობით ანგარიშობდნენ: ოცი, ორმოცი, სამოცი, ოთხმოცი, ხუთმეოცი (ასის ნაცვლად ამბობდნენ) და ა. შ. მაგალითად, „ვეფხისტყაოსანში“ არის ასეთი ადგილი:

„ორთავე ერთგან მოკლული ყველაი ასჯერ
ოცია,
მაგრამ ავთანდილს ოცითა უფროსი დაუხოცია“.

ოცის გარდა თვლის სხვა ფუძეთა ნიშნებიც გვხვდება: ცხრა ძმა, ცხრა მთას იქით, ცხრა ხატი, ცხრა ანგელოზი. აქა-იქ აგრეთვე წესადაა დარჩენილი ზოგიერთი საგნის, განსაკუთრებით კი საჩუქრის ცხრაობით დათვლა. უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ერთ დროს იყენებდნენ აღრიცხვის ცხრაობით სისტემას. ალბათ იმდროინდელია მეზღვაურებში გავრცელებული ცრურწმენა, თითქოსდა მეცხრე ტალღა საბედისწერო იყოს.

რუსულ ენაში შემონახულია ნუმერაციის ნიშნები ფუძით 40, რომლითაც რუსი ხალხის წინაპრები სარგებლობდნენ. მართლაც, ამ რიცხვისათვის რუსულ თვლაში გამოყენებულია ახალი სახელი,

[1] ასევეა რუსულშიაც: Одиннадцать (один-на-десять), ე. ი. ერთი ათს ზევით და ა. შ. მაგრამ 20-დან მოყოლებული რუსულში გამოყენებულია აგრეთვე გამრავლება, რაც რომაულ სისტემაში არ არის: Двадцать არის два десять, ე. ი. 2 × 10.

რომელიც შედგენილი არ არის (сорок) [1]. იმას, რომ 40 რუსულ თვლაში ოდესღაც განსაკუთრებულ როლს ასრულებდა, ადასტურებს აგრეთვე ზოგიერთი ამასთან დაკავშირებული ცრურწმენაც. მაგალითად, ორმოცდამეერთე დათვი მონადირისათვის საბედისწეროდ ითვლებოდა. ამის მსგავსად ევროპელ ხალხებში ფართოდაა გავრცელებული ცრურწმენა, თითქოს 13 ნავსი რიცხვია. მიზეზი ისაა, რომ ერთ დროს გავრცელებული იყო აღრიცხვის თორმეტობითი სისტემა.

ფრანგულშიც არის შემონახული ოცობითი აღრიცხვის ნიშნები [2]. ფრანგი ასს ზევითაც ზოგჯერ ოცობით ითვლის. ძველ ფრანგულში ასეთი თვლა ჩვეულებრივი მოვლენა ყოფილა. ოცობითი თვლის კვალი შემონახულია აგრეთვე ინგლისურსა და ჰოლანდიურ ენებში, ხუთობითისა — სჟანდინავიურში.

ამგვარად, ზეპირმეტყველება გვიჩვენებს, რომ ჩვენი წინაპრები სარგებლობდნენ არაპოზიციური ნუმერაციით და ამასთან აღრიცხვის ფუძედ, გარდა ათისა, სხვა რიცხვებიც ჰქონიათ.

რა წყაროების საფუძველზე შეიძლება ვუპასუხოთ კითხვას, როგორ ანგარიშობდა ადამიანი ძველად?

ჯერ ერთი, დედამიწაზე შემორჩენილია ხალხები, რომელთა განვითარების დონე დღესაც თითქმის ისევე დაბალია, როგორიც ჩვენი შორეული წინაპრებისა იყო. ბევრმა მოგზაურმა და მკვლევარმა აღწერა თვლის მრავალნაირი წესი, რომელიც ამ ხალხებს ჰქონიათ გამოყენებული. ეს არის ერთი წყარო, რომელსაც ჩვენ გავეცნობით.

მეორე წყაროს წარმოადგენს უძველეს ხალხთა წერილობითი საბუთები. ამ ხალხთაგან მოვიხსენიებთ ეგვიპტელებს, ბაბილონელებს, ძველ ბერძნებს, მაიას ტომის ინდიელებს. გამოყენებული იქნება აგრეთვე ქართული წყაროებიც, რომელთა საშუალებით გარკვეულია ძველი ქართული თვლა და წერა. ბოლოს, XI და XII საუკუნის რუსული ხელნაწერები დაგვეხმარება გავიგოთ, როგორ ითვლიდნენ ძველად რუსეთში.

[1] ცნობილია გამოთქმები: „Сорок сороков церквей“, „Сорок сороков черных соболей“.

[2] მაგალითად, 80 იკითხება quatre-vingts (ოთხი-ოცი), 90 — quatre-vingts-dix (ოთხი-ოცი-ათი), ზუსტად ისევე, როგორც ქართულად.

როგორ ითვლიდნენ პირველყოფილი ადამიანები

ჯერ კიდევ ცოტა ხნის წინ არსებობდნენ ტომები, რომელთა ენაში მხოლოდ ორი რიცხვის სახელი იყო „ერთისა“ და „ორისა“. მაგრამ ეს, რასაკვირველია, იმას არ ნიშნავს, რომ ამ ტომთა წარმომადგენლებს არ შეეძლოთ ორზე მეტი რაოდენობის საგნების დათვლა.

ტორესის სრუტეში მდებარე კუნძულების მცხოვრებთ ჰქონდათ მხოლოდ ორი რიცხვითი სახელი: „ურაპუნი“ (ერთი) და „ოკოზა“ (ორი). ისინი ასე ითვლიდნენ: „ოკოზა-ურაპუნი“ (სამი), „ოკოზა-ოკოზა“ (ოთხი), „ოკოზა-ოკოზა-ურაპუნი (ხუთი) და „ოკოზა-ოკოზა-ოკოზა“ (ექვსი). შვიდს და უფრო დიდ რიცხვებს ყველას „ბევრი“ ან „მრავალი“ ეწოდებოდა. ამგვარად, ადამიანმა აქ აითვისა მთელ რიცხვთა მხოლოდ მცირე რაოდენობა. ბევრი რუსული ანდაზაც იმაზე მეტყველებს, რომ ძველ რუსეთში რიცხვითი სახელი „შვიდი“ ბევრის მნიშვნელობით იხმარებოდა („Семь бед — один ответ“, „Семеро одного не ждут“ და სხვა).

მაგრამ დავუბრუნდეთ ჩვენი თხრობის საგანს.

ადამიანებს ძალიან ადრე დასჭირდათ ერთმანეთისთვის გარკვეული ცნობების გადაცემა, მაგალითად, ასეთებისა: ამა და ამ რაოდენობის საგანი ამდენსა და ამდენ დღეში მოეტანათ, ან თითოეულ ტომს ამდენი და ამდენი მეომარი გამოეყვანა. იმ ხალხებმაც კი, რომელთაც მხოლოდ ორი რიცხვითი სახელი ჰქონდათ, იცოდნენ საგანთა საკმაოდ დიდი რაოდენობის „დათვლა“. აი, როგორ იქცეოდნენ ახალი გვინეის მკვიდრნი შესანიშნავი რუსი მოგზაურის ნ. მიკლუხო-მაკლაის გადმოცემით: „ჩვეულებრივი თვლის ხერხი ის არის, რომ პაპუასი ერთიმეორის მიყოლებით ღუნავს ერთი ხელის თითებს და ამასთან გამოსცემს გარკვეულ ბგერებს, მაგალითად, ასეთს: „ბე-ბე-ბე...“, როცა ხუთამდე დაითვლის, ამბობს: „იბონ-ბე“ (ხელი). შემდეგ იგი ღუნავს მეორე ხელის თითებს და ხელახლა იმეორებს — „ბე-ბე...“, სანამ არ იტყვის: „იბონ-ალი“ (ორი ხელი). შემდეგ კვლავ განაგრძობს ასე და ბუტბუტებს: „ბე-ბე“, სანამ არ იტყვის: „სამბა-ბე“, „სამბა-ალი“ (ერთი ფეხი, ორი ფეხი). თუ კიდევ საჭიროა თვლა, პაპუასი იყენებს სხვისი ხელებისა და ფეხების თითებს“.

ამგვარად, თვლის დროს საგნებს, ჩვეულებრივ,

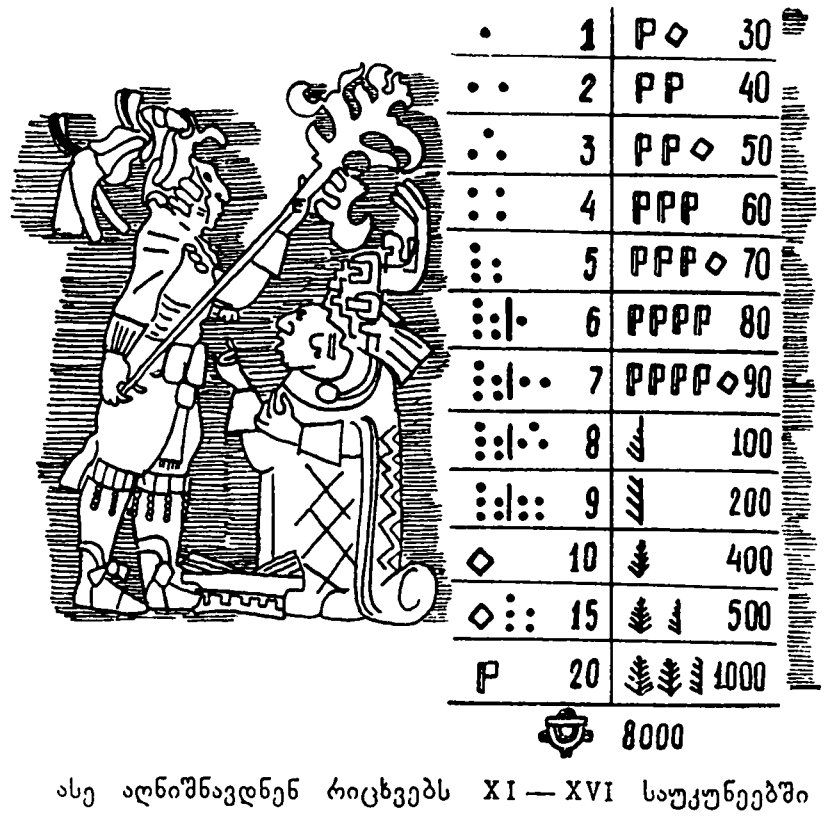
უსაბამებდნენ ხელისა და ფეხის თითებს. მოლაპარაკების დროს საკმარისი იყო ახალი გვინეის მკვიდრს ეთქვა, რომ იგი თვლაში მარჯვენა ფეხის მესამე თითამდე მივიდა. სათანადო რაოდენობის საგნების გადასათვლელად თვლას ხელახლა, მარჯვენა ხელის პირველი თითიდან იწყებდნენ. თითების გადათვლასთან ერთად საგნებსაც ითვლიდნენ. ტორესის სრუტის კუნძულელები ასეთი გადათვლისათვის იყენებდნენ არა მარტო თითებს, არამედ სხეულის სხვა ნაწილებსაც (მაჯას, იდაყვს, მხარს), მაგრამ ყოველთვის გარკვეული თანმიმდევრობით. ამ ხერხით მათ 33 საგნის გადათვლა შეეძლოთ.

ამ წესის არსი ისაა, რომ სხვადასხვა საგანთა ერთობლიობის ერთნაირრიცხვიანობის დადგენა ხდებოდა მათი შეპირისპირებით სხეულის ნაწილებთან ან უბრალოდ ჩხირებთან. ცხადია, გადათვლის ყველაზე უფრო მოსახერხებელი „ხელსაწყო“ იყო თითები და ამის გამო გადათვლის დროს საგნებსაც ხუთ-ხუთად, ათ-ათად და ოც-ოცად აჯგუფებდნენ. ამით აიხსნება, რომ ჩამოყალიბებულ სისტემათა უმრავლესობის ფუძეა 10 (ორივე ხელის თითების რიცხვის მიხედვით), ხოლო ზოგჯერ 5 ან 20.

გადიოდა დრო და ტომების მეურნეობა უფრო და უფრო რთული და ვრცელი ხდებოდა. ახლა უფრო ხშირად მეტი რაოდენობის სხვადასხვა საგნის დათვლა სჭირდებოდათ და ადამიანს აღარ აკმაყოფილებდა თითებზე თვლის საშუალებით მხოლოდ ერთნაირრიცხვიანობის დადგენა.

თვლამ ადამიანი თანდათან შეაჩვია საგნების მტკიცე ჯგუფებად, ორ-ორად, ათ-ათად ან თორმეტ-თორმეტად განლაგებას. საგანთა ასეთი მდგრადი ერთობლიობების აღსანიშნავად გაჩნდა საგანგებო სიტყვები. მაგალითად, ფლორიდის მკვიდრისათვის სიტყვა „ნა-კუა“ ნიშნავდა 10 კვერცხს, „ნა-ბანარა“ — 10 კალათს. მაგრამ „ნა“ სიტყვა, რომელიც თითქოს 10-ს შეესაბამება, ცალკე არ იხმარებოდა. ასევე იყო ფიჯისა და სოლომონის კუნძულებზეც, სადაც ცალკე სიტყვებით აღნიშნავდნენ 100 ნავს, ქოქოსის 100 კაკალს, ქოქოსის 1000 კაკალს, განყენებული რიცხვი კი არ ჰქონდათ. რიცხვი არსებითად სახელდებულ რიცხვს წარმოადგენდა. ეს ჯერ კიდევ კონკრეტულ საგანთა „რიცხვი-ერთობლიობა“ იყო.

მაგრამ დროთა განმავლობაში ხსენებულ „რიცხვ-ერთობლიობათა“ საშუალებით დაიწყეს არა მარტო ერთი რიგის საგნების, არამედ სხვა, მათი მსგავსი საგნების აღნიშვნაც. მაგალითად, „რიცხვი-ერთობლიობანი“, რომლებიც კაკლის გარკვეულ რაოდენობას აღნიშნავდა, შემდეგში შეიძლებოდა გამოეყენებინათ მრგვალი საგნების დასათვლელად. ამას მოჰყვა ის, რომ მრავალი



ასე აღნიშნავდნენ რიცხვებს XI — XVI საუკუნეებში აცტეკების ტომის ინდიელები (მექსიკა).

პირველყოფილი ხალხის ენაში შეიქმნა რიცხვითი სახელების რამდენიმე წყება: ზოგი მათგანი იხმარებოდა მხოლოდ ადამიანთა დასათვლელად, ზოგი — მრგვალი საგნების გადასათვლელად, ზოგი — მოგრძო საგნებისათვის და ა. შ. მაგალითად, ჩიშმიენებს (ბრიტანეთის კოლუმბია) შვიდნაირი რიცხვითი სახელი ჰქონდათ, რომელთაგან თითოეულს გარკვეული სახის საგნების დასათვლელად იყენებდნენ.

მაგრამ ხალხთა უმრავლესობის თვლაში რიცხვებმა, რომლებითაც „ფულს“ ითვლიდნენ, თანდათან გამოდევნეს დანარჩენი რიცხვები. როგორც ჩანს, ეს მოხდა მაშინ, როდესაც ფულის დანიშნულება ძირითადად პირუტყვს (საქონელს) ჰქონდა დაკისრებული: საჭირო იყო ჯოგების გადათვლა მათზე სხვა საგნების გადასაცვლელად. ბუნებრივია, რომ ის რიცხვები, რომლებსაც საქონლის დასათვლელად იყენებდნენ, ყველაზე უფრო გავრცელდა და ყველამ კარგად იცოდა. სწორედ ისინი

იქცა იმ უნივერსალურ რიცხვებად, რომლებმაც შესაძლო გახადა ნებისმიერი საგნების დათვლა.

მაგრამ ასე მხოლოდ ის რიცხვები შეიქმნა, რომელთაც შეესაბამებოდა „რიცხვი-ერთობლიობანი“: ათობით თვლასთან დაკავშირებით გაჩნდა სახელწოდებანი ათისათვის, ათი ათეულისათვის (ე. ი. ასისათვის), ათი ასეულისათვის (ე. ი. ათასისათვის). ამის გარდა, ინდივიდუალური სახელი, როგორც წესი, დაერქვა ათზე ნაკლებ ყოველ რიცხვს. რაც შეეხება რიცხვებს 11, 12, ..., 19, 21, და ა. შ., ისინი თავიდანვე შედგენილი იყო ძირითადი რიცხვებისაგან იმ მოქმედებათა საშუალებით, რომლებსაც საგნების დასათვლელად ასრულებდნენ თავდაპირველად. მაგალითად, კლამატების (ჩრდილოეთი ამერიკა), აგრეთვე ბრიტანეთის კოლუმბიის ტომების ენაზე შედგენილი რიცხვების აღსანიშნავად განსაკუთრებული ზმნები იხმარებოდა. მაგალითად, ინდიელი ამბობდა: „ორჯერ ათ ნაყოფს ზევიდან დავადე ექვსი“, ეს კი აღნიშნავდა 26 ნაყოფს. ასეთი ფრაზა მთლიანად შეესაბამება ფაქტიურ გადათვლას: ინდიელები 10 საგანს ერთ წყებად ალაგებდნენ, მეთერთმეტეთი იწყებდნენ ახალ წყებას და ა. შ. ეს მოძრაობითი მოქმედებანი თანდათანობით არითმეტიკულ მოქმედებებად იქცა.

თვლის აღნიშნული წესის თვალსაჩინოებისათვის გამოდგება რიცხვთა ის აღნიშვნები, რომლებიც XI — XVI საუკუნეებში აცტეკების ტომის ინდიელებს (მექსიკა) ჰქონდათ მიღებული: ერთს აღნიშნავდნენ წერტილით, ორს — ორი წერტილით და ა. შ. ხუთამდე.

6-ის ჩანაწერში შედიოდა ვერტიკალური ხაზი, რომელიც ხუთ პირველ წერტილს მეექვსისაგან აცალკევებდა. აქ ცხადად ჩანს, რომ თვლას ახორციელებდნენ ჯგუფების მიხედვით, ხუთ-ხუთობით. ხაზი ერთ ასეთ ჯგუფს მეორისაგან გამოყოფდა, ხოლო თვით ეს ხაზი არავითარ რიცხვს არ აღნიშნავდა.

შედგენილ რიცხვთა წარმოსაქმნელად ძირითად მოქმედებას წარმოადგენდა შეკრება, ხოლო ზოგჯერ გამრავლებაც. მაგალითად, ქართულ ენაში, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, რიცხვითი სახელების შესადგენად იხმარება როგორც შეკრება, ისე გამრავლება (ორმოცდაშვიდი: ორი × ოცზე + შვიდი), უნგრულ-ფინურ ენებში გამოყენებულია გამოკლებაც: რიცხვი 8 იქ წარმოითქმის როგორც „ორი-ათი“ (ე. ი. ათი ორით ნაკლები), 80 როგორც „ორი-ასი“, 800 — „ორი-ათი-ასი“ („ათი ასი“ ე. ი. ათასი, — გამრავლების პრინციპი). ახლა ვნახოთ, როგორი იყო რიცხვთა პირველი ჩანაწერები და როგორ ასრულებდა ადამიანი რიცხვებზე მოქმედებებს.

პირველი ნუმერაციები

ერთ-ერთი უძველესი ნუმერაცია ეგვიპტური ნუმერაციაა. ჩვენამდე მოაღწია წარწერებმა, შემონახულმა პირამიდებში, ფილებზე და ობელისკებზე. ისინი შედგება სურათი-იეროგლიფებისაგან, რომლებიც გამოსახავენ ჩიტებს, მხეცებს, ადამიანებს, ადამიანთა სხეულის ნაწილებს (თვალებს, ფეხებს) და სხვადასხვა უსულო საგანს.

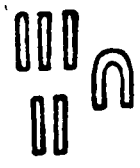
წერის ასეთი ხერხი დამახასიათებელია კულტურის ადრინდელი საფეხურებისათვის. ასე წერდნენ ცენტრალური ამერიკის მცხოვრებლები — მაიას ტომის ინდიელები, ასევე წერდნენ პერუელები, ძველი ჩინელები. წერილობით ძეგლთა ამოკითხვა ძნელზე ძნელია, რადგან ხშირად უცნობია როგორც ძველი ხალხების ენა, ისე ცალკეული იეროგლიფის მნიშვნელობა. მაგრამ, მიუხედავად ამ სიძნელისა, ბევრი წარწერა უკვე ამოკითხულია.

შემონახულია ორი მათემატიკური პაპირუსი, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ, როგორ ითვლიდნენ ძველი ეგვიპტელები. ერთი მათგანი ბრიტანეთის მუზეუმში ინახება, მეორე — მოსკოვის სახვითი ხელოვნების მუზეუმში. რიცხვების ჩასაწერად ძველი ეგვიპტელები იყენებდნენ იეროგლიფებს, რომელთა მნიშვნელობა (მიმდევრობით) შემდეგნაირია: ერთი, ათი, ასი, ათასი, ათი ათასი, ასი ათასი (ბაყაყი), მილიონი (ხელებაწეული კაცი), ათი მილიონი:



ვარაუდობენ, რომ ასის იეროგლიფი საზომ თოკს გამოსახავს, ათასის იეროგლიფი — ლოტოსის ყვავილს, 10 000-ისა—ზეაშვერილ თითს, ხოლო 10 000 000-ისა — მთელ სამყაროს. ყველა დანარჩენი რიცხვი ძირითად რიცხვებზე ერთადერთი მოქმედების — მათი შეკრების საშუალებით მიიღებოდა. ამასთან ჩაწერა ხდებოდა არა მარცხნიდან

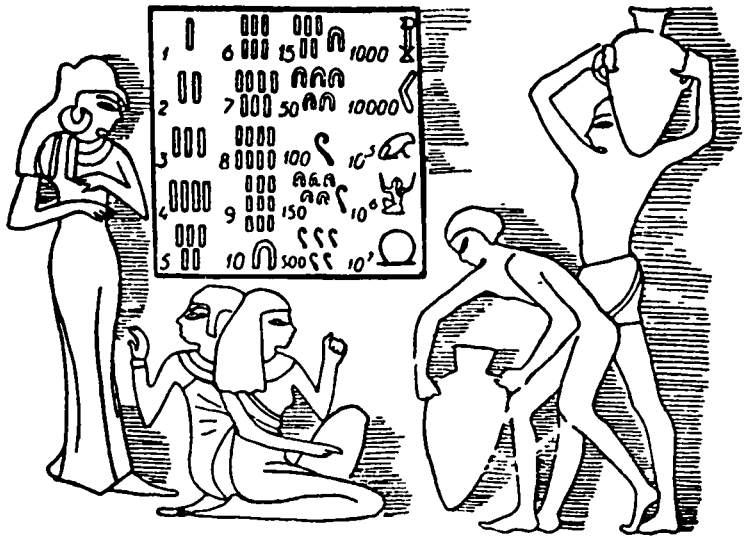
მარჯვნივ, როგორც ჩვენთანაა მიღებული, არამედ მარჯვნიდან მარცხნივ. 15, მაგალითად, ასე იწერებოდა:



444 კი იწერებოდა ასე:



როგორც ვხედავთ, ძველეგვიპტური ნუმერაცია რომაულს წააგავს, მხოლოდ რიცხვთა ჩაწერისას გამოკლება არაა გამოყენებული. რომაული ნუმერაციის გაცნობამ დაგვარწმუნა, რამდენად მოუხერხებელია არაპოზიციური სისტემით ჩაწერილ რიცხვთა გადამრავლება. მაშ, როგორღა ანგარიშობდნენ ძველი ეგვიპტელები? თურმე გამრავლებასა და გაყოფას ისინი რიცხვთა თანმიმდევრობითი



ძველეგვიპტური ციფრები.

გაორკეცების საშუალებით ასრულებდნენ. ვთქვათ, მაგალითად, 19 გასამრავლებელია 37-ზე. ეგვიპტელი მიმდევრობით აორკეცებდა 37-ს, ამასთან მარჯვენა სვეტში წერდა გაორკეცების შედეგებს, ხოლო მარცხენაში — ორის სათანადო ხარისხებს:

1	37
2	74
4	148
8	296
16	592

გაორკეცება მანამდე გრძელდებოდა, სანამ არ აღმოჩნდებოდა, რომ მარცხენა სვეტის რიცხვებისაგან შეიძლებოდა მამრავლის შედგენა (ჩვენს მაგალითში $19=1+2+16$). სათანადო სტრიქონებს ეგვიპტელი ნიშნავდა პატარა ვერტიკალური ხაზებით და კრებდა იმ რიცხვებს, რომლებიც იმავე სტრიქონებში მარჯვნივ იდგა. ამ შემთხვევაში უნდა შეიკრიბოს $37+74+592=703$. ასე მიიღებოდა ნამრავლი.

თუ სურდა 703 გაეყო 19-ზე, ეგვიპტელი იწყებდა გამყოფის მიმდევრობით გაორკეცებას და ამას განაგრძობდა მანამ, სანამ მარჯვენა სვეტის რიცხვები 703-ზე ნაკლები რჩებოდა. შემდეგ მარჯვენა სვეტის რიცხვებისაგან ცდილობდა გასაყოფის შედგენას, და მაშინ შესაბამისი რიცხვების ჯამი მარცხენა სვეტში იძლეოდა გამყოფს:

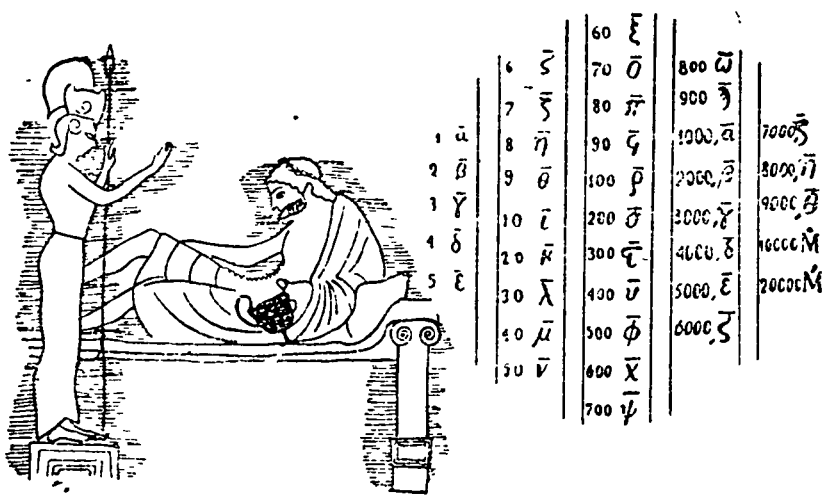
1	19
2	38
4	76
8	152
16	304
32	608

ამ შემთხვევაში $703=608+76+19$, ე. ი. განაყოფი იქნება $1+4+32=37$. თუ გასაყოფი უნაშთოდ არ იყოფა, მისი შედგენა მარჯვენა სვეტის რიცხვებით შეუძლებელია. ჩვენ გვექნებოდა როგორც განაყოფი, ისე ნაშთი.

გამრავლების ეგვიპტური წესი ძნელი არ არის, მაგრამ იგი მრავალი მოქმედების შესრულებას მოითხოვს, მაშინაც კი, როდესაც გადასამრავლებელი რიცხვები ორნიშნაა. ამ წესით ძალიან დიდი რიცხვების გადამრავლებისას ჩვენ გვერდს ვერ ავუვლით მანქანის გამოყენებას. შევნიშნავთ აგრეთვე, რომ გამრავლებისა და გაყოფისათვის ეგვიპტელები რიცხვს ფაქტიურად ორობითი სისტემით წერდნენ.

ანბანური ნუმერაციები. „ფსამიტი“

ჩვენ დავინახეთ, რომ არაპოზიციური ნუმერაციები მაინცდამაინც მოხერხებული არ არის: რიცხვის ჩანაწერი ასეთი ნუმერაციით ძალიან გრძელია, არითმეტიკული მოქმედებები ძნელი შე-



რიცხვთა ბერძნული ანბანური აღნიშვნა.

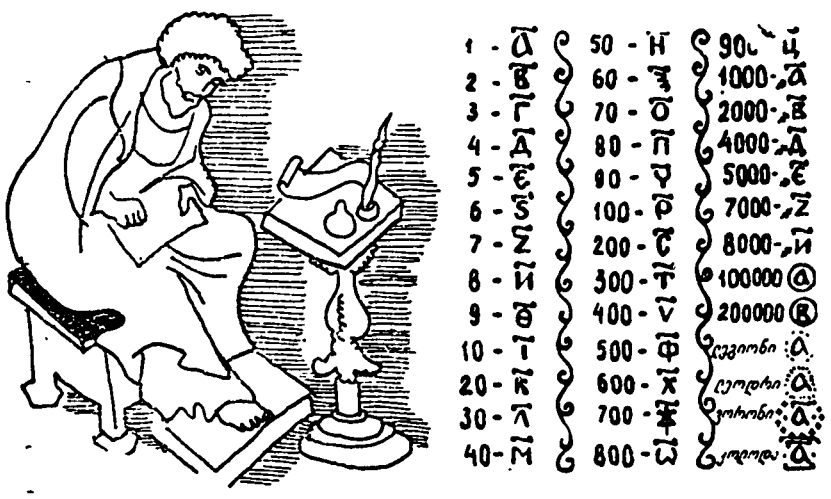
სასრულებელია. ვაჭრობისა და ხელოსნობის განვითარებასთან ერთად ეს უხერხულობა უფრო და უფრო საგრძნობი ხდებოდა, და აი, მცირე აზიაში, სადაც ძველბერძნული კოლონიები იყო და გაცხოველებული ვაჭრობა მიმდინარეობდა, V საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე გაჩნდა ახალი ტიპის აღრიცხვის სისტემა, ე. წ. ანბანური ნუმერაცია. მას ჩვეულებრივ იონიური სისტემა ეწოდება. ამ სისტემით რიცხვს აღნიშნავდნენ ანბანის ასოთი, რომელსაც თავზე ხაზი ჰქონდა დასმული. პირველი ცხრა ასო აღნიშნავდა რიცხვებს 1-დან 9-მდე, შემდეგი ცხრა — რიცხვებს 10, 20, 30, ... , 90-მდე, შემდეგი ცხრა — რიცხვებს 100, 200 და ა. შ. 900-მდე. ამგვარად შეიძლება ნებისმიერი რიცხვის ჩაწერა 999-მდე.

1000, 2000, ..., 9000 რიცხვების ჩასაწერად ბერძნები იმავე ასოებს ხმარობდნენ, რომელთაც 1, 2, ..., 9 რიცხვების ჩასაწერად იყენებდნენ, მხოლოდ მარცხნიდან ქვევით პატარა ირიბ ხაზს უწერდნენ, როგორც ეს აქ მოყვანილი ნახატიდან ჩანს. შემდეგ, 10 000-სათვის იხმარებოდა ნიშანი $\overset{\alpha}{M}$. ამ რიცხვს მირიადი (ბევრი) ეწოდებოდა; ორი მირიადი, ე. ი. 20 000 აღინიშნებოდა ასე: $\overset{\beta}{M}$. ამ წესით შეიძლებოდა ყველა რიცხვის აღნიშვნა მირიად მირიადამდე, ე. ი. 10^8-მდე (ბევრის ბევრამდე). უფრო მაღალი ათობითი თანრიგის ჩაწერა იონიური ნუმერაციით უკვე არ შეიძლებოდა და ძველბერძნულ ენაში მათი დასახელებაც არ იყო.

ძველი დროის დიდმა მათემატიკოსმა, მექანიკოსმა და ინჟინერმა არქიმედემ (III ს. ძვ. წ.) მთელი თხზულება მიუძღვნა ნებისმიერად დიდი რიცხვის სახელწოდების ზოგადი წესის შექმნას. ძველი ბერძნები, აგრეთვე სხვა ხალხებიც, ძალიან დიდი ან უთვალავი რაოდენობის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად იშველიებდნენ ქვიშის მარცვალთა რიცხვს.

ხალხურ ზღაპრებში ხშირად ვხვდებით „ამოუხსნად“ ამოცანებს, როგორიცაა ცაზე ვარსკვლავების დათვლა, ზღვაში — წვეთისა და მიწაზე — ქვიშისა. არქიმედემ გვიჩვენა, რომ ასეთი ამოცანები შეიძლება ამოიხსნას. თავის ნაშრომს მან სწორედ „ქვიშის აღრიცხვა“ („ფსამიტი“) უწოდა. ხსენებულ ნაშრომში არქიმედემ ააგო თვლის სისტემა, სადაც იყო არა მარტო ისეთი რიცხვები, რომლებიც მისი მშობლიური სიცილიის ქვიშის მარცვლების რაოდენობას აღემატებოდა, არამედ ისეთებიც, რომლებიც მეტი გახლდათ მთელი სამყაროს ქვიშის მარცვალთა რაოდენობაზე, თუგინდ სამყარო ქვიშით ყოფილიყო ამოვსებული. მაგრამ რა მიაჩნდა არქიმედესდროინდელ ბერძენს მთელ სამყაროდ? თავის ნაშრომში არქიმედე, როგორც ბერძენი ასტრონომი არისტარქე სამოსელი, ვარაუდობდა, რომ სამყაროს ცენტრში იმყოფება მზე, ხოლო დედამიწა და სხვა პლანეტები მას გარს უვლიან. სამყარო სფეროს ფორმისაა, ხოლო ამ სფეროს ზედაპირზე განლაგებულია უძრავი ვარსკვლავები. ეს იყო სამყაროს პირველი ჰელიოცენტრული სისტემა.

ქვიშის რაოდენობის გამოსათვლელად არქიმედეს დააახლოებით მაინც უნდა განესაზღვრა როგორც ქვიშის მარცვლის, ისე სამყაროს დიამეტრი და შემდეგ გამოეთვალა მათი მოცულობების შეფარდება. თავისი დროის ასტრონომიის მონაცემებსა და საკუთარ გამოკვლევებზე დაყრდნობით არქიმედემ ეს შეძლო. ქვიშის მარცვალ-



ასე წერდნენ რიცხვებს ძველ სლავურ ნუმერაციაში.

თა რაოდენობის აღმნიშვნელი რიცხვი, რომელიც მას უნდა მიეღო, ჩვენი ნუმერაციით ასე ჩაიწერება 10^{63}. ეს ძალიან დიდი რიცხვია და არქიმედემდე არ ყოფილა ასეთი რიცხვის არც ჩაწერის და არც დასახელების საშუალება.

ამოცანის ამოსახსნელად არქიმედე ასე მოიქცა: მირიადთა მირიადზე ნაკლები რიცხვები, ე. ი. ყველა რიცხვი 1-დან (10^8 — 1)-მდე ერთ ოქტადაში გააერთიანა და „პირველი რიცხვები“ უწოდა. 10^8 წარმოადგენს მეორე ოქტადის ერთეულს. ამ ოქტადაში შედის ყველა რიცხვი 10^8-დან ($10^{2 \cdot 8}$—1)-მდე. ესაა „მეორე რიცხვები“. ამის ანალოგიურად $10^{2 \cdot 8}$ წარმოადგენს მესამე ოქტადის ერთეულს, ხოლო რიცხვები $10^{2 \cdot 8}$-დან ($10^{3 \cdot 8}$ — 1)-მდე „მესამე რიცხვებია“. თუ ასე განვაგრძობთ, შეგვიძლია მივიდეთ მირიადა-მირიადულ ოქტადამდე, რომელიც შეიცავს რიცხვებს $10^{(10^8 - 1) \cdot 8}$-დან მოყოლებული ($10^{8\,10^8}$—1)-მდე. ყველა ეს ოქტადა არქიმედემ პირველ პერიოდში გააერთიანა. რიცხვი $10^{8 \cdot 10^8}$ წარმოადგენს მეორე პერიოდის პირველი ოქტადის ერთეულს და ა. შ. ამ წესით შეგვიძლია მივიდეთ მირიადა-მირიადული პერიოდის ბოლო ოქტადის ბოლო რიცხვამდე. აქ არქიმედე შეჩერდა, თუმცა ცხადია, რომ აღრიცხვის ასეთი ხერხის მეშვეობით კიდევ შეიძლება წინსვლა, თუ ყველა პერიოდი გაერთიანდება რაიმე ახალ თანრიგში.

ის რიცხვებიც კი, რომლებიც არქიმედემ ააგო, სავსებით საკმარისია მთელი სამყაროს ქვიშის მარცვალთა დასათვლელად. საჭირო რიცხვს შეიცავს უკვე პირველი პერიოდის მერვე ოქტადა. არქიმედემ რიცხვთა აგება შემდეგ იმისათვის გააგრძელა, რომ აეხსნა ნებისმიერად დიდი რიცხვების დასახელების მეთოდი.

არქიმედეს წესი პოზიციურს უახლოვდება, მაგრამ კაცობრიობას მას შემდეგ თითქმის ათასი წელი დასჭირდა, სანამ აღრიცხვის ათობით პოზიციურ სისტემას შექმნიდა.

ანბანური სისტემები, იონიელებს გარდა, ჰქონდათ ძველ ებრაელებს, ფინიკიელებს, სომხებს, ქართველებს და ბევრ სხვა ხალხს. ძველ რუსეთშიაც ანბანური ნუმერაცია იყო მიღებული. ბერძნულის მსგავსად რუსულ ნუმერაციაში ასოს, რომელიც რაიმე რიცხვს გამოსახავდა, ზევიდან სპეციალური ნიშანი — ტიტლო — ჰქონდა დასმული, ეს იმიტომ, რომ რიცხვის ჩანაწერი სიტყვების ჩანაწერისაგან გაერჩიათ.

ქართველები ასეთ ნიშანს, როგორც წესი, არ ხმარობდნენ. ამას გარდა, აღსანიშნავია, რომ ქართული ნუმერაცია თანმიმდევრულად ქართულ ანბანზეა აგებული, ზოგი სხვა ნუმერაცია კი ყოველთვის ზუსტად არ მისდევს საკუთარ ანბანსა და ბერძნული ანბანის მიხედვითაა განლაგებული. ამ გარემოებათა გამო ქართული ნუმერაცია საკუთარ ნიადაგზეა შექმნილი და დამოუკიდებელი შემოქმედების ნაყოფს წარმოადგენს, თუმცა ისიც აღსანიშნავია, რომ ზეპირი თვლის ათობით-ოცობითობა წერაში გადმოტანილი არ არის.

ქართული ანბანური ასო-რიცხვითნიშნები

ა	ბ	გ	დ	ე	ვ
1	2	3	4	5	6
ზ	ჱ	თ	ი	კ	ლ
7	8	9	10	20	30
მ	ნ	ჲ	ო	პ	ჟ
40	50	60	70	80	90
რ	ს	ტ	უ	ფ	ქ
100	200	300	400	500	600
ღ	ყ	შ	ჩ	ც	ძ
700	800	900	1000	2000	3000
წ	ჭ	ხ	ჯ	ჴ	ჰ
4000	5000	6000	7000	8000	9000
ჵ					
10000					

ქართული ანბანური ნუმერაცია ჩვენში დიდხანს შემოინახა. XVIII საუკუნეში ქართველი კაცი ამ ნუმერაციას კიდევ იყენებდა, თუმცა ინდური პოზიციური ნუმერაცია საქართველოში XI საუკუნიდან იყო ცნობილი. ქართული ნუმერაციის ცნობილ საბასეულ ნუსხაში ჯ ნიშნავს ათი ათასს (ბევრი), რაც მეორენაირად ასე აღინიშნება იჩ (ი — ათი, ჩ — ათასი). ეს მეორე აღნიშვნა უკვე გამრავლებაზეა აგებული და ქართული ნუმერაციის თავისებურებას გამოხატავს. ასევე რ არის 100, ამიტომ რჩ ასი ათასია.

ბუნებრივია ვივარაუდოთ, რომ „ვეფხისტყაოსანში“ ბევრ-ათასი და ბევრის ბევრი სწორედ ჰამრავლის მნიშვნელობითაა ნახმარი:

„როშაქ მონაა თავადი მონისა ბევრ-ათასისა“ (ათი მილიონი).

„ქალსა ცრემლი გარდმოსცვივდა ას ნაკეცი, ბევრის ბევრად“ (ასი მილიონი).

ახლა ვნახოთ, რამდენად მოსახერხებელია ანბანური სისტემა. ჩავწეროთ ქართულად 444. ცხრილის მიხედვით 400 არის უ, 40 — მ და 4 — დ, ამიტომ გვექნება ჩანაწერი:

უმდ.

ანბანურ ნუმერაციებს დიდი ნაკლიც აქვს: მათი საშუალებით ნებისმიერი დიდი რიცხვის ჩაწერა არ შეიძლება. ისინი ძალიან მოხერხებულია მხოლოდ გარკვეულ რიცხვამდე, სახელდობრ, 1000-მდე რუსულში და 10 000-მდე ქართულში, ე. ი. სანამ ანბანის ასოები დამატებითი ნიშნების გარეშეა საკმარისი რიცხვების ჩასაწერად.

როგორც ვნახეთ, ბევრის ბევრზე დიდი რიცხვების ჩასაწერად ქართველებმა გამრავლების პრინციპი გამოიყენეს. სლავები, ისე როგორც ბერძნები, კიდევ უფრო დიდი რიცხვების ჩაწერას ახერხებდნენ, მაგრამ ამ შემთხვევაში იყენებდნენ დამატებით ნიშნებს. რიცხვებს 1000, 2000 და ა. შ. ისინი იმავე ნიშნებით წერდნენ, როგორც 1, 2, ... რიცხვებს, მხოლოდ მარცხნივ ქვევით უკეთებდნენ



ნიშანს. მაგალითად, 1000 ასე აღინიშნებოდა: . რიცხვი 10 000 იმავე ასოთი აღინიშნებოდა, როგორც 1, მაგრამ უკვე ტიტლოს დაუსმელად. მას წრე ჰქონდა შემოვლებული: 10 000 =  . ამ რიცხვს რუსულად „ტმა“ (ბევრი) ეწოდებოდა.

10 ტმა, ანუ 100 000, უმაღლესი თანრიგის ერთეულს წარმოადგენდა. მას ეწოდებოდა „ლეგიონი“. ლეგიონთა აღსანიშნავად პირველ 9 ციფრს ირგვლივ წერტილების წრეს ავლებდნენ: 100 000 =



და ა. შ. 10 ლეგიონი შეადგენდა ახალ ერთეულს და მას ლ ე ო დ რ ი ეწოდებოდა. ლეოდრების აღსანიშნავად სათანადო რიცხვს პატარა ხაზების წრეს ავლებდნენ:

1 000 000 =  და ა. შ.

ეს აღნიშვნები შეგვიძლია გაწვიხილოთ როგორც პოზიციური სისტემის ჩანასახი, რადგან სხვადასხვა თანრიგის ერთეულთა აღსანიშნავად ერთი და იგივე სიმბოლოები იხმარებოდა, მხოლოდ მათ ემატებოდა თანრიგის აღმნიშვნელი ნიშნაკები. ასეთ სისტემას „მცირე რიცხვი“ ეწოდებოდა. მასში მილიონზე მეტი რიცხვი არ აღინიშნებოდა.

მაგრამ სლავებს ამასთან ერთად ჰქონდათ „დიდი“ რიცხვიც, რომელშიც ტმა უკვე 1000000 იყო. „ტმა ტემს“ (ე. ი. 10^{12}) ეწოდებოდა ლ ე გ ი ო ნ ი, ლეგიონთა ლეგიონს (ე. ი. 10^{24}) — ლ ე ო დ რ ი, ლეოდრების ლეოდრს (ე. ი. 10^{48} — ვ ო რ ო ნ ი, ხოლო 10^{49} რიცხვს — კ ო ლ ო დ ა.

სულხან საბა ორბელიანის მოწმობით დიდი რიცხვები ქართულშიაც იხმარებოდა: უშქარი (მილიონი), უშტი (ათი მილიონი) და სხვა.

ანბანური ნუმერაციები, როგორც ზემოთ ვთქვით, ნაკლებ გამოსადეგი იყო დიდ რიცხვებზე მოქმედებისათვის (ამ რიცხვებს უკვე ძველადაც ხვდებოდნენ, მაგალითად, ასტრონომიულ გაანგარიშებებში). საზოგადოების განვითარების პროცესში ამ სისტემებმა ადგილი დაუთმო პოზიციურ სისტემას. მაგრამ ანბანური ნუმერაციის ნაშთები დღეისათვისაც შემორჩა. მაგალითად, პუნქტებს ხშირად ანბანის ასოებით ვნომრავთ. აქ ასოები უკვე მიმდევრობით განლაგებას აღნიშნავს და არა რაოდენობას. ასეთ ასოებზე არავითარ არითმეტიკულ მოქმედებებს არ ვასრულებთ.

პოზიციური სისტემები

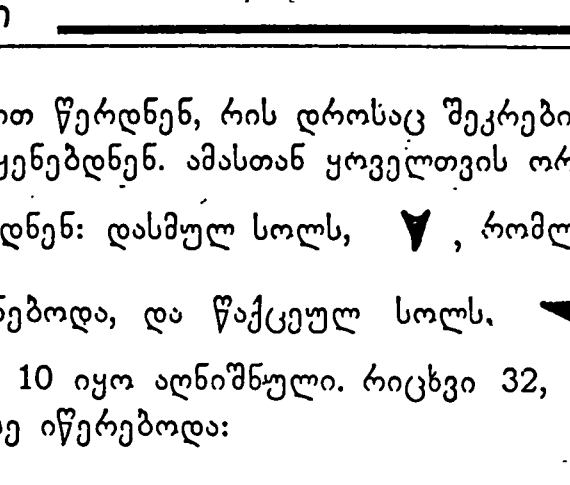
აღრიცხვის პირველი, ჩვენთვის ცნობილი პოზიციური სისტემა არის ბაბილონელთა სამოცობითებური სისტემა, რომელიც ჩვენს წელთაღრიცხვამდე დაახლოებით 2500 — 2000 წლით ადრე წარმოიშვა. მისი ფუძე იყო რიცხვი 60. მაშასადამე, მასში 60 ციფრი უნდა ყოფილიყო, გამრავლების ცხრილში კი $\frac{60 \cdot 60}{2} = 1800$ სტრიქონი.

მაინც როგორ წერდნენ თავიანთ ციფრებს ბაბილონელები და როგორ იმახსოვრებდნენ გამრავლების ასეთ გასაოცარ ტაბულას? ისინი ასე იქცეოდნენ: ყველა რიცხვს 1-დან 59-მდე ათობითი

სისტემით წერდნენ, რის დროსაც შეკრების პრინციპს იყენებდნენ. ამასთან ყოველთვის ორ ნიშანს ხმარობდნენ: დასმულ სოლს, , რომლითაც 1 აღინიშნებოდა, და წაქცეულ სოლს, , რომლითაც 10 იყო აღნიშნული. რიცხვი 32, მაგალითად, ასე იწერებოდა:

ბაბილონელები სწორედ ამ ნიშნებს იყენებდნენ თავიანთ სისტემაში ციფრებად. 60 იმავე ნიშნით იწერებოდა, რომლითაც 1, ე. ი.  . ასევე აღინიშნებოდა 3600, 60^3 და 60-ის ყველა სხვა ხარისხი. მაგალითად. რიცხვი 92 ასე იწერებოდა:

ამგვარად, „ციფრებს“, ე. ი. ყველა რიცხვს 1-დან 59-მდე ბაბილონელები ათობითი არაპოზიციური სისტემის მიხედვით წერდნენ, ხოლო მთლიანად რიცხვს პოზიციური სისტემით, რომლის ფუძე იყო 60. სწორედ ამიტომ ვუწოდებთ მათ სისტემას სამოცობითებურს (და არა სამოცობითს, რაც იმ შემთხვევაში გვექნებოდა, თუ მხედველობაში მარტო ერთ ფუძეს, 60-ს მივიღებდით).



რიცხვების ძველბაბილონური ლურსმული ჩანაწერი.

მაგრამ ბაბილონელთა ნუმერაციას კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურება ჰქონდა — მას არ გააჩნდა ნულის აღმნიშვნელი ნიშანი. და თუ გამოსახული იყო დასმული სოლი , დამატებითი ახსნა-განმარტების გარეშე შეუძლებელი ჩდებოდა იმის გამოცნობა, რა რიცხვი იყო ჩაწერილი: 1, 60, 3600 თუ 60-ის რაიმე სხვა ხარისხი. ჩანაწერით, რომელიც 92-სათვის მოვიყვანეთ, შეიძლებოდა არა მარტო $92 = 60 + 32$ აღნიშვნა, არამედ $3600 + 32 = 3632$, აგრეთვე $1\frac{32}{60}$ ან $1\frac{32}{3600}$ და ა. შ.

ამგვარად, ბაბილონურ ნუმერაციაში ჩანაწერს არ ჰქონდა აბსოლუტური ხასიათი — რიცხვის ნამდვილი მნიშვნელობის გასარკვევად დამატებითი ცნობები იყო საჭირო. შემდეგში ბაბილონელებმა საგანგებო სიმბოლოც შემოიღეს გამოტოვებული სამოცობითი თანრიგის აღსანიშნავად. მაგალითად, რიცხვი 3632 ასე უნდა ჩაეწერათ:

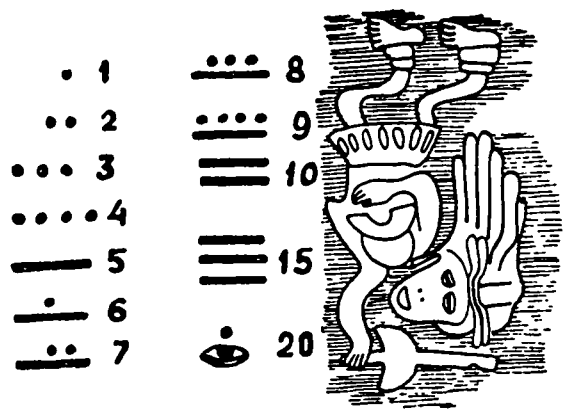


მაგრამ ამ სიმბოლოს რიცხვის ბოლოში არასოდეს არ წერდნენ.

გამრავლების ტაბულას ბაბილონელი არასოდეს არ იმახსოვრებდა, რადგან ეს თითქმის შეუძლებელი იყო. თავიანთ გამოთვლებში ისინი იყენებდნენ გამრავლების მზამზარეულ ცხრილებს ისევე, როგორც ჩვენ ვიყენებთ დღეს ლოგარითმების ცხრილს. გათხრების შედეგად მრავალი ასეთი ცხრილი იპოვნეს.

ბაბილონელთა სამოცობითებურმა სისტემამ დიდი როლი შეასრულა მათემატიკისა და ასტრონომიის განვითარებაში. მისი კვალი დღემდეა შემონახული. მაგალითად, საათს დღემდე ვყოფთ 60 წუთად, ხოლო წუთს 60 წამად. ბაბილონელთა მაგალითის მიხედვით წრეწირსაც 360 ნაწილად (გრადუსად) ვანაწილებთ.

ჩვენი წელთაღრიცხვის დასაწყისში მაიას ტომის ინდიელებს, რომლებიც ცენტრალურ ამერიკაში იუკატანის ნახევარკუნძულზე ცხოვრობდნენ, ჰქონდათ სხვა პოზიციური სისტემა. ამ სისტემის ფუძე იყო 20. თავიანთი ციფრების ჩასაწერად მაიას ტომის ინდიელები, ბაბილონელების მსგავსად, შეკრების პრინციპს იყენებდნენ. ერთს ისინი წერტილით აღნიშნავდნენ, ხუთს — ჰორიზონტალური ხაზით (იხ. ნახატი), მაგრამ ამ სისტემას უკვე ნულის ნიშანიც გააჩნდა. იგი თავისი ფორმით ნახევრად დახუჭულ თვალს წააგავდა. ასე რომ, რიცხვ 20-ს მაიას ტომის ინდიელები წერდნენ ერთის გამომხატველი ნიშნით, რომელსაც ქვევით



მაიას ტომის ინდიელთა ციფრები

ნულის ნიშანი ჰქონდა მიწერილი (რიცხვებს ისინი ბწკარში კი არ წერდნენ, არამედ სვეტში).

ათობითი პოზიციური სისტემა პირველად ინდოეთში შეიქმნა არა უგვიანეს VI საუკუნისა ჩვენი წელთაღრიცხვით. იქვე შემოიღეს პირველად ნულიც.

ამგვარად, აღრიცხვის პოზიციური სისტემები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შეიქმნა უძველეს შუამდინარეთში, მაიას ტომში და ბოლოს ინდოეთში. ყოველივე ეს იმაზე მეტყველებს, რომ პოზიციური პრინციპის წარმოშობა შემთხვევითი არ იყო.

რამ განაპირობა ამ პრინციპის შექმნა? რამ მიიყვანა ადამიანი ამ შესანიშნავ აღმოჩენამდე?

ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად ისევ ისტორიას უნდა მივმართოთ. ძველ ჩინეთში, ინდოეთში და ზოგიერთ სხვა ქვეყანაში არსებობდა ჩაწერის სისტემები, შექმნილი მ უ ლ ტ ი პ ლ ი კ ა ც ი უ რ ი პრინციპით. ვთქვათ, მაგალითად, ათეულებს აღნიშნავს სიმბოლო X. ასეულებს — C. მაშინ 323 რიცხვის ჩანაწერი სქემატურად ასეთი სახის იქნება:

3C2X3.

ასეთი სისტემებით ერთეულთა, ათეულთა, ასეულთა ან ათასეულთა ერთი და იგივე რიცხვის ჩასაწერად ერთსა და იმავე ნიშანს ხმარობენ, მაგრამ ყოველი სიმბოლოს შემდეგ იწერება შესაბამისი თანრიგის სახელწოდება. ანალოგიურ პრინციპზეა აგებული ჩვენი საანგარიშო: კოჭების ერთი და იგივე რაოდენობა აღნიშნავს ათეულების, ასეულების, ათასეულების და ა. შ. რიცხვს, იმის მიხედვით, თუ რომელ რიგშია მოთავსებული ეს კოჭები.

მაგრამ თვლის სწორედ ასეთი წესი იყო გამოყენებული, როდესაც თვლა ხდებოდა „რიცხვები-ერთობლიობების“ საშუალებით. მაგალითად, იორუბები[1] ნიჟარების თვლისას (ეს ნიჟარები ფულის როლს ასრულებდა) მათ ოც-ოცად აგროვებდნენ, შემდეგ ოც ასეთ გროვას ერთ დიდ გროვად აერთებდნენ და ა. შ. თვლის ასეთი წესის გამოყენებისას ხაზგასმულია ის გარემოება, რომ გროვები ისევე ითვლება, როგორც ცალკე ნიჟარები. ნ. მიკლუხო-მაკლაი მოგვითხრობს თვლის პაპუასური წესის შესახებ, რომელიც ძალიან უახლოვდება რიცხვების აგებას გამრავლების პრინციპის მიხედვით. იმ დღეების რაოდენობის გამოსათვლელად, რომლებიც კორვეტ „ვიტიაზ“-ის დაბრუნებამდე რჩებოდა, პაპუასები ასე იქცეოდნენ: „პირველი, რომელიც ქაღალდის ნაკუწებს მუხლზე იწყობდა, ყოველ ნაკუწზე იმეორებდა: „კარე-კარე“ (ერთი), მეორე იმეორებდა სიტყვას „კარე“ და ღუნავდა თითს ჯერ ერთ ხელზე, შემდეგ მეორეზე. როდესაც ათამდე დათვალა და ორივე ხელის თითები მოღუნა, ორივე მუჭი მუხლზე დაუშვა და თქვა: „ორი ხელი“. მაშინ მესამე პაპუასმა მოღუნა ხელის ერთი თითი. მეორე ათეულისათვისაც ასევე მოიქცნენ. ამასთან მესამე პაპუასმა მოღუნა მეორე თითი: ასევე მოიქცნენ მესამე ათეულისათვისაც“.

მოგვითხრობენ, რომ სამხრეთ აფრიკაში საქონელსაც ასევე ითვლიდნენ: ერთი ზანგი ითვლიდა პირუტყვს სულობით, მეორე ითვლიდა ათეულების რიცხვს პირველის დანათვალში, მესამე ათეულების რიცხვს მეორის დანათვალში, ე. ი. ასეულებს. ჩვენ რომ ახლა პირველის თითი I ნიშნით აღვგვენიშნა, მეორის თითი — X ნიშნით, ხოლო მესამისა — C ნიშნით, მაშინ მულტიპლიკაციური სისტემის მიხედვით შედეგი, მაგალითად, ასე ჩაიწერებოდა: 3C2X3I. ჩინეთსა და ინდოეთში ძველთაგანვე ცნობილი იყო რიცხვთა ჩაწერის ეს წესი. გარდა ამისა, ინდოელები ძველთაგანვე დაინტერესებულნი იყვნენ დიდი რიცხვების ჩაწერით. ერთ-ერთ ინდურ წიგნში („ლალიტავისტარა“) მოთხრობილია მშვენიერი გოპას საქმროების შეჯიბრების შესახებ. შეჯიბრება ტარდებოდა დამწერლობაში, არითმეტიკაში, ჰიდაობასა და მშვილდოსნობაში. წიგნის თითქმის ნახევარი მიძღვნილი აქვს არითმეტიკაში შეჯიბრების აღწერას. შეჯიბ-

[1] აფრიკის ერთ-ერთი ტომი.

რებაში გამარჯვებულმა გაუტამამ შეადგინა იმ რიცხვების სკალა, რომლებიც გეომეტრიული პროგრესიით იზრდებოდა; აქ მნიშვნელი იყო 100, ხოლო პროგრესიის ბოლო წევრი — $10^{7+9\cdot46}$.

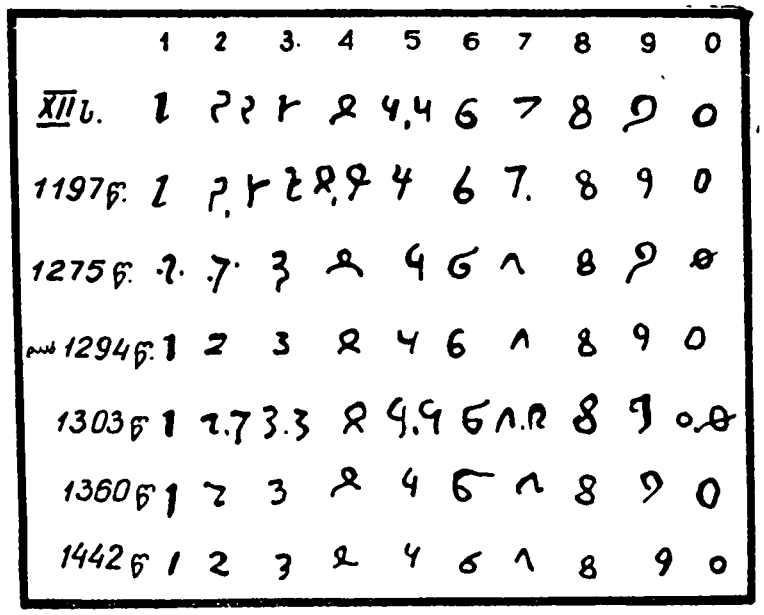
შემდეგი საფეხური პოზიციური პრინციპისაკენ იყო თანრიგების დასახელების გამოტოვება წერაში (მაგალითად, ჩვენ ვამბობთ „სამი და ოცი კაპიკი“, თუმცა უნდა ვთქვათ „სამი მანეთი და ოცი კაპიკი“), მაგრამ თუ სისტემის ფუძე იყო 10, დიდ რიცხვთა ჩასაწერად ხშირად საჭიროება მოითხოვდა ნულისათვის სიმბოლოს შემოღებას.

როგორ გაჩნდა ნული? როგორც დავინახეთ, თანრიგთაშორისო ნიშანს ჯერ კიდევ ბაბილონელები ხმარობდნენ. ძვ. წ. II საუკუნიდან დაწყებული ბერძენი მეცნიერები უკვე ეცნობოდნენ ბაბილონელთა მრავალსაუკუნოვან ასტრონომიულ დაკვირვებებს. საანგარიშო ტაბულებთან ერთად მათ ბაბილონელთა თვლის სამოცობითებური სისტემაც გადაიღეს, მაგრამ რიცხვებს 1-დან 59-მდე სოლების დახმარებით კი არ წერდნენ ბაბილონელების მსგავსად, არამედ საკუთარი ანბანური ნუმერაციით. ყველაზე საინტერესო ის იყო, რომ გამოტოვებული სამოცობითებური თანრიგის ნაცვლად ბერძენი ასტრონომები იყენებდნენ სიმბოლო O-ს (ბერძნული სიტყვის οὐδέν „არაფერის“ პირველ ასოს). როგორც ჩანს, სწორედ ეს ნიშანი იყო ნულის პირველსახე.

ინდოელები, რომლებიც უკვე ფლობდნენ რიცხვების ჩაწერის მულტიპლიკაციურ პრინციპს, სწორედ ახ. წ. II და VI სს. გაეცნენ ბერძნულ ასტრონომიას. ამის დამამტკიცებელია ისიც, რომ მათ ასტრონომიის ზოგადი თეორიული დებულებები და მრავალი ბერძნული ტერმინი გადაიღეს. ერთდროულად ისინი უნდა გასცნობოდნენ სამოცობითებურ ნუმერაციას და ბერძნულ მრგვალ ნულსაც. ამის შედეგად ბერძენ ასტრონომთა ნუმერაციის პრინციპები საკუთარ ათობით მულტიპლიკაციურ სისტემასთან გააერთიანეს: ამით დასრულდა თანამედროვე ნუმერაციის შექმნა.

ინდოეთიდან ეს სისტემა მთელს მსოფლიოში გავრცელდა. ზოგმა ხალხმა ინდოელებიდან მხოლოდ რიცხვების აღნიშვნის პრინციპი გადაიღო, ხოლო ციფრების მოხაზულობანი იგივე დაიტოვა (ასე მოიქცნენ, მაგალითად, ჩინეთში). სხვებმა კი ციფრთა დამწერლობაც გადაიღეს.

მოგვყავს ტაბულა, რომელზედაც ჩანს, როგორ თანდათან იცვლიდა სახეს მავრიტანულ სახელმწიფოებში ხმარებული ციფრები „გუბარი“, ვიდრე თანამედროვე სახეს მიიღებდა. საიდან წარმოიშვა თვით ციფრები „გუბარი“, ჯერაც გაურკვეველია.



თანდათანობითი ცვლილების შედეგად ციფრები „გუბარი“ (მეორე სტრიქონი) მოყვანილობით თანამედროვე ციფრებს მიუახლოვდა.

ევროპის ქვეყნებში ახალი ინდური ნუმერაცია არაბებმა შეიტანეს X — XIII სს. (აქედან მოდის დღემდე შემორჩენილი სახელწოდება „არაბული ციფრები“); მაგრამ იგი ერთბაშად არ მიუღიათ. XVIII საუკუნემდე ოფიციალურ ქაღალდებში შეიძლებოდა მხოლოდ რომაული ციფრების ხმარება. მაგრამ აღრიცხვის პოზიციური პრინციპის უპირატესობა იმდენად დიდი იყო, რომ უკვე XIII საუკუნეში მას იტალიელი ვაჭრები ხმარობდნენ. XIII საუკუნის შესანიშნავი მეცნიერი ლეონარდო პიზელი იმთავითვე თავგამოდებით იცავდა ახალ სისტემას. გერმანიაში, საფრანგეთსა და ინგლისში XV საუკუნის ბოლომდე ახალი სისტემა თითქმის არ იხმარებოდა.

ქართველებს ახალი ციფრები ჯერ კიდევ X საუკუნეში უხმარიათ, მაგრამ ქართული ანბანური ნუმერაცია XIX საუკუნის მეორე ნახევრამდეც კი შემონახულა განსაკუთრებით ხელოსნობასა და ვაჭრობაში.

XVI საუკუნის ბოლოსა და XVII საუკუნის დასაწყისში პოზიციურმა სისტემამ გადამწყვეტ გამარჯვებას მიაღწია — იგი მიიღეს არა მარტო ვაჭრებმა, არამედ მეცნიერებმაც.

რუსეთში, როგორც ვიცით, ძველად იხმარებოდა ანბანური სისტემა, რომელსაც რომაულთან შედარებით მრავალი უპირატესობა ჰქონდა, მაგრამ ახალმა სისტემამ აქაც ჩქარა მოიკიდა ფეხი: XVII საუკუნის ყველა მათემატიკურ ხელნაწერში გამოყენებულია აღრიცხვის ათობითი პოზიციური სისტემა. პეტრე პირველის დროის მონეტებზე სლავურ ციფრებს ინდური ციფრები ცვლის, ხოლო მომდევნო პერიოდში სლავური ციფრები საერთოდ არ იხმარება.

ბოლოს, მოვიყვანოთ XVIII — XIX საუკუნეების გამოჩენილი ფრანგი მათემატიკოსისა და ფიზიკოსის ლაპლასის სიტყვები: „აზრი, რომ ყოველი რიცხვი ცხრა ნიშნით გამოვსახოთ და თვით ამ ნიშნებს მნიშვნელობა მივცეთ არა მარტო ფორმის, არამედ ადგილის მიხედვითაც, იმდენად მარტივია, სწორედ ამ სიმარტივის გამო არის იგი ფრიად განსაცვიფრებელი. თუ რა ძნელი იყო ამ მეთოდის მოძებნა, ამას ჩვენ ვხედავთ უდიდესი გენიოსების — არქიმედესა და აპოლონიუსის მაგალითებზე, რომელთათვისაც ეს აზრი ფარული დარჩა“.

უმარტივესი განუსაზღვრელი განტოლებანი

პითაგორას სამკუთხედი

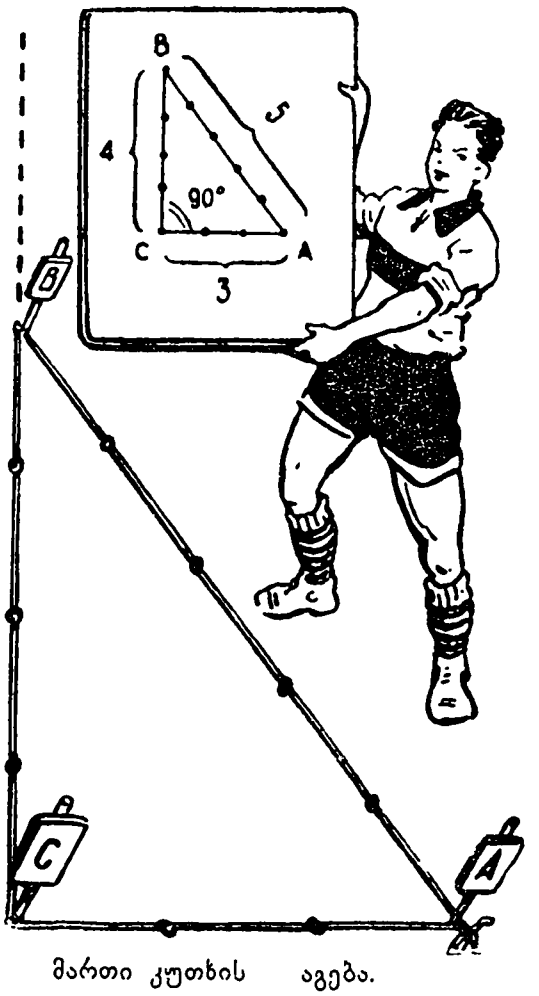
ფეხბურთის მოედანი წარმოადგენს მართკუთხა ნაკვეთს, რომლის სიგრძე 90 მეტრია, ხოლო სიგანე — 60 მ. როგორ უნდა მოინიშნოს ასეთი მოედანი? ჭაღალდის ფურცელზე მართკუთხედის ასაგებად საჭიროა სახაზავი და ფარგალი, ან სახაზავი და კუთხედი, მაგრამ ადგილზე სამუშაოდ ეს ხელსაწყოები ძალიან პატარაა. მათი საშუალებით ვერ უზრუნველვყოფთ მართი კუთხეების აგებას ისეთი მოედნისათვის, როგორიც ფეხბურთის მინდორი უნდა იყოს. თუ გავაკეთებთ საკმაოდ დიდი ზომის სახაზავს, ფარგალსა და კუთხედს, მაშინ ამ იარაღებით სარგებლობა შეუძლებელი გახდება.

ძველთაგანვეა ცნობილი ბუნებაში მართი კუთხის აგების ძალიან მარტივი წესი. ამ წესით ჩვენც ავაგოთ მართი კუთხე. ავიღოთ ზონარი და სამი პალო. ზონარზე მოვნიშნოთ 12 თანატოლი ნაწილი. ამის შემდეგ ნასკვით გამოვყოთ ზონრის სამი MB, BC და CN ნაწილები ისე, რომ პირველი ნაწილი შედგებოდეს ხუთი, მეორე ოთხი და მესამე სამი დანაყოფისაგან. M და N ნასკვები ერთად შევკრათ და ახლადმიღებული ნასკვი A ასოთი აღვნიშნოთ.

პალოების საშუალებით ზონრის BC ნაწილი ისე უნდა გავჭიმოთ მოცემული წრფის გასწვრივ, რომ C წერტილი იმ წერტილს მოხვდეს, რომელზედაც უნდა იქნეს გავლებული მოცემული წრფის მართობი.

ამის შემდეგ ზონარი A ნასკვით ისე გავჭიმოთ, რომ AB და AC უბნები წრფივი გახდეს, და იმ ადგილას, სადაც A ნასკვი იმყოფება, დავასოთ პალო. ადგილზე მართი კუთხის აგების ამოცანა ამოხსნილია, რადგან ACB კუთხე მართია.

ამაში რომ დავრწმუნდეთ, დავამტკიცოთ, რომ მართკუთხა იქნება ყოველი სამკუთხედი, რომლის



მართი კუთხის აგება.

გვერდები სიგრძის რაიმე ერთეულით გაზომვის შედეგად გამოისახება რიცხვებით: 3, 4 და 5. ამისათვის ავიღოთ მართკუთხა სამკუთხედი, რომლის კათეტები უდრის მოცემული სამკუთხედის ორ უმცირეს გვერდს და მოვძებნოთ x ჰიპოტენუზა. პითაგორეს თეორემის თანახმად $x^2=3^2+4^2$. ამიტომ $x=5$. ამგვარად, მოცემული სამკუთხედის სამი გვერდი შესაბამისად უდრის მართკუთხა სამკუთხედის სამ გვერდს. აქედან ცხადია, რომ მოცემული სამკუთხედიც მართკუთხაა.

ეს თვისება სამკუთხედისა, რომლის გვერდებიცაა 3, 4 და 5, როგორც ჩანს, ცნობილი იყო ძველი ეგვიპტელი მიწის მზომელებისათვის. ამიტომ ასეთ სამკუთხედს ეგვიპტური სამკუთხედი ჰქვია. ყოველი მთელრიცხვა სამკუთხედი, ე. ი. სამკუთხედი, რომლის სამივე გვერდის სიგრძე მთელი რიცხვებით გამოისახება, თუ იგი ეგვიპტური სამკუთხედის მსგავსია, მართკუთხა სამკუთხედს წარმოადგენს. არსებობს თუ არა სხვა მთელრიცხვა მართკუთხა სამკუთხედები? თუ რაიმე მთელრიცხვა მართკუთხა სამკუთხედის კათეტებს და ჰიპოტენუზას აღვნიშნავთ x, y და z ასოებით, მაშინ პითაგორეს თეორემის თანახმად გვექნება:

$$x^2 + y^2 = z^2. \qquad (1)$$

თურმე მართებულია შებრუნებული დასკვნაც, ე. ი. თუ x, y და z ნატურალური რიცხვებია, რომლებიც (1) განტოლებას აკმაყოფილებს, მაშინ x, y და z გვერდებიანი სამკუთხედი მართკუთხაა. მთელრიცხვა მართკუთხა სამკუთხედს სიმოკლისათვის ზოგჯერ პ ი თ ა გ ო რ ე ს სამკუთხედს უწოდებენ.

ჩვენი მსჯელობა იმის მაჩვენებელია, რომ ამოცანა ყველა პითაგორული სამკუთხედის მოძებნისა დაიყვანება (1) განტოლების ამოხსნამდე ნატურალურ რიცხვებში. ამ განტოლების ამოხსნას შევუდგებით ცოტა უფრო გვიან, ახლა კი განვიხილოთ ზოგიერთი სხვა ამოცანა.

ტვირთის აწონა ჯამებიან სასწორზე

შეიძლება თუ არა რაიმე ნივთიერების 28 გ ავწონოთ ჯამებიან სასწორზე, თუ გვაქვს მხოლოდ 3 და 5 გრამიანი საწონები?

თურმე საამისოდ რამდენიმე ხერხი არსებობს.

შევეცადოთ, მოვძებნოთ აწონის ყველა ეს ხერხი. ამისათვის 28 გრამიანი ტვირთი დავდოთ სასწორის მარჯვენა ჯამზე და გავაწონასწოროთ 3 და 5 გრამიანი საწონებით. შესაძლებელია ასეთი შემთხვევები: ა) ყველა საწონი სასწორის მარცხენა ჯამზეა; ბ) 3 გრამიანი საწონები სასწორის მარცხენა ჯამზეა, ხოლო 5 გრამიანები — მარჯვენაზე ტვირთთან ერთად; გ) 5 გრამიანი საწონები სასწორის მარცხენა ჯამზეა, 3 გრამიანები კი — მარჯვენაზე ტვირთთან ერთად.

თუ იმ 3 გრამიანი საწონების რიცხვს, რომლებიც აწონის დროს იყო გამოყენებული, x ასოთი აღვნიშნავთ, ხოლო 5 გრამიან საწონებს y ასოთი, ზემოთ მოყვანილი შემთხვევების შესაბამისად გვექნება:

$$\begin{aligned} &\text{ა)}\ 3x + 5y = 28; \qquad (2)\\ &\text{ბ)}\ 3x = 28 + 5y, \text{ ანუ } 3x - 5y = 28,\\ &\text{გ)}\ 5y = 28 + 3x, \text{ ანუ } 5y - 3x = 28. \end{aligned}$$

აწონის ყველა წესის მოსაძებნად თითოეული ეს განტოლება უნდა ამოვხსნათ მთელ არაუარყოფით რიცხვებში. (2) განტოლება შეიძლება მთელ რიცხვებში ამოვხსნათ, მაგრამ ამასთანავე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ x და y უცნობთა მნიშვნელობები გვიჩვენებს არა მარტო გამოყენებული საწონების რაოდენობას, არამედ ამ საწონების ადგილსაც სასწორის მარცხენა თუ მარჯვენა ჯამზე. ასე რომ, თუ უცნობის მნიშვნელობა დადებითია, მაშინ 3 გრამიანი საწონების რაოდენობაა x და ყველა მათგანი მოთავსებულია სასწორის მარცხენა ჯამზე. თუ x უცნობის მნიშვნელობა უარყოფითია, მაშინ 3 გრამიანი საწონების რიცხვია $|x|$ და ისინი სასწორის მარჯვენა ჯამზე აწყვია.

ფანერის გამოჭრა

ერთ-ერთი ქარხნის ხის დასამუშავებელ საამქროში მიიღეს შეკვეთა, რომ ფანერისაგან გამოეჭრათ ორი სახის დანამზადი 1000 ნაკეთობისათვის. ცნობილია, რომ ერთი ნაკეთობისათვის საჭიროა ერთი სახის ორი და მეორე სახის სამი დანამზადი. საწყობში არის ერთი ნიმუშის 800 ცალი ფანერი. შეარჩიეს ფანერების გამოჭრის სამნაირი ხერხი. პირველი ხერხის მიხედვით ერთი ფურცელი ფანერისაგან მიიღებოდა პირველი სახის ხუთი და

მეორე სახის ორი დანამზადი, მეორე ხერხის მიხედვით — პირველი სახის ერთი და მეორე სახის ხუთი დანამზადი, მესამე ხერხის მიხედვით კი პირველი სახის სამი და მეორე სახის ოთხი დანამზადი.

საკმარისია თუ არა საწყობში მოთავსებული ფანერების რაოდენობა შეკვეთის შესასრულებლად? რამდენი ცალი ფანერი უნდა გამოიჭრას პირველი, მეორე და მესამე ხერხებით, რომ შესრულდეს შეკვეთა?

აღვნიშნოთ x_1, x_2, x_3 ასოებით შესაბამისად პირველი, მეორე და მესამე ხერხით გამოჭრილი ფანერების რაოდენობა. მაშინ $5x_1 + x_2 + 3x_3$ იქნება პირველი სახის მიღებულ დანამზადთა რაოდენობა და $2x_1 + 5x_2 + 4x_3$ მეორე სახის მიღებულ დანამზადთა რაოდენობა. ვინაიდან შეკვეთის შესასრულებლად საჭიროა არანაკლებ 2000 პირველი და 3000 მეორე სახის დანამზადი, ამიტომ უნდა შესრულდეს უტოლობები:

$$5x_1 + x_2 + 3x_3 \geqslant 2\,000,$$
$$2x_1 + 5x_2 + 4x_3 \geqslant 3\,000.$$

იმისათვის, რომ უტოლობანი მკაცრი ტოლობებით შევცვალოთ, x_4-ით აღვნიშნოთ რაოდენობა პირველი სახის დანამზადებისა, რომლებიც 2000 მეტი უნდა დამზადდეს, ხოლო x_5-ით მეორე სახის „ზედმეტ“ დანამზადთა რაოდენობა. მაშინ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $x_1 + x_2 + x_3 = 800$, მივიღებთ განტოლებათა შემდეგ სისტემას:

$$\begin{cases} 5x_1 + x_2 + 3x_3 - x_4 = 2\,000, \\ 2x_1 + 5x_2 + 4x_3 - x_5 = 3\,000, \\ x_1 + x_2 + x_3 = 800. \end{cases} \qquad (3)$$

რა თქმა უნდა, x_4 და x_5, ისე როგორც x_1, x_2, x_3, უნდა იყოს მთელი არაუარყოფითი რიცხვები.

800 ცალი ფანერის გამოჭრის ხერხთა მიხედვით განაწილების ყოველ ვარიანტს (x_1, x_2, x_3) შეესაბამება განტოლებათა (3) სისტემის (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) ამონახსნი მთელ არაუარყოფით რიცხვებში. პირიქით, (3) სისტემის ყოველ (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) ამონახსნს მთელ არაუარყოფით რიცხვებში შეესაბამება გარკვეული ვარიანტი 800 ცალი ფანერის განაწილებისა გამოჭრის ხერხთა მიხედვით. ამიტომ ფანერის გამოჭრის ამოცანას მივყავართ (3) სისტემის მთელ არაუარყოფით რიცხვებში ამონახსნების მოძებნამდე.

განუსაზღვრელი განტოლებანი

როგორც დავინახეთ, თითოეული ზემოთ გარჩეული ამოცანა დაიყვანება რაიმე განტოლების ან განტოლებათა სისტემის ამოხსნამდე მთელ რიცხვებში. ასეთ განტოლებებს გ ა ნ უ ს ა ზ ღ ვ რ ე ლ ი გ ა ნ ტ ო ლ ე ბ ე ბ ი ეწოდება. განუსაზღვრელი განტოლებების ან განტოლებათა სისტემის ამოხსნისას, ჩვეულებრივ, ეძებენ უცნობთა ისეთ მნიშვნელობებს, რომლებიც ამა თუ იმ არითმეტიკულ პირობებს აკმაყოფილებენ. მაგალითად, ეძებენ მათ ამონახსნებს მთელ ანდა რაციონალურ რიცხვებში.

ჯერ კიდევ ალექსანდრიელი მათემატიკოსი დიოფანტე (III ს. ჩვ. წ.) მუშაობდა ალგებრული განუსაზღვრელი განტოლებების ამოხსნაზე რაციონალურ რიცხვებში. განუსაზღვრელი განტოლებების მთელ რიცხვებში ამოხსნაზე პირველად მუშაობდნენ ინდოელი მეცნიერები. მათ მოგვცეს პირველი ხარისხის მთელკოეფიციენტებიანი განუსაზღვრელი განტოლების მთელი ამონახსნების მოძებნის ზოგადი მეთოდი და მოძებნეს აგრეთვე ამონახსნი მთელ რიცხვებში ზოგიერთი ორუცნობიანი მეორე ხარისხის განტოლებისთვისაც.

პირველი ხარისხის განუსაზღვრელ განტოლებათა რაციონალური და მთელი ამონახსნები. გაბნევის მეთოდი

პირველი ხარისხის მთელ კოეფიციენტებიანი განუსაზღვრელი განტოლების ამოხსნა რაციონალურ რიცხვებში ძნელი არ არის. ავიღოთ, მაგალითად, განტოლება

$$29x - 13y = 17. \qquad (4)$$

ამ განტოლების ყველა ამონახსნის მოსაძებნად გავიგოთ, ერთი უცნობის რომელ რაციონალურ მნიშვნელობათათვის იქნება რაციონალური მეორე უცნობის სათანადო მნიშვნელობანი. x უცნობის ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება y უცნობის ერთადერთი მნიშვნელობა შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$y = \frac{29x - 17}{13}. \qquad (5)$$

თუ x უცნობის მნიშვნელობა რაციონალურია, მაშინ (5) ფორმულის მიხედვით მიღებული y უცნობის მნიშვნელობაც რაციონალური იქნება.

(5) ფორმულაში x და y უცნობებს სხვადასხვა როლები აქვთ. x უცნობს შეიძლება ნებისმიერი მნიშვნელობა მივანიჭოთ, ხოლო y უცნობის მნიშვნელობა დამოკიდებულია x უცნობის მნიშვნელობაზე. ამიტომაც x უცნობს ეწოდება თ ა ვ ი ს უ ფ ა ლ ი, y უცნობს კი დ ა მ ო კ ი დ ე ბ უ ლ ი. (4) განტოლება შეიძლება ამოვხსნათ არა მარტო y უცნობის, არამედ x უცნობის მიმართაც. ამ შემთხვევაში y იქნება თავისუფალი, ხოლო x დამოკიდებული.

(4) განტოლების მთელი ამონახსნების მოსაძებნად ჩვენ არ შეგვიძლია უშუალოდ (5) ფორმულით ვისარგებლოთ, რადგან ერთი უცნობის მთელი მნიშვნელობებისათვის მეორე უცნობი ყოველთვის მთელ მნიშვნელობებს არ ღებულობს. (4) განტოლების ყველა მთელი ამონახსნის მოსაძებნად ვიპოვოთ x უცნობის ისეთი მნიშვნელობანი, რომელთათვისაც y უცნობის შესაბამისი მნიშვნელობები მთელი რიცხვებია. ერთი შეხედვით ეს უმნიშვნელო ცვლილება ამოცანის დასმაში თვით ამოცანის ამოხსნის გზას მოგვცემს.

შევნიშნოთ, რომ

$$\frac{29}{13} = 2 + \frac{3}{13}, \text{ ხოლო } \frac{17}{13} = 1 + \frac{4}{13},$$

მაშინ (5) ფორმულის მიხედვით მივიღებთ:

$$y = 2x - 1 + \frac{3x-4}{13}. \qquad (6)$$

უნდა გავიგოთ x უცნობის რომელი მთელი მნიშვნელობებისათვის ღებულობს y უცნობი მთელ მნიშვნელობებს. რადგანაც მთელი x-ისათვის რიცხვი $2x-1$ მთელია, (6) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ y უცნობი x უცნობის მთელი მნიშვნელობისათვის მხოლოდ მაშინ მიიღებს მთელ მნიშვნელობას, როდესაც გამოსახულება $\frac{3x-4}{13}$ მთელი რიცხვია. ჩვენი ამოცანა ჯერ კიდევ არ არის ამოხსნილი, მაგრამ მიზანთან უკვე ახლოს ვართ.

მართლაც, თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას

$$\frac{3x-4}{13} = y_1,$$

შევნიშნავთ, რომ საკითხი, თუ x უცნობის რომელი მთელი მნიშვნელობებისათვის მიიღებს y უცნობი მთელ მნიშვნელობებს, ტოლფასია

$$3x - 13y_1 = 4 \qquad (7)$$

განტოლების მთელი ამონახსნების საკითხისა.

ამგვარად, (4) განტოლების მთელ რიცხვებში ამოხსნა ჩვენ მოვახერხეთ დაგვეყვანა (7) განტოლების მთელ რიცხვებში ამოხსნამდე. რა უპირატესობა აქვს მეორე განტოლებას პირველთან შედარებით?

ბუნებრივია, რომ განუსაზღვრელ განტოლებათაგან უმარტივეს განტოლებად უნდა მივიჩნიოთ ის, რომელშიაც თუგინდ ერთი უცნობის კოეფიციენტია 1 ან -1. ამ შემთხვევაში ასეთი კოეფიციენტიანი უცნობი დანარჩენი უცნობების მთელი მნიშვნელობებისათვის თვითონაც მთელ მნიშვნელობებს ღებულობს. ამიტომ, რაც უფრო მ ც ი რ ე ა უცნობთა კოეფიციენტების აბსოლუტურ მნიშვნელობათაგან უმცირესი, მით უფრო მეტი უპირატესობა აქვს განტოლებას. (4) განტოლებაში უცნობთა კოეფიციენტების აბსოლუტურ მნიშვნელობათაგან უმცირესია 13, ხოლო (7) განტოლებაში 3. როგორ მივაღწიეთ ამას? x უცნობის კოეფიციენტი და თავისუფალი წევრი შევცვალეთ 13-ზე გაყოფის შედეგად მიღებული მათი ნაშთით. მაგრამ მთელი რიცხვის ნატურალურ რიცხვზე გაყოფით მიღებული ნაშთი ყოველთვის ნაკლებია ამ ნატურალურ რიცხვზე. ახლა გასაგებია, თუ რატომ იყო თავიდანვე y უცნობი გამოსახული x უცნობით: ჩვენ ავარჩიეთ აბსოლუტურად უმცირესკოეფიციენტიანი უცნობი. ახლა ცხადია, თუ როგორ უნდა მოვექცეთ (7) განტოლებას.

y_1 უცნობის რომელი მთელი მნიშვნელობებისათვის ღებულობს x უცნობი მთელ მნიშვნელობებს?

ტოლობიდან

$$x = \frac{4+13y_1}{3} = 1 + 4y_1 + \frac{1+y_1}{3} \qquad (8)$$

ჩანს, რომ x უცნობი y_1 უცნობის მთელი მნიშვნელობებისათვის მხოლოდ იმ შემთხვევაში ღებულობს მთელ მნიშვნელობებს, როდესაც $\frac{1+y_1}{3}$ მთელი რიცხვია. თუ ამ გამოსახულებას x_1 ასოთი აღვნიშნავთ, მივიღებთ, რომ $1 + y_1 = 3x_1$, ანუ

$$3x_1 - y_1 = 1. \qquad (9)$$

ამგვარად, ამოცანა დაყვანილია (9) განტოლების ამოხსნამდე მთელ რიცხვებში. მაგრამ (9) განტოლების ამოხსნა მთელ რიცხვებში ნიშნავს იმას, რომ გავიგოთ x_1 უცნობის რომელი მთელი მნიშვნელობებისათვის ღებულობს y_1 უცნობი მთელ მნიშვნელობებს. მაგრამ $y_1 = 3x_1 - 1$, ამიტომ y_1 ღებულობს მთელ მნიშვნელობებს x_1 უცნობის ნებისმიერი მთელი მნიშვნელობებისათვის. ახლა (8) და (6) ტოლობებიდან თანმიმდევრობით მივიღებთ x და y უცნობთა გამოსახულებებს.

$$x = 1 + 4(3x_1 - 1) + x_1 = 13x_1 - 3,$$
$$y = 2(13x_1 - 3) - 1 + 3x_1 - 1 = 29x_1 - 8.$$

მოყვანილი მსჯელობებიდან გამომდინარეობს, რომ ფორმულები:

$$\begin{cases} x = 13x_1 - 3, \\ y = 29x_1 - 8, \end{cases} \qquad (10)$$

როდესაც $x_1 = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$ გვაძლევს (4) განტოლების ყველა მთელ ამონახსნს.

ანალოგიურად ამოიხსნება სამ და მეტუცნობიანი განტოლება. განუსაზღვრელი განტოლების მთელ რიცხვებში ამოხსნის ეს მეთოდი არსებითად არ განსხვავდება ინდოელთა მეთოდისაგან. იმის გამო, რომ განუსაზღვრელი განტოლების ამ მეთოდით ამოხსნისას განტოლება დაიყვანება უფრო და უფრო მცირეკოეფიციენტებიან განტოლებათა წყებაზე, ამ მეთოდს ინდოელებმა გაბნევის მეთოდი უწოდეს.

ამონის ამოცანის ამოხსნა

ამგვარად, ჩვენ უნდა ამოვხსნათ მთელ რიცხვებში (2) განტოლება. განვსაზღვროთ x უცნობი:

$$x = \frac{28 - 5y}{3} = 9 - y + \frac{1 - 2y}{3},$$

მართებულია ასეთი ტოლობაც:

$$x = 9 - 2y + \frac{1 + y}{3}.$$

სწორედ ამ ტოლობით ვისარგებლებთ. ჩვენი მიზანია შევამციროთ y-ის კოეფიციენტი. შემოვიღოთ აღნიშვნა: $x_1 = \frac{1+y}{3}$. ამოცანა დაყვანილია მთელ რიცხვებში შემდეგი განტოლების ამოხსნამდე: $3x_1 - y = 1$.

თუ ამ განტოლებას ამოვხსნით, გვექნება $y = 3x_1 - 1$, სადაც x_1 ნებისმიერი მთელი რიცხვია. მაშინ

$$x = 9 - 2(3x_1 - 1) + x_1 = 11 - 5x_1.$$

ამგვარად, (2) განტოლების ზოგადი ამონახსნი შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\begin{cases} x = 11 - 5x_1, \\ y = 3x_1 - 1, \end{cases}$$

სადაც $x_1 = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$.

მოვძებნოთ ამ განტოლების რამდენიმე ამონახსნი:

x_1	0	1	—1	2	—2	3	—3
x	11	6	16	1	21	4	26
y	—1	2	—4	5	—7	8	—10

(2) განტოლებას უსასრულოდ მრავალი ამონახსნი აქვს, მაგრამ ჩვენ მხოლოდ ზოგიერთით შეგვიძლია ვისარგებლოთ. ეს დამოკიდებულია საწონების რაოდენობაზე და სასწორის ჯამების სიდიდეზე.

ჩვენ განვიხილეთ პირველი ხარისხის ორი განტოლება. ყოველ მათგანს, როგორც უკვე დავადგინეთ, აქვს მთელრიცხვა ამონახსნები. მაგრამ ამასთან ერთად შეგვიძლია ისეთი განტოლებაც ავიღოთ, რომელსაც არ აქვს მთელ რიცხვებში ამონახსნი. ასეთია მაგალითად, განტოლება

$$3x - 6y = 5. \qquad (11)$$

მართლაც, თუ დავუშვებთ, რომ ზოგიერთი მთელი x და y რიცხვებისათვის (11) ტოლობა მართებულია, მივიღებთ, რომ 5 იყოფა 3-ზე.

რომელი განუსაზღვრელი განტოლებები ამოიხსნება მთელ რიცხვებში?

თუ პირველი ხარისხის რაიმე განუსაზღვრელ განტოლებას აქვს ამონახსნები მთელ რიცხვებში, ყოველთვის შეიძლება თუ არა ამ ამონახსნთა მოძებნა გაბნევის მეთოდით?

პასუხს პირველ კითხვაზე იძლევა შემდეგი თეორემა:

მთელკოეფიციენტებიანი განტოლება

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b \qquad (12)$$

ამოხსნადია მთელ რიცხვებში მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ თავისუფალი b წევრი იყოფა $a_1, a_2, \dots, a_n$ კოეფიციენტების საერთო უდიდეს გამყოფზე.

ადგილის ეკონომიის მიზნით ჩვენ არ მოგვყავს ამ თეორემის დამტკიცება, ეს დამტკიცება კი ელემენტარულია.

ვუპასუხოთ მეორე კითხვას: პირველი ხარისხის განტოლების ზემოთ მოყვანილი წესი ყოველთვის იძლევა თუ არა სასურველ შედეგს?

თუ (12) განტოლების უცნობთა კოეფიციენტებში a_1 აბსოლუტური მნიშვნელობით უმცირესია, მაშინ ამ განტოლებას შევცვლით მეორეთი, რომელშიაც ყველა კოეფიციენტი, გარდა x_1 უცნობის კოეფიციენტისა, შეცვლილია a_1 რიცხვზე გაყოფის შედეგად მიღებული ნაშთებით. თუ a_2, a_3, ..., a_n კოეფიციენტებიდან ერთი მაინც არ იყოფა a_1 რიცხვზე, მაშინ მივიღებთ განტოლებას, რომლის კოეფიციენტები აბსოლუტური სიდიდით ნაკლები იქნება, ვიდრე მოცემული განტოლების კოეფიციენტები. ამ განტოლებასაც ისევე მოვეპყრათ, როგორც მოცემულს. თუ a_2, a_3, ..., a_n რიცხვები იყოფა a_1-ზე, ხოლო b არ იყოფა, მაშინ მოცემული განტოლება ამოუხსნადია. თუკი ყველა რიცხვი a_2, a_3, ..., a_n და b იყოფა a_1-ზე, მაშინ განტოლების ორივე ნაწილის a_1-ზე გაყოფით მივიღებთ განტოლებას, რომლის მთელი ამონახსნები ადვილად მოიძებნება.

ამ მსჯელობიდან გამომდინარეობს, რომ ზემოთ აღწერილი მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ვიპოვოთ მთელკოეფიციენტებიანი, მთელ რიცხვებში ამოხსნადი, განუსაზღვრელი განტოლების მთელი ამონახსნები.

პირველი ხარისხის განტოლებათა განუსაზღვრელი სისტემები

პირველი ხარისხის მთელკოეფიციენტებიან განტოლებათა განუსაზღვრელი სისტემის, ე. ი. ისეთი სისტემის ამოხსნისას, რომელშიც უცნობთა რიცხვი განტოლებათა რიცხვს აღემატება, ჩვეულებრივ, გამოყენებულია უცნობთა მიმდევრობითი გამორიცხვის მეთოდი.

ამოვხსნათ, მაგალითად, მთელ რიცხვებში განტოლებათა ასეთი სისტემა:

$$\begin{cases} 3x + 5y - 7z = 15, \\ 2x - 3y + 9z = 12. \end{cases}$$

პირველი განტოლებიდან ვღებულობთ:

$$x = \frac{15 - 5y + 7z}{3}. \qquad (13)$$

თუ x უცნობის მნიშვნელობას ჩავსვამთ მეორე განტოლებაში, მივიღებთ:

$$2 \cdot \frac{15 - 5y + 7z}{3} - 3y + 9z = 12,$$

ანუ

$$-\frac{19}{3}y + \frac{41}{3}z = 2. \qquad (14)$$

თუ (14) განტოლებაში z უცნობს მივცემთ რაიმე რაციონალურ მნიშვნელობას, ე. ი. თუ z უცნობს თავისუფალ უცნობად მივიჩნევთ, ხოლო დამოკიდებულ უცნობებად x და y უცნობებს, მაშინ (14) და (13) ტოლობების გამოყენებით შეიძლება მოვძებნოთ განტოლებათა მოცემული სისტემის ყველა ამონახსნი რაციონალურ რიცხვებში.

მთელ რიცხვებში ასეთი სისტემა შეიძლება ამოიხსნას მსგავსი ხერხით. ჯერ განიხილავენ სისტემის ერთ რომელიმე განტოლებას და ამოხსნიან მას მთელ რიცხვებში. ამ განტოლების უცნობებისთვის მიღებულ გამოსახულებებს რაიმე დამხმარე მთელრიცხვა უცნობებით ჩასვამენ მეორე განტოლებაში. თუ ამ ახალუცნობიან განტოლებას მთელ რიცხვებში ამოვხსნით, შეიძლება ვიპოვოთ მოცემულ განტოლებათა სისტემის ყველა ამონახსნი მთელ რიცხვებში.

ფანერის გამოჭრაზე ამოცანის ამოხსნა

ახლა ამოვხსნათ (3) განტოლებათა სისტემა. გვაქვს ხუთუცნობიანი სამი განტოლება. ამიტომ ორი უცნობი თავისუფალია, დანარჩენი სამი კი დამოკიდებული. ცხადია, დამოკიდებულ უცნობებად უნდა მივიჩნიოთ ისეთები, რომელთა კოეფიციენტების აბსოლუტური სიდიდე მინიმალურია.

ამიტომ x_1 და x_2 მივიღოთ თავისუფალ უცნობებად და x_3, x_4, x_5 გამოვსახოთ x_1 და x_2-ით. ამისათვის $x_3 = 800 - x_1 - x_2$ მნიშვნელობა ჩავსვათ პირველ ორ განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} x_3 &= 800 - x_1 - x_2, \\ x_4 &= 400 + 2x_1 - 2x_2, \\ x_5 &= 200 - 2x_1 + x_2. \end{aligned}$$

ახლა თუ x_1 და x_2-ს მივცემთ მთელ მნიშვნელობებს, მივიღებთ განტოლებათა (3) სისტემის ყველა შესაძლო ამონახსნს მთელ რიცხვებში.

დამოუკიდებლად გამოიკვლიეთ, რა არაუარყოფითი მთელი მნიშვნელობები უნდა მიეცეს x_1-სა და x_2-ს, რომ x_3, x_4 და x_5-საც არაუარყოფითი მნიშვნელობები ჰქონდეს.

ქვემოთ მოყვანილია (3) სისტემის ზოგიერთი ამონახსნის ცხრილი.

x_1	0	0	0	100	100	100	100	200	200	200	300	300
x_2	0	100	200	0	100	200	300	200	300	400	400	500
x_3	800	700	600	700	600	500	400	400	300	200	100	0
x_4	400	200	0	600	400	200	0	400	200	0	200	0
x_5	200	300	400	0	100	200	300	0	100	200	0	100

ცხრილიდან ჩანს, რომ ფანერების ფურცლები საკმარისადაა და გამოჭრის ყველაზე ხელსაყრელი ხერხი იქნება, როდესაც $x_1 = 0$, $x_2 = 100$, $x_3 = 700$. ამ შემთხვევაში გვაქვს „ზედმეტი“ დანამზადი კიდევ 100 ნაკეთობისათვის. სხვა შემთხვევაში „ზედმეტი“ დანამზადი არაკომპლექტური იქნება. მაგრამ საჭიროა ყველა 800 ფანერის გამოჭრა? ჩვენ ხომ 1000 ნაკეთობისათვის გვქონდა დანამზადი და არა 1100-ისათვის.

ამიტომ პრაქტიკული თვალსაზრისით საინტერესოა ამ ამოცანისათვის საკითხის შემდეგნაირად დასმა: ფანერების რა უმცირესი რაოდენობის ფურცლები უნდა გამოვიტანოთ საწყობიდან და რომელი დასახელებული ხერხით უნდა გამოვჭრათ ეს ფურცლები, რომ შევასრულოთ შეკვეთა?

ამ კითხვას რომ ვუპასუხოთ, საჭიროა

$$\begin{cases} 5x_1 + x_2 + 3x_3 - x_4 = 2\,000, \\ 2x_1 + 5x_2 + 4x_3 - x_5 = 3\,000 \end{cases} \qquad (15)$$

განტოლებათა სისტემის მთელ რიცხვებში ყველა ამონახსნიდან შევარჩიოთ ისეთი ამონახსნი (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5), რომლისთვისაც $f = x_1 + x_2 + x_3$ მიიღებს უმცირეს მნიშვნელობას, ანუ, როგორც შემდგომ ვიტყვით, აკმაყოფილებს მინიმალურობის პირობას.

ძებნის გასაადვილებლად დროებით თავი გავანებოთ მოთხოვნას, რომ უცნობებს უნდა ჰქონდეს მთელრიცხვა მნიშვნელობები. შევეცადოთ, ამოცანა ამოვხსნათ თავისუფალ უცნობთა მოხერხებული შერჩევით. უფრო მოსახერხებელია ასეთ უცნობებად ავირჩიოთ x_4, x_5 და კიდევ რომელიმე x_1, x_2 და x_3 უცნობებიდან. ამიტომ, თუ (15) განტოლებიდან გამოვრიცხავთ ჯერ x_1, ხოლო შემდეგ x_2-ს, მარტივი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{1}{23}(7\,000 - 11x_3 + 5x_4 - x_5), \\ x_2 = \frac{1}{23}(11\,000 - 14x_3 - 2x_4 + 5x_5), \\ f = \frac{1}{23}(18\,000 - 2x_3 + 3x_4 + 4x_5). \end{cases} \qquad (16)$$

მოცემული x_3 მნიშვნელობისათვის უმცირეს f მნიშვნელობას მივიღებთ, როდესაც x_4 და x_5-ს მივცემთ ნულოვან მნიშვნელობას (ეს გასაგებიცაა, x_4 და x_5 ხომ „ზედმეტ“ დანამზადთა რიცხვია!). ვთქვათ, $x_4 = x_5 = 0$. ადვილად შევამჩნევთ, რომ x_3 უცნობის მნიშვნელობების ზრდისას f მნიშვნელობა კლებულობს. მაგრამ x_3-ის ზრდა შეზღუდულია იმის გამო, რომ x_1 და x_2 უცნობების მნიშვნელობები უნდა იყოს არაუარყოფითი. რადგანაც $\frac{7000}{11} < \frac{11000}{14}$, ამიტომ (16) ტოლობებიდან (სადაც $x_4 = x_5 = 0$):

$$x_1 = \frac{11}{23}\left(\frac{7000}{11} - x_3\right),$$

$$x_2 = \frac{14}{23}\left(\frac{11000}{14} - x_3\right)$$

ჩანს, რომ x_3-ს ზრდისას უარყოფით მნიშვნელობას პირველ ყოვლისა x_1 უცნობი მიიღებს. ამიტომ ბუნებრივია x_1 უცნობი მივიღოთ თავისუფალ, x_3 კი დამოკიდებულ უცნობად. თუ (15) განტოლებიდან გამოვრიცხავთ x_2 და x_3 უცნობებს, მივიღებთ:

$$x_2 = \frac{1}{11}(1\,000 + 14x_1 - 4x_4 + 3x_5),$$

$$x_3 = \frac{1}{11}(7\,000 - 23x_1 + 5x_4 - x_5),$$

$$f = \frac{1}{11}(8000 + 2x_1 + x_4 + 2x_5).$$

ადვილად შევამჩნევთ, რომ f უმცირეს მნიშვნელობას მივიღებთ, თუ თავისუფალ x_1, x_4 და x_5 უცნობებს ნულოვან მნიშვნელობას მივცემთ. ამასთან დამოკიდებული უცნობებისათვის გვექნება დადებითი მნიშვნელობები:

$$x_2 = \frac{1\,000}{11}, \quad x_3 = \frac{7\,000}{11}.$$

მაშასადამე, (15) სისტემის ამონახსნი

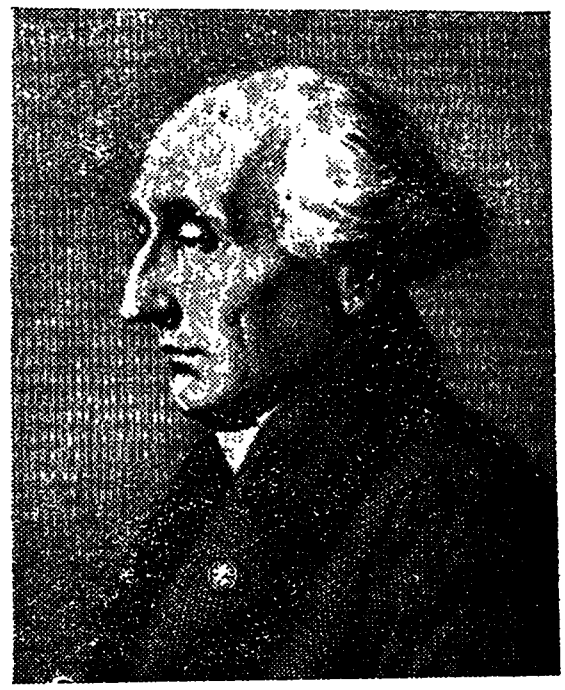
$$x_1 = 0; \quad x_2 = \frac{1\,000}{11} = 90{,}9\ldots;$$

$$x_3 = \frac{7\,000}{11} = 636{,}3\ldots; \quad x_4 = 0; \quad x_5 = 0$$

აკმაყოფილებს მინიმალურობის პირობას. მაგრამ საჭიროა მოვძებნოთ მთელრიცხვა ამოხსნა არაუარყოფით რიცხვებში, რომელიც დააკმაყოფილებს მინიმალურობის პირობას. მოყვანილი მსჯელობიდან გამომდინარეობს, რომ ასეთი ამონახსნისათვის $f \geqslant \frac{8000}{11} = 727,2\ldots$ ან $f \geqslant 728$, რადგან რიცხვი მთელი უნდა იყოს. მოსალოდნელია, რომ საძიებელ ამონახსნს მივიღებთ, თუ რამდენადმე შევცვლით უცნობთა მნიშვნელობებს. ვთქვათ, მაგალითად, $x_1 = 0$, $x_2 = 91$, $x_3 = 637$. მაშინ:

$$f = x_1 + x_2 + x_3 = 728,$$
$$5 \cdot 0 + 91 + 3 \cdot 637 = 2\,002 > 2\,000,$$
$$2 \cdot 0 + 5 \cdot 91 + 4 \cdot 637 = 3003 > 3000.$$

ეს კი გვარწმუნებს, რომ მთელრიცხვა ამონახსნი, რომელიც მინიმალურობის პირობას აკმაყოფილებს, მოძებნილია. მაშასადამე, საწყობიდან საკმარისია გამოვიტანოთ მხოლოდ 728 ფანერის ფურცელი და ამათგან 91 გამოიჭრას მეორე, ხოლო დანარჩენი — მესამე ხერხით.



ჟოზეფ ლუი ლაგრანჟი.

ჩვენს მიერ ამოხსნილი ამოცანა ფანერების გამოჭრის შესახებ იმ ამოცანათა რიცხვს მიეკუთვნება, რომლებიც წრფივი პროგრამირების თეორიის საგანს შეადგენენ.

ამ თეორიაში განიხილავენ შემდეგი ტიპის ამოცანებს: პირველი ხარისხის განტოლებათა რაიმე სისტემის არაუარყოფით რიცხვებში ყველა ამონახსნიდან მოიძებნოს ისეთი, რომელიც მინიმალურობის პირობას დააკმაყოფილებს. ზოგჯერ ისევე, როგორც ფანერის გამოჭრის ამოცანაში, დამატებით საჭიროა, რომ უცნობების მნიშვნელობები მთელი რიცხვები იყოს. ქვეყნის ეკონომიკის მრავალ პრობლემას, კერძოდ წარმოების დაგეგმვისა და ტვირთის გადაზიდვის საკითხებს სწორედ ამ ამოცანებამდე მივყავართ.

ᲞᲘᲠᲕᲔᲚᲖᲔ ᲛᲐᲦᲐᲚᲘ ᲮᲐᲠᲘᲡᲮᲘᲡ ᲒᲐᲜᲣᲡᲐᲖᲦᲕᲠᲔᲚᲘ ᲒᲐᲜᲢᲝᲚᲔᲑᲔᲑᲘᲡ ᲛᲗᲔᲚᲘ ᲐᲛᲝᲜᲐᲮᲡᲜᲔᲑᲘ

პირველზე მაღალი ხარისხის მთელკოეფიციენტებიანი განუსაზღვრელი განტოლებების ამოხსნა მთელ რიცხვებში ბევრ შემთხვევაში უფრო რთულია, ვიდრე პირველი ხარისხის განუსაზღვრელი განტოლებების ამოხსნა მთელ რიცხვებში.

ინდოელმა მათემატიკოსებმა V — XII საუკუნეებში მოძებნეს ზოგიერთი ორუცნობიანი მეორე ხარისხის განტოლების ამონახსნი მთელ რიცხვებში. ამოცანა მეორე ხარისხის განუსაზღვრელი ორ-

უცნობიანი განტოლების მთელ რიცხვებში ამოხსნის შესახებ მთლიანად ამოხსნა 1766 წ. ფრანგმა მათემატიკოსმა ჟ. ლაგრანჟმა.

ორუცნობიანი მესამე ხარისხის განტოლებანი დღესაც არ არის ბოლომდე გამოკვლეული. ასეთი განტოლებების ზოგიერთი ტიპი შეისწავლა საბჭოთა მათემატიკოსმა ბ. დელონემ. უნდა ითქვას, რომ მესამე და უფრო მაღალი რიგის ასეთი განტოლებებისათვის ამონახსნთა რიცხვის დადგენაც კი ძალიან ძნელია.

ჩვენი საუკუნის დასაწყისში ნორვეგიელმა მათემატიკოსმა აქსელ ტუემ დაამტკიცა შემდეგი საინტერესო თეორემა:

მთელკოეფიციენტებიან განუსაზღვრელ განტოლებას

$$a_0x^n + a_1x^{n-1}y + a_2x^{n-2}y^2 + \dots + a_ny^n = b,$$

სადაც n მთელი რიცხვია და ორს აღემატება, აქვს მთელ რიცხვებში ამონახსნთა მხოლოდ სასრული სიმრავლე (კერძოდ, შეიძლება არა ჰქონდეს ამონახსნები), გარდა იმ შემთხვევებისა, როდესაც განტოლების მარცხენა ნაწილი პირველი ხარისხის ერთგვაროვანი ორწევრის ან მეორე ხარისხის სამწევრის რაიმე ხარისხს წარმოადგენს.

კიდევ უფრო რთულია საკითხი მთელ რიცხვებში ორზე მეტუცნობიანი პირველზე მაღალი ხარისხის განუსაზღვრელი განტოლების ამოხსნისა. აქამდე ცნობილი არაა ასეთი განტოლებების ამოხსნის ზოგადი მეთოდი. (1) განტოლება უმარტივესია ასეთ განტოლებათა შორის. ძველი ბერძნები და ბაბილონელებიც კი იცნობდნენ იგივეობას:

$$(2mn)^2 + (m^2 - n^2)^2 = (m^2 + n^2)^2.$$

თუ ასეთ იგივეობას გამოვიყენებთ, ადვილად ვიპოვით (1) განტოლების ნატურალურ ამონახსნებს. ამ მიზნით საჭიროა ფორმულებში

$$\begin{cases} x = 2mn, \\ y = m^2 - n^2, \\ z = m^2 + n^2 \end{cases} \qquad (17)$$

m და n ცვლადებს მივცეთ ნატურალური მნიშვნელობები იმ პირობით, რომ $m > n$. მარტივი მოსაზრებებით შეიძლება დამტკიცდეს, რომ (17) ფორმულებიდან შეიძლება მივიღოთ (1) განტოლების ყველა ამონახსნი ნატურალურ და ურთიერთმარტივ რიცხვებში, თუ m და n პარამეტრებს მივცემთ ნატურალურ, ურთიერთმარტივ და სხვადასხვა ლუწიანობის მნიშვნელობებს იმ პირობით, რომ $m > n$.

მათემატიკოსმა პიერ ფერმამ (1601 — 1665) გამოთქვა ვარაუდი, რომ ყოველი ნატურალური n რიცხვისათვის, რომელიც 2-ზე მეტია, განტოლებას

$$x^n + y^n = z^n$$

არ აქვს ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში. ამ დებულების დამტკიცება, როდესაც $n=3$ და $n=4$, მოძებნა ლ. ეილერმა.

ამის შემდეგ აურაცხელი ცდა ჩატარდა ამ დებულების მთლიანად დასამტკიცებლად, მაგრამ წარუმატებლად[1], თუმცა ასეთი ცდები უნაყოფო არ ყოფილა — მათ ხელი შეუწყვეს მათემატიკის ახალი დარგის — რიცხვთა ალგებრული თეორიის წარმოშობას და განვითარებას.

1770 წელს შოტლანდიელმა მათემატიკოსმა ვარინგმა გამოთქვა ვარაუდი, რომ ერთისაგან განსხვავებული ყოველი ნატურალური k რიცხვისათვის არსებობს ისეთი ნატურალური r რიცხვი, რომ ნებისმიერი ნატურალური N რიცხვისათვის განტოლებას

$$x_1^k + x_2^k + \dots + x_r^k = N \qquad (18)$$

აქვს მთელი არაუარყოფითი ამონახსნები. ამ დებულების კერძო შემთხვევის დამტკიცება ეკუთვნის ლაგრანჟს. მან დაადგინა, რომ ყოველი მთელი რიცხვი შეიძლება წარმოვადგინოთ ოთხი არაუარყოფითი მთელი რიცხვის კვადრატების ჯამის სახით. მაგალითად:

$$23 = 3^2 + 3^2 + 2^2 + 1^2,$$
$$26 = 4^2 + 3^2 + 1^2 + 0^2.$$

---

[1] ამჟამად თეორემა დამტკიცებულია ყველა n-თვის, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $n \leqslant 10\,000$.

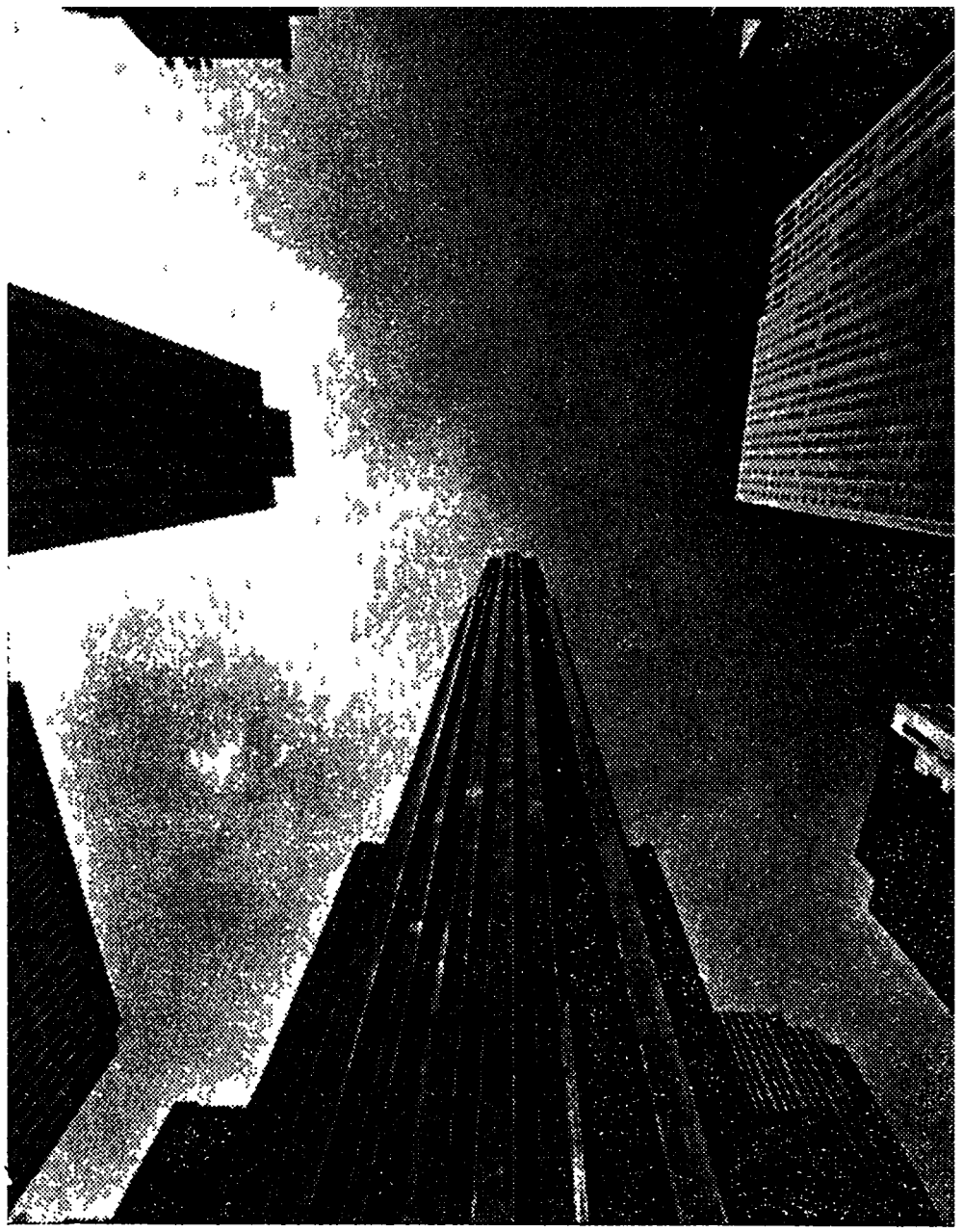
ეს თეორემა მთლიანად დაამტკიცა გერმანელმა მათემატიკოსმა დ. ჰილბერტმა 1909 წელს. მან მხოლოდ ვერ მოახერხა იმ მინიმალური r რიცხვის შეფასება, რომლისთვისაც (18) განტოლება ამოხსნადია მთელ არაუარყოფით რიცხვებში. ამ უმცირესი რიცხვის განსაზღვრა შესაძლო გახდა მხოლოდ მას შემდეგ, რაც საბჭოთა მათემატიკოსმა ი. ვინოგრადოვმა შექმნა ცალკე მეთოდი ამ ამოცანისა და მსგავსი ამოცანების ამოსახსნელად.

დიდი ხანი არ არის, რაც დაიწყო მაჩვენებლიანი განტოლებების შესწავლა. ამ დარგს ეკუთვნის საბჭოთა მათემატიკოსის ა. გელფონდის შემდეგი საინტერესო თეორემა:

განტოლებას $a^x + b^y = c^z$, სადაც a, b და c მთელი რიცხვებია, რომელთაგან არც ერთი არ არის 0 და არ უდრის ორის ხარისხს, შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ სასრული რიცხვი მთელი x, y და z ამონახსნებისა.

ყველაზე რთულია ის განუსაზღვრელი განტოლებანი, რომლებიც რაიმე სახით დაკავშირებულია მარტივ რიცხვებთან. მაგრამ უკანასკნელ წლებში აქაც არის მიღწეული გარკვეული წარმატება.





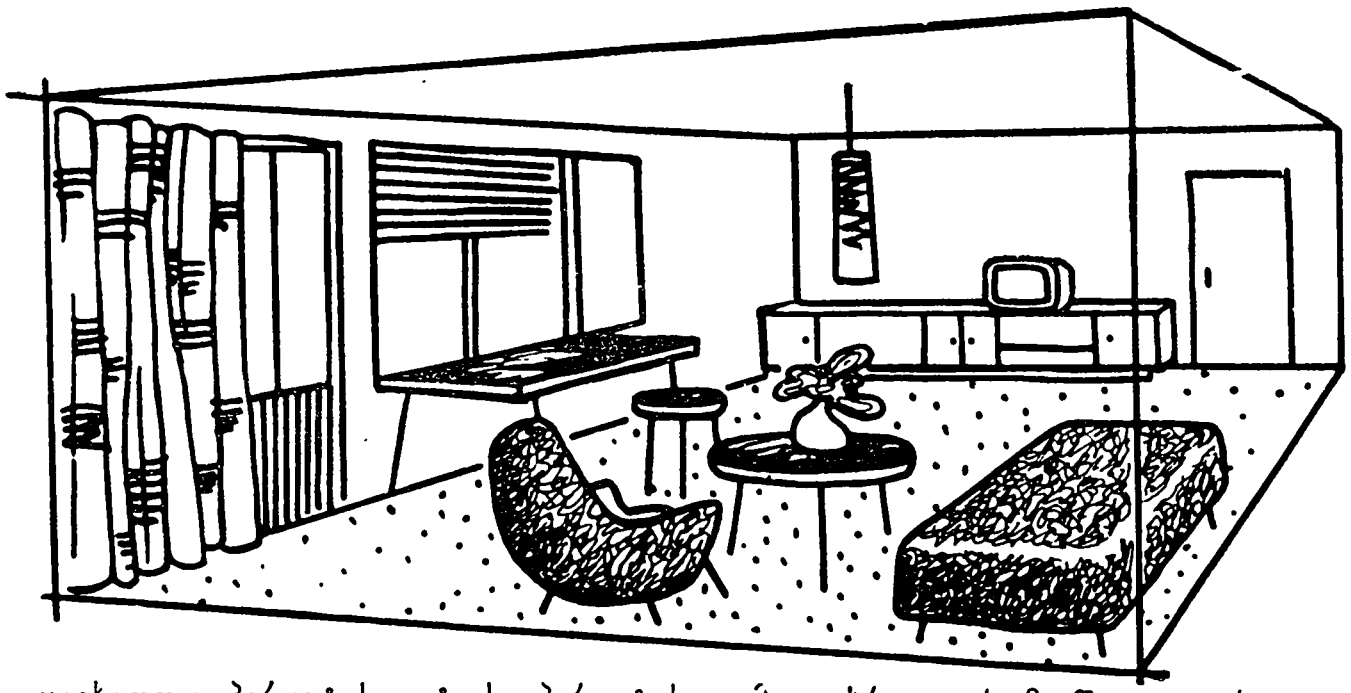
ნაკვთები და სხეულები

გეომეტრია ჩვენს ირგვლივ

იქნებ ზოგიერთს ჰგონია, რომ წირები და ზედაპირები შეიძლება შეგვხვდეს მხოლოდ მეცნიერ-მათემატიკოსების წიგნებში.

მაგრამ საკმარისია ყურადღებით მიმოვიხედოთ, რომ ჩვენს გარშემო მაშინვე შევამჩნიოთ ყოველგვარი გეომეტრიული ნაკვთები. თურმე ისინი ძალიან ბევრია. მათ წინათ, უბრალოდ, ვერ ვამჩნევდით.

აი, ოთახი. მისი კედლები და ჭერიც სიბრტყეებია (ყურადღებას ნუ მივაქცევთ კარებისა და ფანჯრების ჭრილებს), ხოლო თვით ოთახს პარალელეპიპედის ფორმა აქვს.



დავხედოთ პარკეტის იატაკს. პარკეტის თამასები მართკუთხედებია ან კვადრატები.

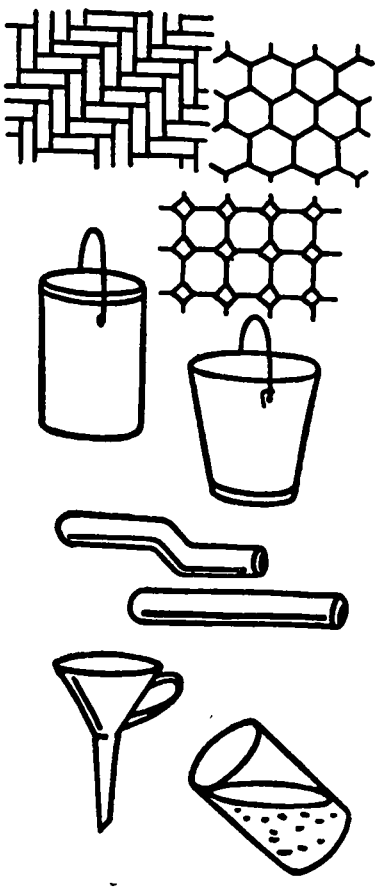
შევიხედოთ სააბაზანოში. იატაკზე დაგებული ფილები ხშირად წესიერი ექვსკუთხედები ან რვაკუთხედებია, რომელთა შორის მცირე ზომის კვადრატებია ჩალაგებული.

დავბრუნდეთ ისევ ოთახში და შევხედოთ ავეჯს. კარადა ძირითადად წარმოადგენს პარალელეპიპედს. საწერი მაგიდა სხვა არაფერია, თუ არა ძალზე ბრტყელი პარალელეპიპედი, რომელიც ძევს ორ სხვა პარალელეპიპედზე — ბოძკინტებზე, რომლებშიაც განლაგებულია უჯრები. მაგიდაზე დგას შუქფარიანი ლამპა. მისი შუქფარი კონუსია.

ვედრო წარმოადგენს წაკვეთილ კონუსს, რომლის ზედა ფუძე ქვედაზე მეტია. თუმცა ვხვდებით ცილინდრული სახის ვედროებსაც. საერთოდ, სახლში ძალიან ბევრია კონუსი და ცილინდრი. ყველა სწორი მილი (წყალსადენის, ორთქლით გათბობის, აირსადენისა) ცილინდრია, მაგრამ იქ, სადაც მილები მოღუნულია, წარმოიქმნება ე. წ. მილისებრი ზედაპირები.

ბუფეტში დგას ჭურჭელი. აი, წახნაგოვანი ჭიქა, რომლის გვერდის ზედაპირს წესიერი წაკვეთილი მრავალწახნაგოვანი პირამიდის ფორმა აქვს. ლამბაქები წაკვეთილი კონუსის ფორმისაა. ძაბრი შედგება ორი წაკვეთილი კონუსისაგან, რომლებიც ერთიმეორეზეა მიდგმული.

ჭიქაში ჩასხმული წყლის ზედაპირის ნაპირს აქვს წრეწირის ფორმა. თუ ჭიქას ისე გადავხრით, რომ წყალი არ დაიღვაროს, მაშინ წყლის ზედაპირის ნაპირი ელიფსად გადაიქცევა.



გავიდეთ ქუჩაში. ჩვენს წინ სახლებია. თუ ყურადღებას არ მივაქცევთ მათი არქიტექტურული მოპირკეთების სხვადასხვა თავისებურებას, შეიძლება ითქვას, რომ შენობის კედლები სიბრტყეებია. ორი კედელი, რომლებიც ქმნიან კუთხეს, იკვეთება წრფეზე. ამ თვალსაზრისით, შენობა მთლიანად წარმოადგენს სხეულს, რომელიც შემოსაზღვრულია ურთიერთგადამკვეთი სიბრტყეებით, ე. ი. მრავალწახნაგაა.

მრავალ საცხოვრებელ სახლს, სასახლეს, საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობას ამშვენებს სვეტები. ისინი უმთავრესად ცილინდრებია, მაგრამ შეიძლება ჰქონდეთ უფრო რთული ფორმაც.

ვისაც მოსკოვის კრემლი უნახავს, უთუოდ მოხიბლულა მისი სილამაზით. მართლაც მომხიბვლელია კრემლის კოშკები. აქ გეომეტრიული ფორმების უთვალავ სხვადასხვაობას ნახავთ. აი, მაგალითად, ნაბათის კოშკი. მაღალ პარალელეპი-

პედზე დადგმულია უფრო პატარა პარალელეპიპედი, ხოლო უფრო მაღლა — ოთხკუთხა წაკვეთილი პირამიდა. პირამიდაზე ოთხი თაღია, რომლებიც თავის მხრივ რვაწახნაგა პირამიდით ბოლოვდება.

ქუჩაში მოძრაობენ ავტომობილები, ტრამვაები, ტროლეიბუსები. მათი ბორბლები გეომეტრიული თვალსაზრისით წრეებია. უნდა გვახსოვდეს, რომ წრეწირები სწორედ ის მრუდი წირებია, რომლებსაც არაერთგზის შეუმსუბუქებიათ ადამიანის შრომა. მაგრამ იყო დრო, როდესაც ადამიანმა ბორბლის შესახებ არაფერი იცოდა.

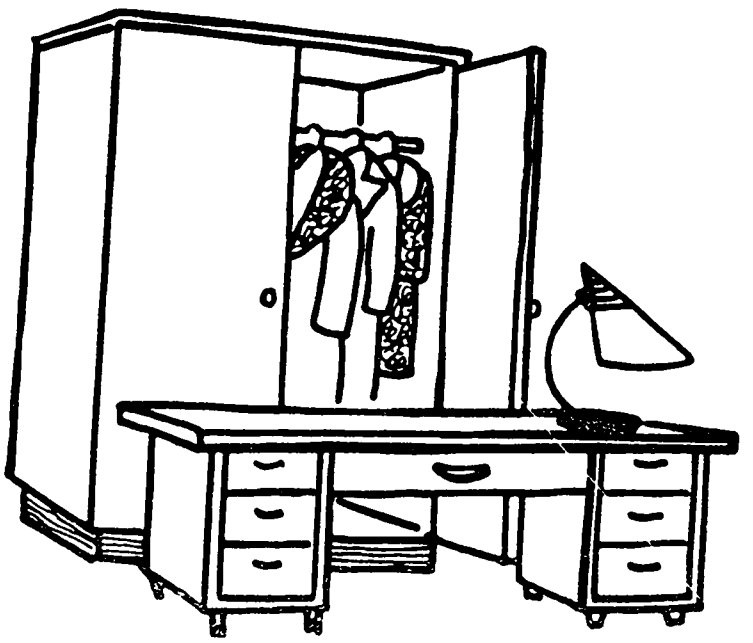
ახლა დავაკვირდეთ ავტომობილის შუქფარს. მისი შიგნითა ზედაპირი სარკეს წარმოადგენს. ავტომობილის კონსტრუქტორებმა იციან, რომ ფარიდან გამომავალი სინათლე უნდა გავრცელდეს პარალელურ სხივთა კონის სახით: ასეთ შემთხვევაში სინათლის ძალა შემცირდება მანძილის გადიდებასთან ერთად. მაგრამ იმისათვის, რომ ფარის სარკემ პარალელური კონით არეკლოს სხივები, სარკე უნდა იყოს ბრუნვითი პარაბოლოიდის ფორმისა, რომლის შიგნით გარკვეულ წერტილში (ფოკუსში) მოთავსებულია ნათურა. ბრუნვითი პარაბოლოიდი ისეთი ზედაპირია, რომელიც მიიღება პარაბოლის ბრუნვით მისი ღერძის გარშემო.

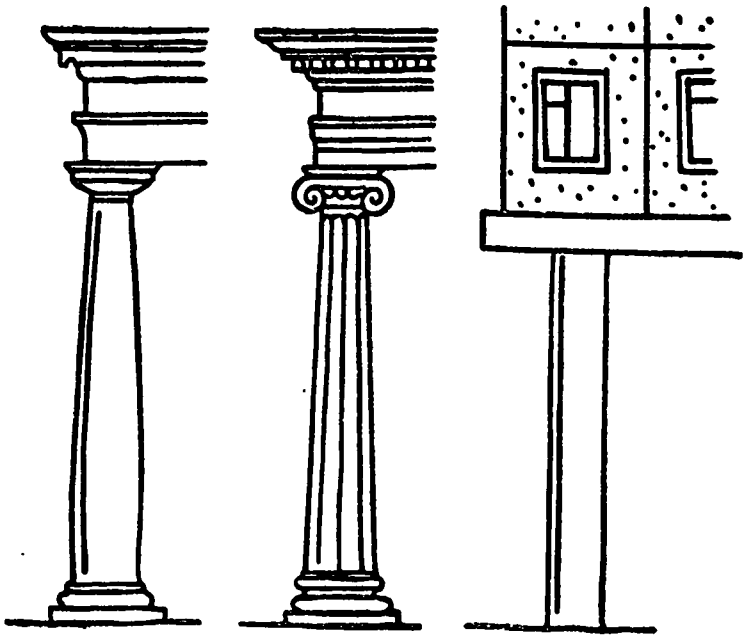
ბრუნვითი პარაბოლოიდის ფორმის ამრეკლავ სარკეებს იყენებენ აგრეთვე პროჟექტორებში.

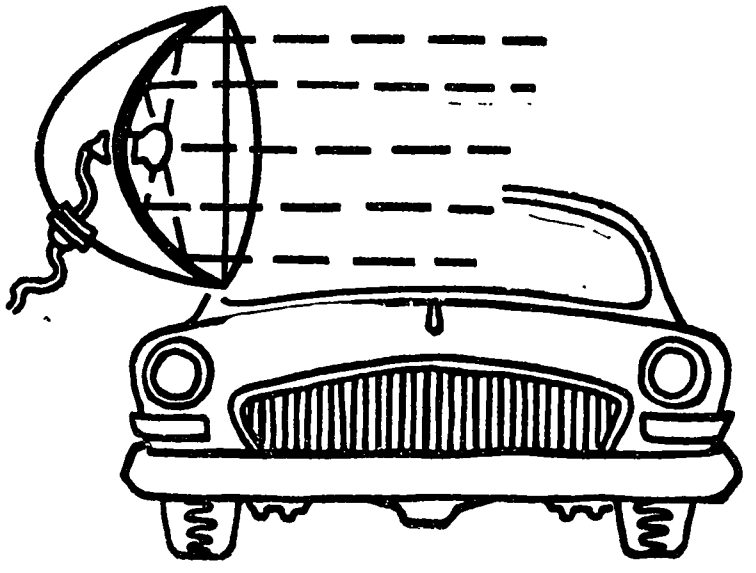
ჩვენს წინ ხიდია. ხიდის თაღი შეიძლება სხვადასხვა ფორმისა იყოს: ზოგი ელიფსურია, ზოგი პარაბოლური. ხიდის მოაჯირზე ხშირად დამაგრებულია მაშველი რგოლები, რომლებიც ფორმით ძალზე წააგავს ტორს. ტორი ზედაპირია, რომელიც მიიღება წრეწირის ბრუნვით ისეთი ღერძის გარშემო, რომელიც მას (წრეწირს) არ კვეთს, მაგრამ დევს წრეწირის სიბრტყეში.

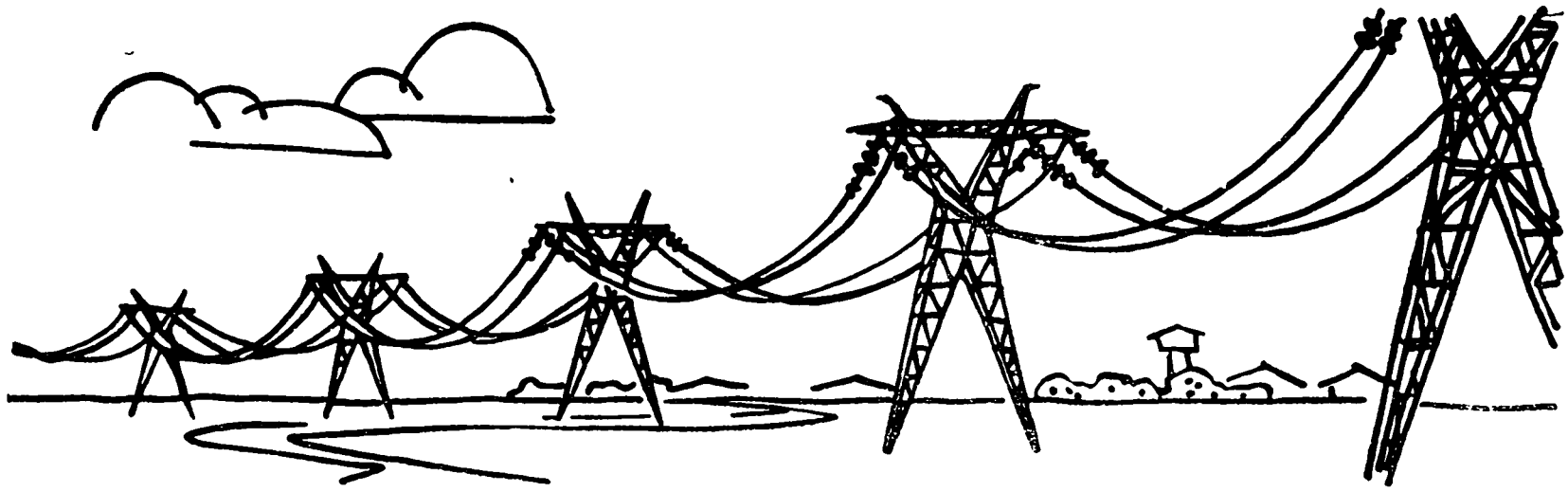
ახლა თუ რადიოსადგურს დავათვალიერებთ, შევნიშნავთ რადიოანძებს, რომელთა წვეროებზე ელექტრომაგნიტურ რხევათა გამომსხივებლებია დადგმული. მაგრამ დააკვირდით, რა საოცარი ფორმა აქვთ ამ ანძებს. თითოეული მათგანი ერთი მეორეზე დადგმული ცალკეული ნაწილებისაგან (სექციებისაგან) შედგება. ყოველი სექცია წრფივი ღეროებისაგან წარმოქმნილ მომრგვალებულ ბადეს წააგავს.

განვიხილოთ ერთ-ერთი სექცია (სექციები მხოლოდ სიდიდით განსხვავდებიან). წარმოვიდგინოთ,









რომ ღეროები ერთიმეორესთან მჭიდროდაა მიჯრილი. მაშინ ისინი შექმნიან მრუდე ზედაპირს, რომელსაც ცალკალთა ჰიპერბოლოიდი ეწოდება. ის წრფივი ღეროები, რომლებსაც ჩვენ ვხედავთ, წარმოადგენენ ამ ზედაპირის წრფივ მსახველებს. ძნელი დასაჯერებელია, რომ იგი წრფეებისაგან შედგება, მაგრამ ეს ასეა. ამგვარი კონსტრუქცია ძალზე მსუბუქია და განსაკუთრებული სიმტკიცით გამოირჩევა.

სახელწოდება ცალკალთა ჰიპერბოლოიდი თვით ჰიპერბოლამ წარმოშვა. ეს ზედაპირი შექმნილია ჰიპერბოლის ბრუნვით იმ ღერძის ირგვლივ, რომელიც მას (ჰიპერბოლას) არ კვეთს. ასეთ შემთხვევაში ბრუნვის შედეგად მიიღება მთლიანი ზედაპირი (ერთი კალთა). მაგრამ თუ ჰიპერბოლას სხვა ღერძის ირგვლივ ვაბრუნებთ, მივიღებთ ზედაპირს, რომელიც შედგება ორი ნაწილისაგან. ასეთ ზედაპირს ეწოდება ორკალთა ჰიპერბოლოიდი (მას უკვე არა აქვს წრფივი მსახველები).

მოსკოვში, ტიმირიაზევის სახელობის სასოფლო-სამეურნეო აკადემიის მახლობლად, აგებულია ამ სახის წყალსატუმბი კოშკი. ასეთი კოშკები პირველად კონსტრუირებული იყო საბჭოთა ინჟინრის ვ. შუხოვის მიერ. ახლა ამგვარ კოშკებს შუხოვის კოშკებს უწოდებენ.

გეომეტრია არც მატარებელში მსხდომთ სცილდება. გზის ორივე მხარეს მიჭრიან მავთულებგაჭიმული ბოძები. ვამჩნევთ მაღალი ძაბვის სადენებსაც. მავთულები საკუთარი სიმძიმისაგან ოდნავ ჩაზნექილან. რა სახის წირები წარმოიქმნება ჩაზნექვის შედეგად? ამ საკითხს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. როდესაც გვინდა განვსაზღვროთ მავთულის სიგრძე, რომელიც საჭიროა ელექტროენერგიის გადასაცემად დიდ მანძილებზე, უნდა გავითვალისწინოთ, რამდენით მეტი იქნება ამ გაყვანილობის სიგრძე (ჩაზნექვის შედეგად) იმ მანძილზე, რომელზედაც სადენი უნდა გაიყვანონ. ზუსტი გაანგარიშებისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ, რა სახის წირი წარმოიქმნება ყოველ ორ ბოძს შორის გაჭიმული მავთულის ჩაზნექვით. თურმე ეს ე. წ. ჯაჭვწირია.

ასევე ჩაიზნიქება ზონარი, რომელიც დამაგრებულია კედელზე დაჭედებულ ორ ლურსმანზე. ჯაჭვწირი ძალიან წააგავს პარაბოლას, მაგრამ ის არაა პარაბოლა. ჯაჭვწირსა და პარაბოლას სხვადასხვანაირი თვისებები აქვთ.

მატარებელი რკინიგზის წრფივ გზაზე მოძრაობს და დროდადრო მოსახვევებსაც ისე გაივლის ხოლმე, რომ ბიძგებს ვერ ვგრძნობთ. ასეთი სვლა მოსახვევებში გაპირობებულია არა მარტო იმით, რომ ლიანდაგის სიმრუდე გზის სიმრუდეს ემთხვევა, არამედ იმითაც, რომ ლიანდაგი იღებს საკმარისად რთული მრუდის სახეს. იშვიათად, ისიც მკვეთრი მოსახვევის გავლისას, თუ შევიგრძნობთ ბიძგებს ვაგონის ერთი კედლიდან მეორისკენ. ჩვენ ვიცით, რომ ასეთ შემთხვევაში ვაგონზე მოქმედებს ცენტრიდანული ძალა, რომელიც ცდილობს გადააბრუნოს იგი და მატარებელში მოთავსებული ყველა საგანი მოსახვევის გარე მხარეს გადახაროს.

ვაგონები რომ არ გადაბრუნდეს, გარე ლიანდაგი მოსახვევებში ოდნავ ამაღლებულია შიგასთან შედარებით. ეს ამაღლება მით მეტია, რაც უფრო მკვეთრია მოსახვევი. მაგრამ თუ საჭიროა მატარებლის მყისიერი გაყვანა სწორხაზოვანი უბნიდან პირდაპირ მოსახვევზე, მაშინ სწრაფად და

მკვეთრად უნდა ამაღლდეს ერთი რომელიმე ლიანდაგი, რის შედეგადაც ვაგონები მოსახვევზე გავლის დროს ძლიერ ბიძგებს განიცდის. ბიძგების თავიდან ასაცილებლად მოსახვევებზე აკეთებენ თანდათანობით გადასასვლელებს. რკინიგზის სწორხაზოვანი უბნის შემდეგ ლიანდაგებს ალაგებენ ე. წ. გარდამავალ მრუდზე (რომლის გასწვრივ სიმრუდე თანდათან მატულობს) და მხოლოდ ამის შემდეგ გადაჰყავთ ეს მრუდი წრეწირის რკალში. ასევე იქცევიან მოსახვევის ბოლოშიც. გარდამავალ მრუდებად გამოიყენება სხვადასხვა წირები (იმის მიხედვით, თუ როგორია მოსახვევის სიმრუდე, მატარებლის სიჩქარე მოსახვევში და ა. შ.). უფრო ხშირად გამოიყენება კუბური პარაბოლას რკალი, ლემნისკატის რკალი, ან კიდევ ე. წ. კორნიუს სპირალის რკალი.

აქამდე ჩვენ მხოლოდ იმ მარტივ წირებსა და ზედაპირებზე ვსაუბრობდით, რომლებიც პირველი შეხედვისთანავე შეიმჩნევიან. მაგრამ თუ ყურადღებით მიმოვიხედავთ, სულ ახალსა და ახალ წირებსა და ზედაპირებს აღმოვაჩენთ.

შევიხედოთ ქარხანაში. ქარხნის მილი წარმოადგენს წაკვეთილ კონუსს, რომელიც ქვევით ფართოა, ზევით კი თანდათანობით ვიწროვდება. ქარხნებში მომუშავე დაზგების მოძრავი ნაწილები უამრავ განსხვავებულ წირს შემოწერენ. ყველა ხრახნზე ხრახნული ჭრილებია. აქვე ვხედავთ ელიფსურ ბორბლებიან დაზგებს, ან კბილანა ბორბლებს, რომელთაც სხვადასხვანაირი კბილანები აქვთ. კბილანები ემსგავსებიან ციკლოიდის რკალს, ელიფსს, წრის ევოლვენტს. ამ მრუდთა თვისებებს, რომლებიც უმაღლეს მათემატიკაში შეისწავლება, ფართოდ იყენებენ ტექნიკაში.

ჩვენ არაფერი გვითქვამს სფერულ ზედაპირებზე, რომლებიც ძალზე ხშირად გვხვდება პრაქტიკაში. გავიხსენოთ, მაგალითად, ბურთულასაკისრები. უფრო მეტიც, სფეროს ფორმას აძლევენ ე. წ. აირსაცავს, ე. ი. გაზის მოსაგროვებელ რეზერვუარს. ეს აიხსნება სფეროს იმ ძირითადი თვისებით, რომ მის დასამზადებლად უფრო ცოტა მასალაა საჭირო, ვიდრე იმავე მოცულობის სხვა ფორმის ჭურჭლისათვის.

გვხვდება აგრეთვე მრავალი სახის, უფრო რთული ფორმის ზედაპირები, რომლებსაც სპეციალური სახელწოდება არცა აქვთ.

აი, ორთქლის ქვაბი, რომელიც ცილინდრს მოგვაგონებს. შიგ მოთავსებულია დიდი წნევის ორთქლი. ამის გამო ცილინდრის კედლები მცირედაა გაღუნული (უბრალო თვალისათვის ეს ძნელად შესამჩნევია), რის შედეგადაც წარმოიშვება ძალიან რთული, არაწესიერი ფორმის ზედაპირი. ამ ზედაპირის კარგად ცოდნა სავალდებულოა ინჟინრებისათვის, რომ შეძლონ ქვაბის სიმტკიცის გაანგარიშება. რთული სახისაა აგრეთვე წყალქვეშა ნავის კორპუსიც. ის უნდა იყოს კარგი გარსშემოდენილობის, მტკიცე და ტევადი. დავაკვირდეთ გემის კორპუსის ფორმას. კორპუსის ფორმაზეა დამოკიდებული გემის სიმტკიცეც და მდგრადობაც.

მოძრაობის დიდმა სიჩქარეებმა აიძულა ინჟინრები სერიოზული ყურადღება მიექციათ თანამედროვე მატარებლის, თვითმფრინავის, ავტომობილის მოყვანილობისათვის. სწორედ მასზეა დამოკიდებული შემხვედრი ჰაერის წინაღობა, რომელიც სწრაფად იზრდება სიჩქარის გადიდებისას. თუ ფორმა იქნება კარგი, გარსშემომდინარე, მაშინ ჰაერის წინაღობა მნიშვნელოვნად შეგვიძლია შევამციროთ. მაგალითად, სპორტული ავტომობილის ძარას ისეთ ფორმას აძლევენ, რომ შემხვედრი ჰაერის ნაკადი მდოვრედ შემოედინებოდეს მანქანას და მას მიწაზე ამაგრებდეს.

არსებობს სხვა მრავალი რთული სახის ზედაპირი, რომელთაც ტექნიკაში იყენებენ, მაგრამ ელემენტარული მათემატიკის მეთოდებით ვერ შეისწავლება. ამ ზედაპირებით დაინტერესებული არიან ინჟინრები და გულმოდგინედ აწარმოებენ მათ გაანგარიშებებს საკონსტრუქტორო ბიუროში.

ჩვენ ვცხოვრობთ კოსმოსის დაპყრობის ეპოქაში. ჩვენი რაკეტები უშვებენ დედამიწის თანამგზავრებს, კოსმოსურ ხომალდებს. კოსმოსურმა ლაბორატორიამ სურათი გადაუღო მთვარის უკანა მხარეს.

როგორ გეომეტრიულ ფორმებს ვიყენებთ ამ შემთხვევებში? ძირითადად რაკეტის კორპუსი შედგება ცილინდრისაგან, რომელიც შეიცავს ძრავას და საწვავს. წინა კონუსურ ნაწილში მოთავსებულია კაბინა, რომელშიც ხელსაწყოები ან კოსმონავტია.

შენობებისათვის აუცილებელი კოჭები, რომლებიც იატაკის, ჭერისა და სხვათა საყრდენადაა გამოყენებული, გარკვეული ფორმის უნდა იყოს იმისდა მიხედვით, თუ რა დატვირთვას უნდა გა-

უძლოს. მათი ფორმა უმთავრესად ე. წ. მ ე-4 ხ ა რ ი ს ხ ი ს პ ა რ ა ბ ო ლ ე ბ ი ა.

ჩვენ ვხედავთ, რამდენ სხვადასხვა სახის გეომეტრიულ წირს და ზედაპირს იყენებს ადამიანი პრაქტიკულ საქმიანობაში, მაგალითად: ბინების, ფაბრიკების, ქარხნების, ხიდების, მანქანების, სახმელეთო, საზღვაო, საჰაერო ტრანსპორტის მშენებლობაში. ამ გეომეტრიულ წირთა და ზედაპირთა თვისებანი ძალიან იოლად წყვეტს სხვადასხვა სახის ტექნიკურ პრობლემებს.

მაგრამ იმისთვის, რომ ტექნიკაში გამოვიყენოთ ეს თვისებები, უნდა ვიცოდეთ ისინი. მაშასადამე, უნდა შევისწავლოთ ყველა სახის წირი და ზედაპირი. სხვადასხვა სახის წირების და ზედაპირების შესწავლა ნიშნავს იმას, რომ მათი თვისებები გამოვსახოთ ფორმულებით, რომელთა საშუალებითაც გავიანგარიშებთ მანქანებს, შენობებს და მრავალ სხვა ნაგებობას.

აქამდე ლაპარაკი გვქონდა იმ გეომეტრიულ ფორმებზე, რომლებიც ადამიანის ხელმა შექმნა, მაგრამ ბუნებაშიც უამრავი გეომეტრიული ფორმა არსებობს.

ჩვენ ვცხოვრობთ თავისებურ ზედაპირზე, რომელსაც თუმცა დედამიწა ეწოდება, მაგრამ სინამდვილეში, როგორც ასტრონომები ამბობენ, გ ე ო ი დ ს წარმოადგენს და ფორმით ძალიან ჰგავს ბ რ უ ნ ვ ი თ ე ლ ი ფ ს ო ი დ ს.

ელიფსოიდი წარმოქმნილია ელიფსის ბრუნვით თავისი უმცირესი ღერძის გარშემო. მართალია, იგი მცირედ განსხვავდება სფეროსაგან (ნახევარღერძები ელიფსისა, რომლის ბრუნვითაც შექმნილია ელიფსოიდი, ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც $\frac{299}{300}$), მაგრამ ეს განსხვავება მაინც უნდა მივიღოთ მხედველობაში გეოგრაფიული რუკების შედგენისას.

კრისტალებს თუ დავხედავთ, აღმოვაჩენთ პრიზმების, პირამიდების და სხვა მრავალწახნაგთა ერთობლიობას.

ხის ფოთლები შემოსაზღვრულია მეტად საოცარი წირებით.

არაფერია თვალისათვის ისე მოსაწყენი და ერთფეროვანი, როგორც ზღვის უსაზღვრო ბრტყელი ზედაპირი უქარო, წყნარ ამინდში. მაგრამ რამდენ სიძნელეს უქმნის ადამიანს ზღვა ქარიან ამინდში. ჯერ წარმოიქმნება მცირე ტალღები, რომლებიც შემდგომ საოცარ გეომეტრიულ ფორმებს ღებულობენ ერთმანეთთან შეჯახებისას, ვიწრო სრუტეში ან მეჩეჩზე მოხვედრისას. ასეთი ტალღების ზედაპირის შესწავლა აუცილებელია, რადგან სწორედ ამის საფუძველზე აპროექტებენ ისეთ ხომალდთა კორპუსებს, რომლებიც ყველაზე ნაკლებ განიცდიან რყევას და ყველაზე გამძლენი არიან.

ბევრ შემთხვევაში ბუნების მოვლენებზე დაკვირვება ადამიანს ტექნიკური ამოცანების ამოხსნაში ეხმარება. საკმარისია გავიხსენოთ, რომ ავიაციის განვითარების გარიჟრაჟზე რუსმა სახელოვანმა მეცნიერმა ნ. ჟუკოვსკიმ, რომელსაც ვ. ი. ლენინმა „რუსული ავიაციის მამა“ უწოდა, და ს. ჩაპლიგინმა შეისწავლეს ჩიტების ფრენა იმისათვის, რომ გამოეტანათ სათანადო დასკვნები თვითმფრინავის ფრთის ყველაზე ხელსაყრელი ფორმებისა და თვითმფრინავის ფრენისათვის სათანადო პირობების შესახებ. ზემოთ თქმულიდან ნათლად ჩანს, რომ დიდი როლი აკისრია გეომეტრიას ჩვენს ცხოვრებაში.

ჩვენი სასკოლო, ელემენტარული გეომეტრია შეისწავლის გეომეტრიულ სხეულთაგან უმარტივესებს. მაგრამ არსებობს კიდევ სხვა გეომეტრიული მეცნიერებები, რომლებიც უფრო რთულ წირებსა და ზედაპირებს შეისწავლიან.

როგორ წარმოიშვა გეომეტრია

გეომეტრია, როგორც სხვა მეცნიერებები, პრაქტიკამ წარმოშვა. თვით სიტყვა „გეომეტრია“ ბერძნულია და ქართულად „მიწისმზომელობას“ ნიშნავს.

ადამიანებს ოდითგანვე სჭირდებოდათ მიწის ნაკვეთების გაზომვა. ჩვენს ერამდე, 3 — 4 ათასი წლის წინათ, ადამიანის ცხოვრებისათვის დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ნილოსის, ტიგრის, ევფრა-

ტის და სხვა მდინარეთა ხეობებში მდებარე ნაყოფიერი მიწის ნაკვეთებს. მდინარეების ადიდების შემდეგ საჭირო იყო მიწის ხელახალი დაყოფა. ეს კი გეომეტრიისა და არითმეტიკის ცოდნას მოითხოვდა.

საინტერესოა, როგორ ახერხებდნენ ადამიანები მიწის ნაკვეთებიდან აღებული ხორბლის აწყვას. პირველად ხორბალს ისე წყავდნენ, როგორც ჩვენ წყალსა და ნავთს ვწყავთ, ე. ი. მოცულობით. ხორბლის საზომ ერთეულად ირჩევდნენ განსაზღვრული ტევადობის ჭურჭელს და ითვლიდნენ, რამდენი ასეთი ჭურჭელი სჭირდებოდა ხორბლის გროვას. მოცულობის განსაზღვრის ამ პირველ მეთოდს მივყავართ სხვადასხვა სხეულის მოცულობათა ურთიერთდამოკიდებულებამდე.

თანდათანობით ადამიანებმა დაიწყეს უფრო რთული აღნაგობის გეომეტრიული ნაკვთების თვისებების შესწავლა, მათი გაზომვა.

ჩვენამდე მოღწეული ეგვიპტური პაპირუსებიდან და უძველესი ბაბილონური ტექსტებიდან ჩანს, რომ 2000 წლის წინათ ჩვენს ერამდე ადამიანებს შეეძლოთ სამკუთხედის, მართკუთხედის, ტრაპეციის ფართობთა გაზომვა, წრის ფართობის მიახლოებით გამოთვლა. მათ იცოდნენ აგრეთვე კუბის, ცილინდრის, კონუსის, პირამიდისა და წაკვეთილი პირამიდის მოცულობის გამოსათვლელი ფორმულები. არქიტექტურისა და უფრო გვიან ასტრონომიის განვითარებამ ახალი მოთხოვნები წამოაყენა გეომეტრიის წინაშე. ეგვიპტელებიც და ბაბილონელებიც აგებდნენ უზარმაზარ ტაძრებს, რომელთა მშენებლობა წინასწარი გაანგარიშების საფუძველზე მიმდინარეობდა. VI საუკუნეში ძვ. წ. კუნძულ სამოსზე (ძველი საბერძნეთის ერთ-ერთი სახელმწიფო) მოწყობილი იყო წყალსადენი, რომლითაც კასტროს მთის გადაღმა მდებარე წყაროს წყალი ქალაქში შეჰყავდათ. წყალსადენი გადიოდა 1 კმ სიგრძის გვირაბში. აღსანიშნავია, რომ ამ გვირაბს თხრიდნენ ერთდროულად ორივე მხრიდან, და მისი ორივე ნაკვეთი თითქმის ზუსტად შეხვდა ერთმანეთს მიწის ქვეშ. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გვირაბის მიმართულება წინასწარ იყო განსაზღვრული, ე. ი. ამოცანა გადაუწყვეტიათ გამოთვლითი გეომეტრიის საშუალებით, რაც საინჟინრო საქმეში ახლაც არ ითვლება მარტივ ამოცანად. ასეთი მშენებლობისათვის უძველეს დროშიაც სჭირდებოდათ გარკვეული სახის ნახაზები, უნდა სცოდნოდათ აგრეთვე მსგავსების თეორია.

პითაგორემდე დიდი ხნით ადრე კარგად იყო ცნობილი იმ თეორემის კერძო შემთხვევები, რომელიც მის სახელს ატარებს. სახელდობრ, ცნობილი იყო, რომ თუ მართკუთხა სამკუთხედების გვერდთა სიგრძეები მთელი რიცხვებით იქნებოდა გამოსახული, მაშინ ჰიპოტენუზის სიგრძის კვადრატი ტოლი იქნებოდა კათეტების სიგრძეთა კვადრატების ჯამისა. იცნობდნენ შებრუნებულ თეორემასაც: თუ a, b და c ისეთი მთელი რიცხვებია, რომ $c^2 = a^2 + b^2$ (მაგალითად, $a = 3$, $b = 4$, $c = 5$), მაშინ a, b, c გვერდებიანი სამკუთხედი მართკუთხა იქნება. „პითაგორეს თეორემა“ და მისი შებრუნებული თეორემა სწორედ ამ სახით იყო ცნობილი ბაბილონში.

მაგრამ, მიუხედავად იმისა, რომ კაცობრიობა ესოდენ კარგად იცნობდა გეომეტრიულ ფაქტებს, გეომეტრია, როგორც მეცნიერება, ჯერ კიდევ არ არსებობდა.

ძველი აღმოსავლეთის ქვეყნებში, რომლებზედაც უკვე გვქონდა საუბარი, გეომეტრიული ცოდნა თავმოყრილი იყო კრებულებში ერთმანეთთან დაუკავშირებელი სასარგებლო რეცეპტების სახით. ეს კრებულები მოგვაგონებდა საოჯახო კულინარიულ წიგნებს. ამოცანის ამოსახსნელად ასახელებდნენ რეცეპტს, რომლის სისწორეში შეიძლებოდა დავრწმუნებულიყავით მხოლოდ კონკრეტულ მაგალითებზე. ზოგად დებულებებს არ ამტკიცებდნენ.

გეომეტრიის მეცნიერებად ჩამოყალიბება

დაახლოებით ასევე გამოიყურებოდა გეომეტრიული ცოდნა ძველ საბერძნეთში VII — VI სს. ძვ. წ. ბერძნული კულტურა შედარებით ახალგაზრდა იყო. ამიტომ მრავალი მეცნიერული ცნობა ბერძნებმა ეგვიპტელებისა და ბაბილონელებისაგან გადაიღეს. სწორედ აქ, საბერძნეთში, ძვ. წ. VI ს. მოხდა ძირეული ცვლილება გეომეტრიის შესწავლის მხრივ, აქვე ჩამოყალიბდა გეომეტრია მეცნიერებად.

ამ დროს დამყარდა დემოკრატია ბერძნულ ქალაქ-სახელმწიფოთა უმრავლესობაში. ეს იყო

დრო საზოგადოებრივ-პოლიტიკური ცხოვრების მძაფრი განვითარებისა და მეცნიერულ-ფილოსოფიური სკოლების ჩამოყალიბებისა საბერძნეთში. ამ სკოლებში პირველად კაცობრიობის ისტორიაში მეცნიერები შეეცადნენ ჩაწვდომოდნენ და აეხსნათ სამყაროს აგებულება მეცნიერული და ფილოსოფიური თვალსაზრისით.

მანამდე ძველი აღმოსავლეთის ქვეყნებში გაბატონებული იყო რელიგიური დოგმატები, რომლებიც ბრმად უნდა ეწამათ, მათზე მსჯელობა არ შეიძლებოდა. საბერძნეთში, პირიქით, ყოველი სკოლა ცდილობდა დაემტკიცებინა თავისი სისწორე და უარეყო მოწინააღმდეგეთა მოსაზრებანი მათ მოძღვრებაში არსებული ლოგიკური წინააღმდეგობების საფუძველზე. ლოგიკური მსჯელობა ამ დროს მტკიცედ დამკვიდრდა არა მარტო საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებსა და ფილოსოფიაში, არამედ სასამართლოებსა და სახალხო კრებებზეც. განსაკუთრებული როლი ითამაშა ლოგიკურმა მსჯელობებმა გეომეტრიაში. სწორედ მათი საშუალებით გახდა შესაძლებელი გეომეტრიული ფაქტების მეცნიერებად ჩამოყალიბება. თვით ბერძნები გეომეტრიის აღმოცენებას პითაგორესა და მისი სკოლის მოღვაწეობას უკავშირებდნენ. პითაგორეზე თითქმის არ გაგვაჩნია რაიმე სარწმუნო ცნობა. ჯერ კიდევ ძველად მისი სახელი გარემოცული იყო ფანტასტიკური ლეგენდებით. ცნობილია, რომ პითაგორე დაახლოებით ძვ. წ. VI ს. შუა ხანებში გადასახლდა კუნძულ სამოსზე, სამხრეთ იტალიაში, სადაც იყო მდიდარი ბერძნული ქალაქი-კოლონიები, და იქ ჩამოაყალიბა კავშირი. ეს კავშირი პოლიტიკურ და მეცნიერულ მიზნებს ისახავდა. ჩვენთვის ცნობილია ძვ. წ. V ს. მრავალი მათემატიკოსი, რომლებიც თავიანთ თავს პითაგორელებს უწოდებდნენ. ამიტომ ყოველგვარი საფუძველი გვაქვს ვილაპარაკოთ პითაგორეს მათემატიკურ სკოლაზე, თუმცა ჩვენთვის არ არის ცნობილი, სახელდობრ რა აღმოჩენები ჰქონდა პითაგორეს და რომელი მიეკუთვნებოდა მის მიმდევრებს. რა დამსახურება მიუძღვით პითაგორელებს გეომეტრიაში?

პირველ ყოვლისა, მათ ჩამოაყალიბეს გეომეტრია, როგორც აბსტრაქტული მეცნიერება (ეს გეომეტრია შეისწავლის ზოგად თვისებებს რაღაც იდეალური ნაკვთებისას, რომლებიც „წმინდა სახით“ ბუნებაში არ გვხვდება). გეომეტრიაში შემოიღეს წირები, რომლებსაც მხოლოდ სიგრძე აქვთ, სიგანე კი არა; წერტილები, რომლებსაც არ აქვთ არც სიგრძე და არც სიგანე; ასეთი წირებისაგან შემდგარი ნაკვთები და ა. შ. ეს ახალი გეომეტრიული ობიექტები რეალური ფიზიკური სხეულებისაგან განყენებული, აბსტრაქტული ფორმებია. მაგალითად, წრფე შესაძლებელია წარმოშობილიყო როგორც აბსტრაქცია დაჭიმული თოკის, სიმის, სინათლის სხივისა და ა. შ. მაგრამ, ცხადია, ჩვენ ვერასოდეს ვერ შევძლებთ იდეალური წრფის მონაკვეთის აგებას: რა ზუსტადაც არ უნდა გამოვხაზოთ იგი ტუშით ან ცარცით, თუ მას მიკროსკოპში დავაკვირდებით, შევნიშნავთ, რომ სულაც არ იქნება წრფის მონაკვეთი.

განყენებული ცნებების შექმნა არც ისე იოლი გახლდათ. ბევრ მოაზროვნეს არ ესმოდა, რა სასარგებლო იყო ისინი. მაგალითად, სოფისტი პროტაგორე არ ცნობდა გეომეტრიულ აბსტრაქციებს. ამბობდა, რომ ჯერ არავის უნახავს წრფე, რომელსაც არ ჰქონდეს სიგანე, არ უნახავს, რომ წრეწირი სახაზავს ერთ რომელიმე წერტილში ეხებოდეს — წრეწირი სახაზავს ყოველთვის რაიმე მცირე მონაკვეთით ეხება, ამიტომ ასეთი საგნები არ არსებობსო.

მაგრამ მოკლე ხანში ახალმა თვალსაზრისმა გეომეტრიაში ისეთი შედეგები გამოიღო, რომ მეცნიერთა უმრავლესობამ მიიღო ეს აბსტრაქციები და დაიწყო მათი გამოყენება. როგორ იყენებდნენ აბსტრაქციებს? საზოგადოდ, როგორ შეიძლება იმ იდეალური ნაკვთების შესწავლა, რომლებთანაც აქვს საქმე გეომეტრიას?

ძველ ბერძენთა უდიდესი მიღწევა სწორედ ის იყო, რომ შემოიღეს მათემატიკური ლოგიკური მტკიცებანი და შექმნეს გეომეტრიული აბსტრაქციების შესწავლის მეთოდი.

განვიხილოთ, მაგალითად, როგორ შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი $2d$ უდრის.

უშუალო გაზომვით ეს შეუძლებელია, თუნდაც იმიტომ, რომ პრაქტიკულად არასოდეს არ გვხვდება იდეალური სამკუთხედები, იმიტომაც, რომ კუთხეების გაზომვა პრაქტიკულად ყოველთვის გარკვეული სიზუსტით ხდება, მაგალითად, $1'$ ან $1''$ სიზუსტით. მაგრამ რომც შეგვეძლოს იდეალური სამკუთხედების გაზომვა (იდეალური ინსტრუმენტის დახმარებით), მაშინაც კი შეუძლე-

ბელი იქნებოდა თეორემის დადგენა სამკუთხედის კუთხეთა ჯამის შესახებ, რადგანაც მრავალი სხვადასხვა სახის სამკუთხედი არსებობს და ყველა მათგანის გადასინჯვა უბრალოდ შეუძლებელია.

ყოველივე ზემოთქმული ზუსტად შეიძლება გავიმეოროთ ნებისმიერი სხვა თეორემისთვის: ის ეხება არა რომელიმე გარკვეულ გეომეტრიულ ნაკვთს (მაგალითად, სამკუთხედს, რომელსაც 3, 4, 5 გვერდები აქვს), არამედ სხეულთა მთელ კლასს (მაგალითად, ყველა სამკუთხედს, ყველა მართკუთხა სამკუთხედს, ყველა ტოლფერდა სამკუთხედს). ამასთან, ყოველი ასეთი კლასი უსასრულოდ ბევრ ცალკეულ ნაკვთს შეიცავს.

ძველ ბერძენ მათემატიკოსებს ესმოდათ, რომ ყველა ნაკვთისათვის რომელიმე თვისების სისწორის დადგენა ლოგიკური მტკიცებით არის შესაძლებელი. მაგრამ როგორ ავაგოთ გეომეტრიის ასეთი სისტემა, სადაც შესაძლებელი იქნებოდა ყველა სწორი დებულების დამტკიცება? ამასთან, შეიძლება ასეთი სისტემის აგება?

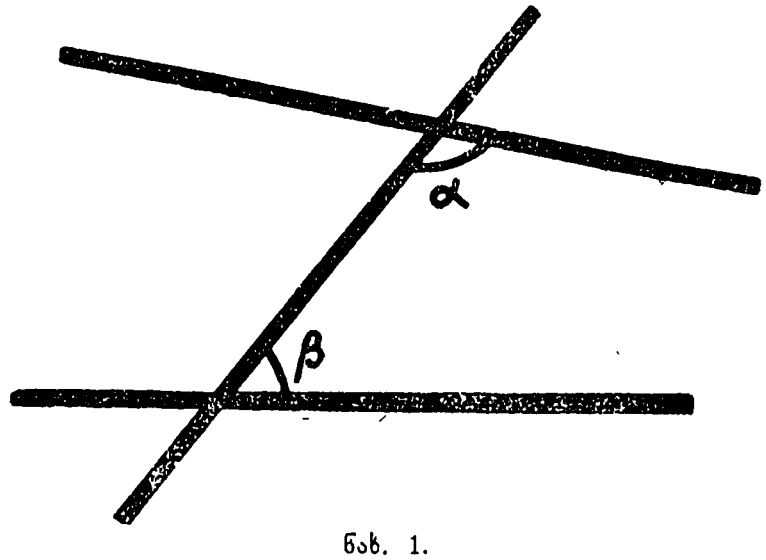
დედუქციური სისტემის აგება

ჯერ ერთი, ცხადია, რომ ყველა სწორი დებულების დამტკიცება არ შეიძლება. მართლაც, გავიხსენოთ, როგორ მტკიცდება გეომეტრიული დებულებანი. ყოველ დებულებას რაიმე სხვა დებულებაზე დაყრდნობით ვამტკიცებთ. თავის მხრივ ამ დებულებას ვამტკიცებთ სხვა, მესამე დებულებით და ა. შ. ასეთი რამ შეიძლება განვაგრძოთ დაუსრულებლად და მტკიცებათა პროცესი არასოდეს არ დამთავრდება. მაშ, როგორ მოვიქცეთ? ეს გარემოება ჯერ კიდევ ძველად შენიშნეს. მის შესახებ ლაპარაკობდა, მაგალითად, არისტოტელე (IV ს. ძვ. წ.). ბოლოს გეომეტრები მივიდნენ საოცრად გაბედულ დასკვნამდე: ჩვენი სივრცის სხეულთა ყველა გეომეტრიული თვისება შეიძლება რამდენიმე ძირითადი დებულებიდან — აქსიომებიდან გამოვიყვანოთ. ამ დებულებებს დამტკიცების გარეშე იღებდნენ. მათ სამართლიანობას მრავალსაუკუნოვანი გამოცდილება განამტკიცებდა. ბევრი გეომეტრი ცდილობდა, მოეძებნა გეომეტრიის ასაგებად აუცილებელი ყველა აქსიომა. სისტემას, სადაც ყოველი დებულება გამოიყვანება დამტკიცების გარეშე მიღებულ დებულებათა სასრული რაოდენობიდან ლოგიკური წესების საფუძველზე, დედუქციური ეწოდა.

გეომეტრიის პირველი ასეთი სისტემის — „საწყისების“ — აგებას ცდილობდა ჰიპოკრატე ქიოსელი V ს. ძვ. წ. ცნობილია კიდევ რამდენიმე ასეთი ცდა, მაგრამ მათ შორის ყველაზე სრულყოფილი აღმოჩნდა ევკლიდეს ცნობილი „საწყისები“, რომლებიც დაწერილია ძვ. წ. 300 წლამდე, და 2000 წელზე მეტი ხანი მათემატიკური სიზუსტის ნიმუშს წარმოადგენდა.

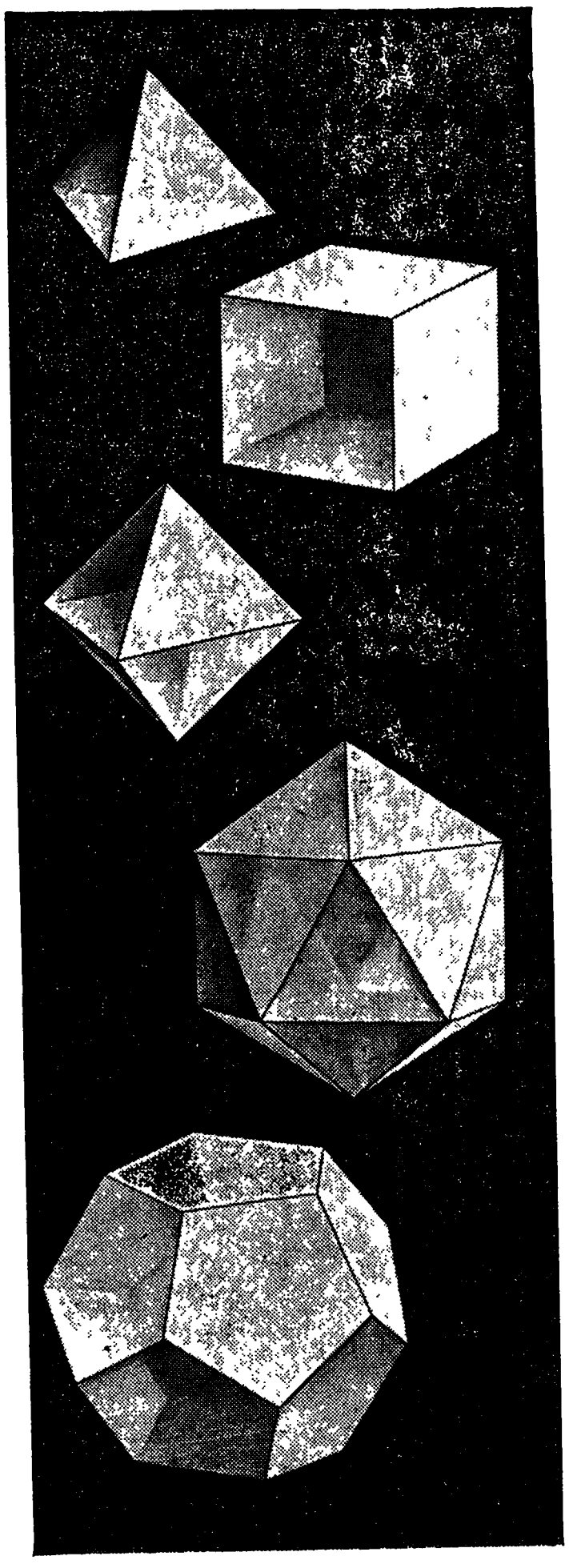
ევკლიდემ დამტკიცების გარეშე მიღებული დებულებები აქსიომებად და პოსტულატებად დაყო.

მან პოსტულატებად აირჩია ისეთი დებულებები, რომელთა შესრულება მარტივად, ფარგლისა და სახაზავის საშუალებითაა შესაძლებელი, მაგალითად: 1) ორ წერტილზე ყოველთვის შეიძლება წრფის გავლება (ეს შესრულდება სახაზავის საშუალებით); 2) მოცემული წერტილიდან მოცემული რადიუსით შეიძლება წრეწირის შემოხაზვა (ამის შესრულება ფარგლითაა შესაძლებელი).



ნახ. 1.

ევკლიდეს პოსტულატებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ეგრეთ წოდებულ V პოსტულატს პარალელურობის შესახებ. „საწყისებში“ ეს ასეა ჩამოყალიბებული: თუ ერთ სიბრტყეში მდებარე ორ წრფეს მესამე კვეთს და შიგა ჯვარედინად მდებარე კუთხეთა ჯამია $2d$, მაშინ გაგრძელებისას წრფეები იმ მხარეს გადაიკვეთებიან, სადაც კუთხეთა ჯამი $2d$-ზე ნაკლები იქნება (ნახ. 1). ამ პოსტულატმა უდიდესი როლი შეასრულა გეომეტრიის შემდგომი განვითარების საქმეში, რაზედაც მოგვიანებით გვექნება საუბარი.



ნახ. 2. წესიერი მრავალწახნაგები.

პოსტულატების გარდა ევკლიდემ მიიღო აგრეთვე ზოგიერთი საერთო დებულება — აქსიომა: 1) თუ ორი სიდიდე ცალ-ცალკე მესამის ტოლია, ისინი ურთიერთტოლები იქნება; 2) თუ ტოლ სიდიდეებს მივუმატებთ ტოლსავე სიდიდეებს, მივიღებთ ტოლ ჯამებს; 3) მთელი ნაწილზე მეტია და სხვ.

თავისი პოსტულატებისა და აქსიომების საფუძველზე ევკლიდემ განავითარა მთელი პლანიმეტრია, რომლის საშუალებითაც ააგო ალგებრის ელემენტები და შეისწავლა კვადრატულ განტოლებათა თეორია. მის თხზულებაში („საწყისებში“) გადმოცემულია ფარდობათა ზოგადი თეორია, რომელიც გამოყენებულია მსგავსების თეორიაში, რიცხვთა თეორიაში, აგრეთვე ფართობთა და ბოცულობათა განსასაზღვრავად. მანვე შექმნა სტერეომეტრიის საფუძვლები. „საწყისებში“ დამუშავებულია წესიერ მრავალწახნაგთა თეორია, ე. ი. ისეთი მრავალწახნაგებისა, რომლებსაც წახნაგებად წესიერი მრავალკუთხედები აქვთ. ევკლიდემ დაამტკიცა, რომ არსებობს მხოლოდ ხუთი სახის წესიერი მრავალწახნაგი (ტეტრაედრი, კუბი, ოქტაედრი, დოდეკაედრი და იკოსაედრი) და სხვა სახის წესიერი მრავალწახნაგის არსებობა შეუძლებელია (ნახ. 2).

შეიძლება ითქვას, რომ ევკლიდემ თავის „საწყისებში“ საფუძველი ჩაუყარა არა მხოლოდ გეომეტრიას, არამედ მთლიანად მთელ ანტიკურ მათემატიკასაც.

გეომეტრიის საფუძვლების შესწავლა უფრო მაღალ დონეზე XIX საუკუნეში იქნა აყვანილი. ცხადი გახდა, რომ ევკლიდეს არ ჰქონდა ჩამოყალიბებული ყველა ის აქსიომა, რომლებიც მართლაც მეტად საჭიროა გეომეტრიის ასაგებად. დამტკიცების დროს ევკლიდე იყენებდა ისეთ დებულებებსაც, რომლებიც მას აქსიომათა და პოსტულატთა სისტემაში არ ჰქონდა შეტანილი. მაგრამ ეს სრულებით არ ამცირებს ევკლიდეს როლს, რომელმაც პირველად გვიჩვენა, როგორაა შესაძლებელი და როგორაა საჭირო მათემატიკური თეორიის აგება. ევკლიდეს დედუქციურმა მეთოდმა მტკიცედ მოიკიდა ფეხი მათემატიკაში. ამდენად ყველა მომდევნო მათემატიკოსი და თანამედროვენიც კი ევკლიდეს „მოწაფეები“ არიან.

გეომეტრიის დედუქციური სისტემის აგებისას გამოირკვა, რომ მტკიცება ემსახურება არა მარტო

რაიმე დებულების ჭეშმარიტების დადგენას, არამედ დებულებებს შორის ურთიერთკავშირის გამოვლენას.

დებულების — სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი უდრის $2d$ — დამტკიცების ანალიზიდან აღმოჩნდა, რომ იგი დამოკიდებულია ევკლიდეს V პოსტულატზე, მაშინ როდესაც თეორემა — სამკუთხედის გარე კუთხე ყოველ შიგა არამოსაზღვრე კუთხეზე მეტია — სრულებით არ არის დამოკიდებული პარალელურობის პოსტულატზე.

ამრიგად, დამტკიცებანი გვეხმარება გავარკვიოთ მათემატიკურ დებულებათა არსი. კერძოდ, ევკლიდეს გეომეტრიაში შეიძლება გამოიყოს ისეთი დებულებანი, რომელთა დამტკიცება შეიძლება პარალელურობის პოსტულატის გარეშე; ეს დებულებანი ე. წ. აბსოლუტურ გეომეტრიას შეადგენს.

პარალელურობის პოსტულატი და არაევკლიდური გეომეტრიები

მათემატიკოსებს არასოდეს არ აკმაყოფილებდა პარალელურობის პოსტულატი, რომელიც, როგორც დავრწმუნდით, საკმაოდ რთულად იყო ჩამოყალიბებული. ეგონათ, რომ შეიძლებოდა ამ პოსტულატის დამტკიცება, სხვა პოსტულატებიდან და აქსიომებიდან მისი გამოყვანა. შორეული წარსულიდან დაწყებული XVIII ს. დასასრულამდე გეომეტრები ცდილობდნენ ეს პოსტულატი ისე დაემტკიცებინათ, როგორც თეორემა.

მაგრამ V პოსტულატის ყველა მტკიცება ან აშკარა შეცდომას შეიცავდა, ან კიდევ ემყარებოდა ახალ დებულებას, რომელიც, საერთოდ, არ არსებობდა ევკლიდეს აქსიომებსა და პოსტულატებს შორის. უფრო დაწვრილებითი ანალიზის დროს ცხადი ხდებოდა, რომ ახალი დებულება ტოლფასი იყო პარალელურობის პოსტულატისა, ე. ი. ამ ახალი დებულებიდან შეიძლებოდა ხსენებული პოსტულატის მიღება და, პირიქით, V პოსტულატიდან შეიძლებოდა ახალი დებულების მიღება. XIX საუკუნის დასაწყისისათვის V პოსტულატის საკითხი მეტად ბუნდოვანი ჩანდა, მაგრამ გასული საუკუნის 20-იან წლებში იგი მოულოდნელად ამოხსნეს. მიზეზი იყო გეომეტრიაზე სრულიად ახალი შეხედულების ჩამოყალიბება. ამ შეხედულებამდე დამოუკიდებლად მივიდა სამი გამოჩენილი გეომეტრი: ნ. ლობაჩევსკი, კ. გაუსი და ი. ბოიაი. გაუსს თავისი გაბედული მოსაზრებანი, საერთოდ, არ გამოუქვეყნებია. აღნიშნული საკითხის ამოხსნა პირველად გამოჩნდა ნ. ლობაჩევსკის შრომაში 1829 — 1830 წწ. (ეს შრომა ლობაჩევსკიმ ჯერ კიდევ 1826 წ. წარადგინა ყაზანის უნივერსიტეტში). ცოტა მოგვიანებით 1832 წ. გამოქვეყნდა ბოიაის გამოკვლევაც.

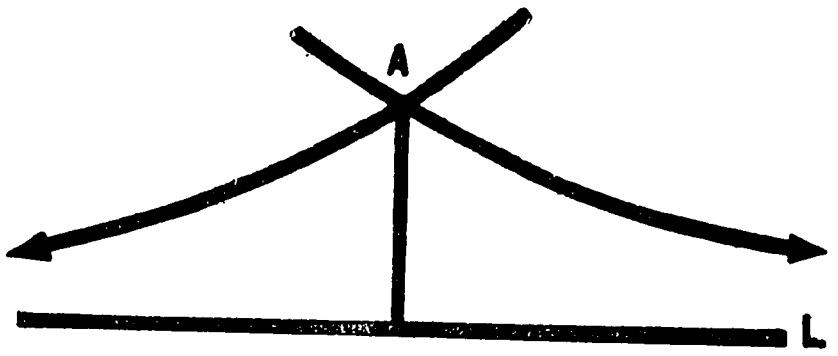
ახალი იდეა, რომელიც ხსენებული საკითხის ამოხსნას დაედო საფუძვლად, ასეთი იყო: ევკლიდეს გეომეტრია არ არის ერთადერთი გეომეტრია, შესაძლოა ავაგოთ გეომეტრიის სხვა, ისევე ჩამოყალიბებული სისტემები, როგორიც ევკლიდეს გეომეტრიაა. ამასთან ლობაჩევსკი და გაუსი ღრმად იყვნენ დარწმუნებულნი, რომ ახალ გეომეტრიას გამოიყენებდნენ ჩვენი სივრცის გეომეტრიული თვისებების აღწერისა და შესწავლისათვის.

ასეთი შეხედულება ძირეულად ეწინააღმდეგებოდა ორი ათასი წლის ტრადიციას, რომლის თანახმად ევკლიდეს გეომეტრია ისევე ბუნებრივი იყო, როგორც დღისა და ღამის ცვლა, და რომ მხოლოდ ის აღწერდა რეალური სხეულების სივრცობრივ თანაფარდობას.

როგორ უნდა აიგოს გეომეტრიული სისტემები? XVIII ს. გეომეტრებმა შეიმუშავეს V პოსტულატის მტკიცების ახალი ხერხი. ისინი ცდილობდნენ მისულიყვნენ წინააღმდეგობამდე, როგორც ეს ხდება წინააღმდეგობის დაშვების მეთოდით დამტკიცებისას. მართლაც, თუ V პოსტულატი შეიძლება გამოვიყვანოთ ევკლიდეს სხვა პოსტულატებიდან და აქსიომებიდან, ე. ი. თუ ის თეორემას წარმოადგენს, მაშინ მტკიცებას, რომ ის არ არის სწორი, წინააღმდეგობამდე მივყავართ. მაგრამ გეომეტრებმა ვერ შეძლეს მისულიყვნენ წინააღმდეგობამდე, ისინი სულ ახალ-ახალ შედეგებს იღებდნენ. ზოგი მათგანი პარადოქსულად ჟღერდა, მაგალითად: სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი $2d$-ზე ნაკლებია; რომელიმე წრფიდან (ექვიდისტანტიდან) თანაბრად დაშორებული წირი არ არის წრფე; არ არსებობს მსგავსი სამკუთხედები და, საერთოდ, მსგავსი ნაკვთები. მაგრამ არც ერთი შედეგი არ ეწინააღმდეგებოდა სხვა შედეგს და ევკლიდეს გეომეტრიის სხვა აქსიომებს.

ლობაჩევსკი, გაუსი და ბოიაი მიხვდნენ, რომ წინააღმდეგობამდე ვერ მივიდოდნენ, რადგან ევ-

კლიდეს გეომეტრიაში არ იყო თეორემა V პოსტულატის შესახებ. მაშასადამე, რას წარმოადგენდა ამ შემთხვევაში მიღებული შედეგები? აღმოჩნდა, რომ ეს იყო ახალი გეომეტრიის თეორემები.



ნახ. 3.

ამრიგად, ახალი გეომეტრიის ასაგებად საჭირო იყო V პოსტულატის შეცვლა სხვა პოსტულატით და პოსტულატების და აქსიომების ახალი სისტემიდან შესაძლო შედეგების მიღება. სწორედ ეს იქნებოდა ახალი გეომეტრიის თეორემები.

ევკლიდეს V პოსტულატს ხშირად ასე აყალიბებდნენ: წრფის გარეთ მდებარე წერტილზე შეიძლება ამ წრფის ერთი პარალელური წრფის გავლება.

თუ ხსენებული პოსტულატი არ არსებობს, ეს იმას ნიშნავს, რომ: 1) ან შეიძლება გავავლოთ ორი წრფე, რომლებიც არ გადაკვეთენ მოცემულ წრფეს (ნახ. 3), 2) ან ასეთი წრფეები, საერთოდ, არ არსებობს (ე. ი. საერთოდ არ არის პარალელური წრფეები).

მეორე დებულება ადვილად შეიძლება მივიყვანოთ ევკლიდეს სხვა აქსიომებისა და პოსტულატების წინააღმდეგობამდე. პირველი დებულება კი ლობაჩევსკიმ გამოიყენა ახალ პოსტულატად პარალელურობის შესახებ. მან ააგო გეომეტრიის ჩამოყალიბებული სისტემა, რომელიც ამჟამად მის სახელს ატარებს. ამასთან ნ. ლობაჩევსკიმ გვიჩვენა, რომ ევკლიდეს გეომეტრია შეიძლება მივიღოთ, როგორც ახალი გეომეტრიის ზღვრული შემთხვევა.

ნ. ლობაჩევსკის გამოკვლევებმა ახალი ერა შექმნეს გეომეტრიის ისტორიაში. თუ აქამდე ისე ჩანდა, რომ ევკლიდემ გეომეტრიაში ძირითადად ყველაფერი ამოწურა, ახალი გეომეტრიის შექმნის შემდეგ დიდი შესაძლებლობანი გადაიშალა სხვა გეომეტრიული კვლევისათვის. გასული საუკუნის 60-იან წლებში გამოჩენილმა გერმანელმა მათემატიკოსმა ბერნჰარდ რიმანმა წამოაყენა ყველა არაევკლიდური გეომეტრიის აგების ახალი მეთოდი, სადაც შეიძლებოდა სიგრძის, ფართობის, კუთხეებისა და მოცულობების (ე. წ. მეტრული გეომეტრიების) გაზომვა. ამასთან ის არ დაკმაყოფილდა სამგანზომილებიანი სივრცის შემთხვევით, ხოლო სივრცის გეომეტრიებს აგებდა განზომილებათა ნებისმიერი რიცხვისათვის. უნდა აღინიშნოს, რომ სწორედ მან ააგო გეომეტრია, სადაც არ იყო პარალელური წრფეები. ცხადია, ასეთი გეომეტრიის აგებისას მას უნდა უარეყო ევკლიდური გეომეტრიის ზოგიერთი სხვა აქსიომა. ეს გეომეტრია სფერულ გეომეტრიას ჰგავს და ელიფსურს, ანუ რიმანის გეომეტრიას უწოდებენ. ამ გეომეტრიაში ლობაჩევსკის გეომეტრიის მსგავსად არ არის მსგავსი ნაკვთები, მაგრამ სამკუთხედების კუთხეთა ჯამი ყოველთვის $2d$-ზე მეტია, წრფეების სიგრძე კი შემოსაზღვრული.

წამოყენებული იყო აგრეთვე ახალი გეომეტრიების აგების სხვა მეთოდებიც.

მაგრამ ახალ გეომეტრიებთან დაკავშირებით წამოიჭრა ახალი საკითხებიც. ლობაჩევსკის გეომეტრია ევკლიდურისაგან განსხვავდება პარალელურობის პოსტულატით. რა მოხდება, თუ სხვა პოსტულატებსაც შევცვლით? ამის შედეგად ყოველთვის მიიღება გეომეტრიის ახალი სისტემები? რა შემთხვევაში არ იქნება ახალი სისტემები წინააღმდეგობრივი, ე. ი. შეიძლება თუ არა რაიმე თეორემის დამტკიცება და ამასთან იმის დამტკიცებაც, რომ ეს თეორემა არასწორია?

ზემოთ დასმულ კითხვებზე პასუხის გასაცემად მეცნიერებმა კვლავ ევკლიდეს გეომეტრიას მიმართეს იმ მიზნით, რომ მოეძებნათ ყველა აქსიომა ამ გეომეტრიის ასაგებად, შემდეგ კი შეესწავლათ ამ აქსიომებს შორის ურთიერთკავშირი, გაერკვიათ, რა შედეგს მიიღებდნენ, თუ ერთ ან რამდენიმე აქსიომას ამოიღებდნენ და სხვა აქსიომებით შეცვლიდნენ. ამ პრობლემით მრავალი მათემატიკოსი იყო დაინტერესებული, მაგრამ მისი გადაწყვეტა მხოლოდ ერთმა მათგანმა, გამოჩენილმა გერმანელმა მათემატიკოსმა დავიდ ჰილბერტმა შეძლო 1899 წ. მის წიგნში „გეომეტრიის საფუძვლები“ შესწავლილი იყო ევკლიდეს გეომეტრიის აქსიომათა პირველი სრული სისტემა და ის საკითხები, რომლებზედაც ზემოთ გვქონდა

საუბარი. ამან მიგვიყვანა თანამედროვე აქსიომატური მეთოდის შექმნამდე, რომელსაც უდიდესი მნიშვნელობა აქვს.

არაევკლიდურმა გეომეტრიებმა ახალი ერა შექმნეს არა მარტო მათემატიკაში, არამედ ფიზიკაშიც. როგორც ამ გეომეტრიების შემქმნელებმა წინასწარმეტყველეს, ისინი თანამედროვე ფიზიკისა და განსაკუთრებით ფარდობითობის თეორიის განუყოფელ ნაწილად იქცნენ.

უფრო დაწვრილებით ახალი გეომეტრიების შესახებ შეიძლება გავიგოთ სტატიიდან „სხვადასხვა გეომეტრიების შესახებ“.

ამრიგად, როგორც დავინახეთ, გეომეტრიის მეცნიერებად ჩამოყალიბება ევკლიდური გეომეტრიის სისტემის აგებით არ დამთავრებულა. ეს იყო მხოლოდ დიდი საქმის დასაწყისი, რაც ბრწყინვალედ განაგრძეს XIX საუკუნეში.

ამჟამად გეომეტრია დიდი მეცნიერებაა, რომელიც მჭიდროდ არის დაკავშირებული მათემატიკის სხვა დარგებთან.

გეომეტრიული გარდაქმნები

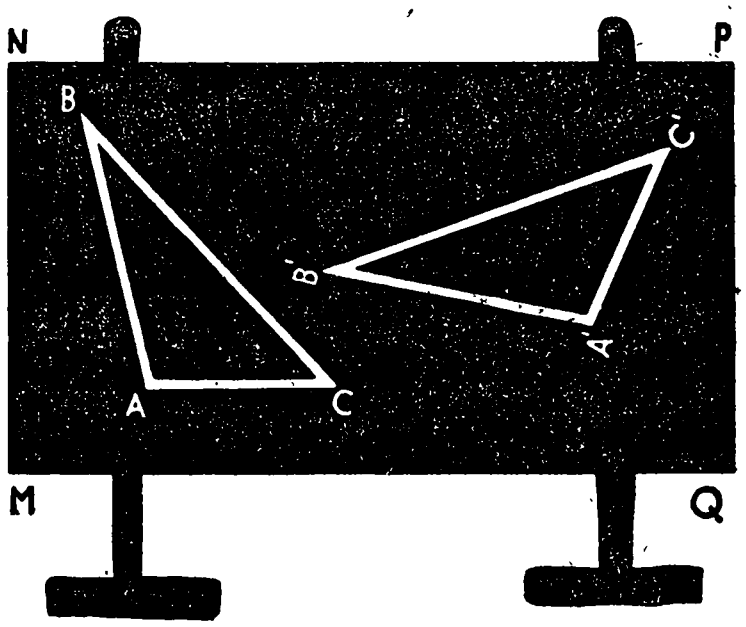
რა არის გეომეტრია?

ვიდრე გეომეტრიულ გარდაქმნებზე დავიწყებდეთ საუბარს, გავარკვიოთ თვით გეომეტრიის არსი. შემდგომ დავრწმუნდებით, რომ ეს საკითხი მჭიდროდ არის დაკავშირებული გეომეტრიულ გარდაქმნებთან.

გეომეტრია შეისწავლის ბრტყელი ნაკვთებისა და სივრცით სხეულთა თვისებებს, მაგრამ იგი ნაკვთებისა და სხეულების ყველა თვისებას როდი განიხილავს. ცხადია, მაგალითად, რომ სხეულების ფერსა და წონას გეომეტრისათვის არა აქვს მნიშვნელობა — კუბის გეომეტრიული თვისებები ერთნაირი იქნება, რა მასალიდანაც არ უნდა იყოს იგი გაკეთებული, ლითონისაგან თუ წითლად შეღებილი ფანერისაგან (შევნიშნავთ, რომ ამ ორი მასალისაგან დამზადებული კუბების ფიზიკური თვისებები სხვადასხვა იქნება).

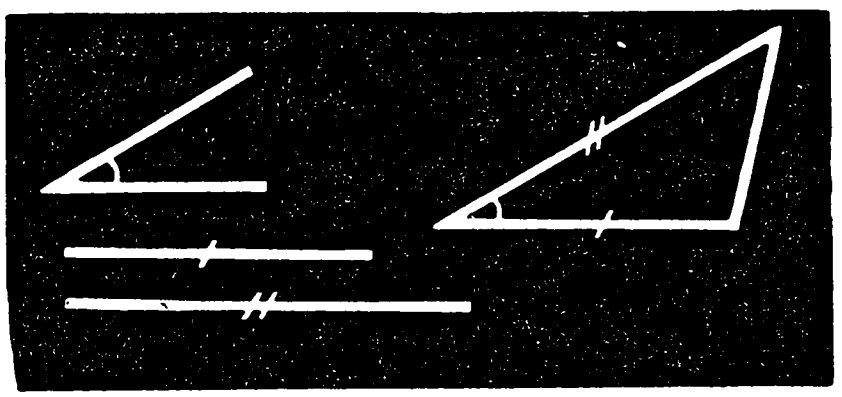
გეომეტრს ასევე არ აინტერესებს მანძილი დაფაზე გამოსახული სამკუთხედის წვეროდან დაფის კიდემდე. ორი ტოლი სამკუთხედიდან ერთი მათგანი (ნახ. 1) საგრძნობლად ახლოსაა დაფის MQ კიდესთან, ვიდრე მეორე, მაგრამ ამ სამკუთხედების გეომეტრიული თვისებები — მათი შესაბამისი გვერდები, კუთხეები, სიმაღლეები, მედიანები, ფართობები, ჩახაზული და შემოხაზული წრეწირების რადიუსები, მანძილი შემოხაზული წრეწირის ცენტრიდან მედიანების გადაკვეთის წერტილამდე და ა. შ. — ერთნაირი იქნება. როგორ დავახასიათოთ ნაკვთებისა და სხეულების თვისებები, რომლებიც გეომეტრს აინტერესებს?

გეომეტრიაში განხილული სხეულის თვისებები მთლიანად სხეულის ფორმითა და ზომებით

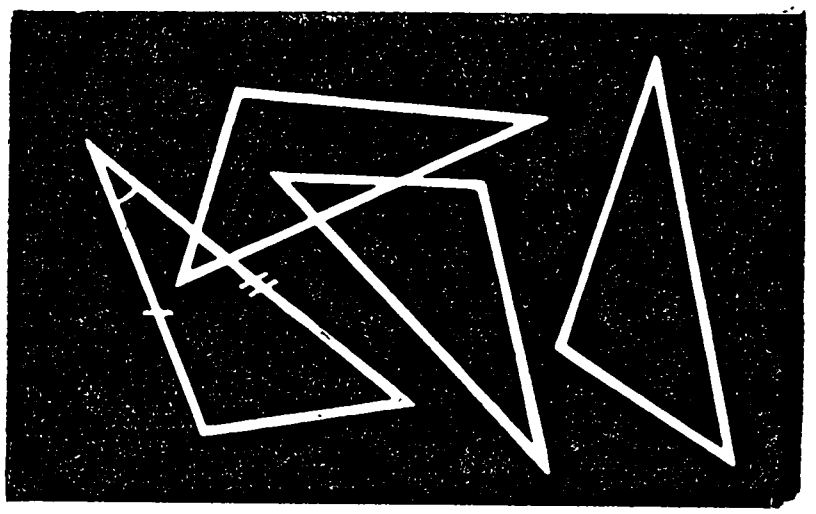


ნახ. 1.

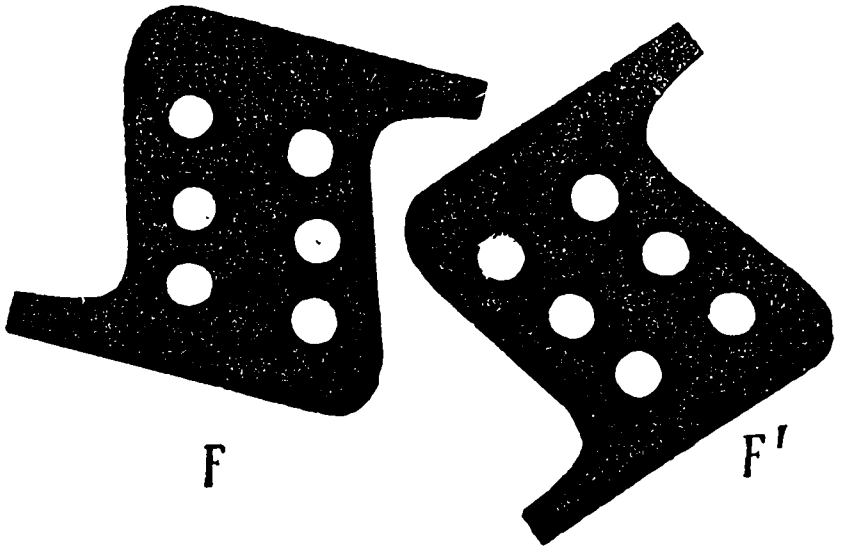
განისაზღვრება და არა მისი მდებარეობით. სხვა სიტყვებით, ეს იმას ნიშნავს, რომ ყოველ ორ ტოლ სხეულს ან ნაკვთს ერთნაირი გეომეტრიული თვისებები ახასიათებს; ამიტომ გეომეტრს არა აქვს არავითარი საფუძველი, რაიმე ნიშნით განასხვაოს ეს სხეულები. ამაზე მიუთითებს თუნდაც სახელწოდება „ტოლი სხეულები“. არითმეტიკაში „ტოლი რიცხვები“ ხომ სხვა არაფერია, თუ არა „ერთი და იგივე რიცხვი“; მაგალითად, $\frac{1}{2}$



ნახ. 2.



ნახ. 3.



ნახ. 4. ტოლი ნაკვთები.

და $\frac{3}{6}$ ერთი და იგივე რიცხვია, მხოლოდ ჩაწერილია სხვადასხვანაირად.

ასევეა გეომეტრიაშიც: სიტყვების — „ტოლი ნაკვთების“ ნაცვლად ხანდახან ხმარობენ გამოთქმას — „ერთი და იგივე ნაკვთი“. მაგალითად, ამბობენ, რომ ABC სამკუთხედის ორი $BC = a$ და $AC = b$ გვერდით და $ACB = \gamma$ კუთხით აგების ამოცანას ერთადერთი ამონახსნი აქვს (ნახ. 2).

სინამდვილეში კი არსებობს უამრავი სამკუთხედი, რომელთაც აქვთ a და b გვერდები და მათ შორის მოქცეული γ კუთხე (ნახ. 3). მაგრამ ყველა სამკუთხედი ერთმანეთის ტ ო ლ ი ა; ამიტომ მათ ე რ თ სამკუთხედად მივიჩნევთ.

ახლა გავიხსენოთ, როგორი ნაკვთები და სხეულები ითვლება გეომეტრიაში ტოლებად. ორი ნაკვთი F და F' (ნახ. 4) ტ ო ლ ი ა, თუ ერთი მათგანის მეორეზე დადებით თანხვდება მათი ყველა წერტილი, სხვანაირად რომ ვთქვათ, თუ შეიძლება ისეთი მოძრაობის შესრულება, რომლის საშუალებით F ნაკვთი შეუთავსდება F' ნაკვთს. მაშასადამე, თვით განსაზღვრა ნაკვთების (ან სხეულების) ტოლობისა დაკავშირებულია მოძრაობის ცნებასთან. თუ გავითვალისწინებთ ნაკვთების ტოლობის განსაზღვრას, შეიძლება ითქვას, რომ ერთმანეთისაგან მოძრაობით მიღებული ნაკვთები გეომეტრიაში ერთნაირ ნაკვთებად ითვლება და არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ამ ნაკვთებიდან ერთ-ერთის გეომეტრიული თვისებები თანხვდება მეორის გეომეტრიულ თვისებებს. უკანასკნელი გარემოება შეიძლება მივიღოთ გეომეტრიულ თვისებათა განსაზღვრად, ე. ი. ნაკვთებისა და სხეულების იმ თვისებათა განსაზღვრად, რომელთაც სწავლობს გეომეტრია: გეომეტრია შეისწავლის ნაკვთებისა და სხეულების მხოლოდ იმ თვისებებს, რომლებსაც ისინი მოძრაობის დროს ინარჩუნებენ.

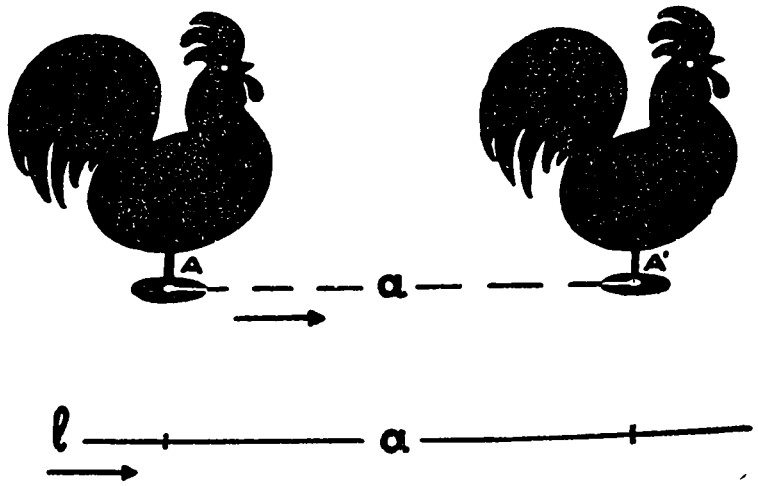
ᲛᲝᲫᲠᲐᲝᲑᲐ

მოვიყვანოთ ბრტყელი ნაკვთების მოძრაობის რამდენიმე მაგალითი.

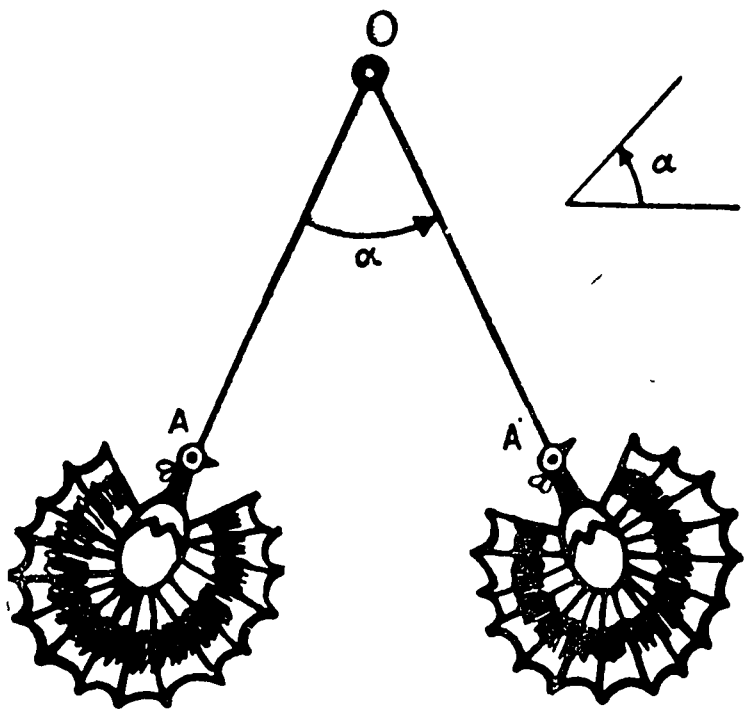
პ ა რ ა ლ ე ლ უ რ ი გ ა დ ა ტ ა ნ ა ეწოდება ისეთ მოძრაობას, რომლის დროსაც ნაკვთს გადაადგილებენ გარკვეული მიმართულებით შეუბრუნებლად. პარალელური გადატანა ხასიათდება მიმართულებით, რომელსაც გვაძლევს რაიმე l ღერძი და ის a მანძილი, სადაც ნაკვთი გადაიტანება. პარალელური გადატანისას ყოველი A წერტილი გადადის ისეთ A' წერტილში, რომ $AA' \parallel l$ (ამასთან მიმართულება A წერტილიდან A' წერტილისკენ ემთხვევა l ღერძის მიმართულებას) და $AA' = a$ (ნახ. 5).

O წერტილის ირგვლივ α კუთხით მობრუნება იმით ხასიათდება, რომ ყოველი A წერტილი ისეთ A' წერტილში გადადის, $OA = OA'$ და $\angle AOA' = \alpha$ (ნახ. 6); ამასთან უნდა იყოს მითითებული მობრუნების მიმართულებაც, რომელიც შეიძლება დაემთხვეს საათის ისრის მიმართულებას, ან მისი საწინააღმდეგოც იყოს. O წერტილის ირგვლივ 180°-იანი კუთხით მობრუნებას ეწოდება აგრეთვე სიმეტრია O წერტილის მიმართ. აქ ყოველი A წერტილი გადადის ისეთ A' წერტილში, რომ O იქნება AA' მონაკვეთის შუა ნაწილი (ნახ. 7).

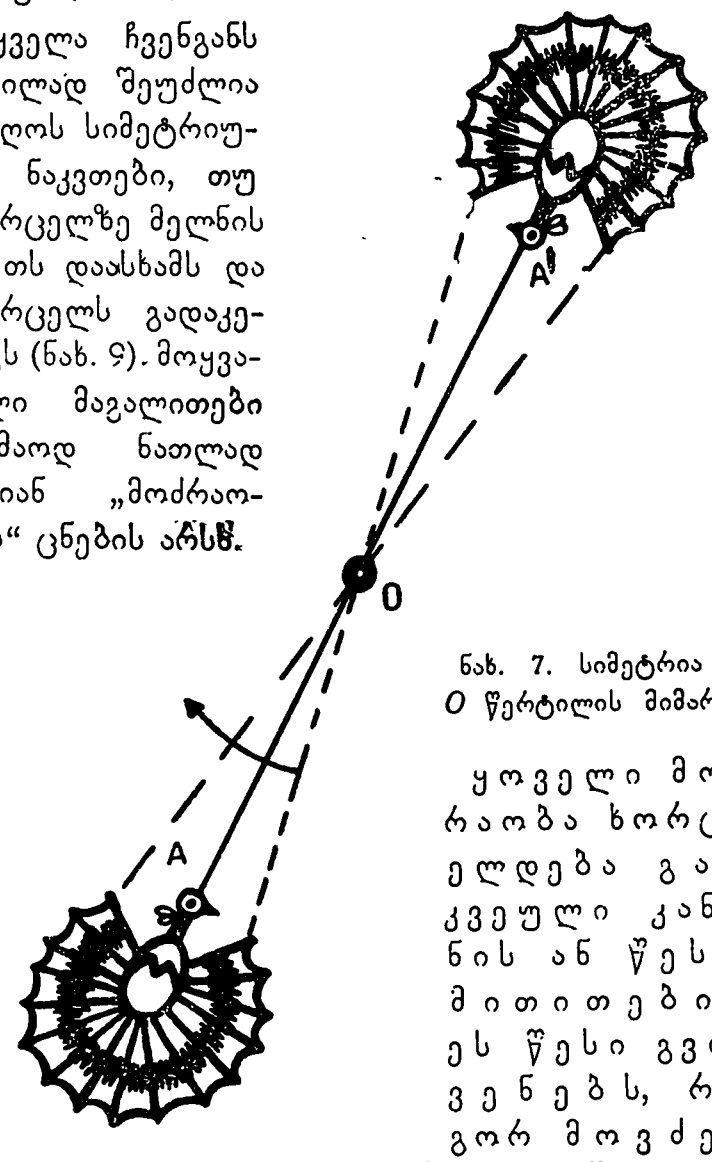
მოძრაობის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი მაგალითია სიმეტრია l წრფის მიმართ; ეს მოძრაობა შეიძლება განვახორციელოთ, თუ გადავკეცავთ ქაღალდის ფურცელს l წრფის გასწვრივ. სიმეტრიას l წრფის მიმართ ყოველი A წერტილი ისეთ A' წერტილში გადაჰყავს, რომ AA' მონაკვეთი l წრფის მართობია და ამ წრფით შუაზე იყოფა (ნახ. 8).



ნახ. 5. პარალელური გადატანა.



ნახ. 6. O წერტილის ირგვლივ α კუთხით მობრუნება.



ნახ. 7. სიმეტრია O წერტილის მიმართ.

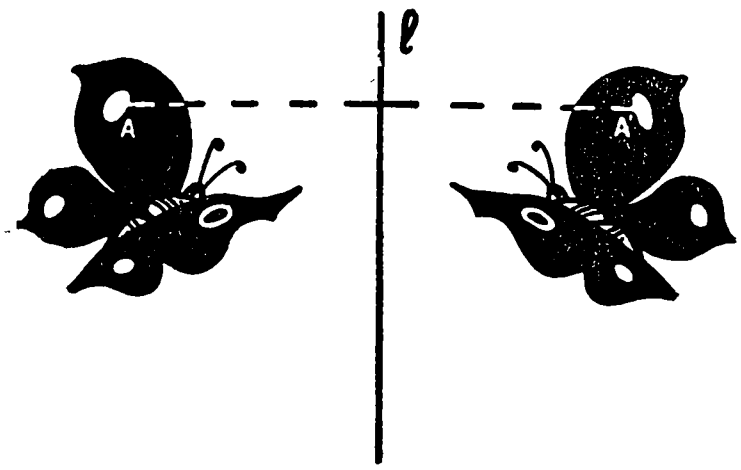
ყველა ჩვენგანს ადვილად შეუძლია მიიღოს სიმეტრიული ნაკვთები, თუ ფურცელზე მელნის წვეთს დაასხამს და ფურცელს გადაკეცავს (ნახ. 9). მოყვანილი მაგალითები საკმაოდ ნათლად ხსნიან „მოძრაობის“ ცნების არსს.

ყოველი მოძრაობა ხორციელდება გარკვეული კანონის ან წესის მითითებით; ეს წესი გვიჩვენებს, როგორ მოვძებნოთ A' წერტილი, რომელშიც ამ მოძრაობას ნებისმიერი A წერტილი გადაჰყავს.

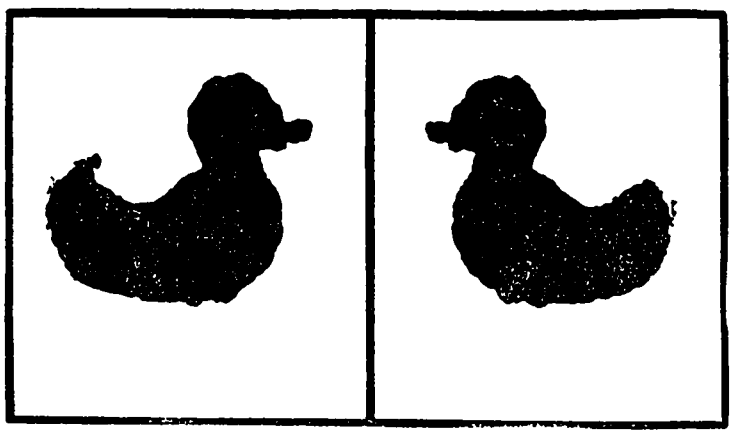
მე-10 ნახაზზე ჩამოთვლილია წესები, რომლებიც ზემოთ აღნიშნულ მოძრაობებს ეხება.

საზოგადოდ, იმ წესის მოცემა, რომელიც საშუალებას იძლევა გადავიდეთ ნებისმიერი A წერტილიდან ახალ A' წერტილში (ეს წერტილი შეიძლება დაემთხვეს გამოსავალ A წერტილს), განსაზღვრავს გეომეტრიულ გარდაქმნას.

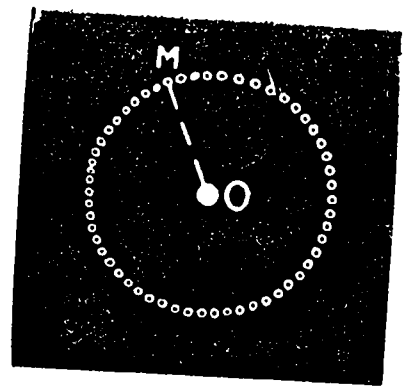
გეომეტრიაში ნაკვთი ეწოდება წერტილთა ერთობლიობას ანუ სიმრავლეს; მაგალითად, წრეწირი, რომელსაც O ცენტრი და r რადიუსი აქვს, არის ისეთ M წერტილთა ერთობლიობა, რომ $OM = r$ (ნახ. 11); მონაკვეთი A და B ბოლოებით ისეთ M წერტილთა ერთობლიობაა,



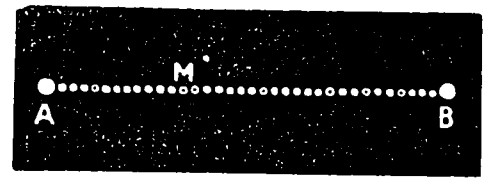
ნახ. 8. სიმეტრია წრფის მიმართ.



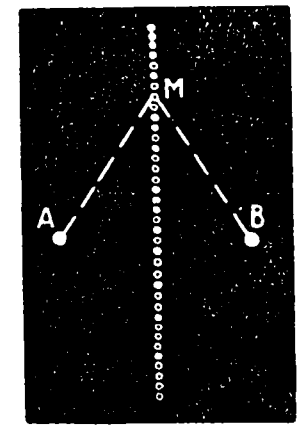
ნახ. 9. სიმეტრიული ნაკვთები.



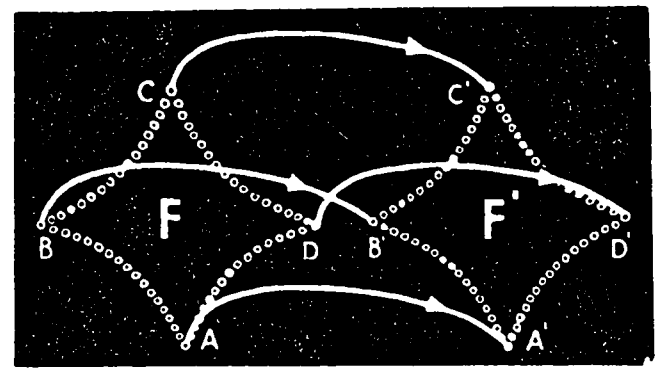
ნახ. 11.



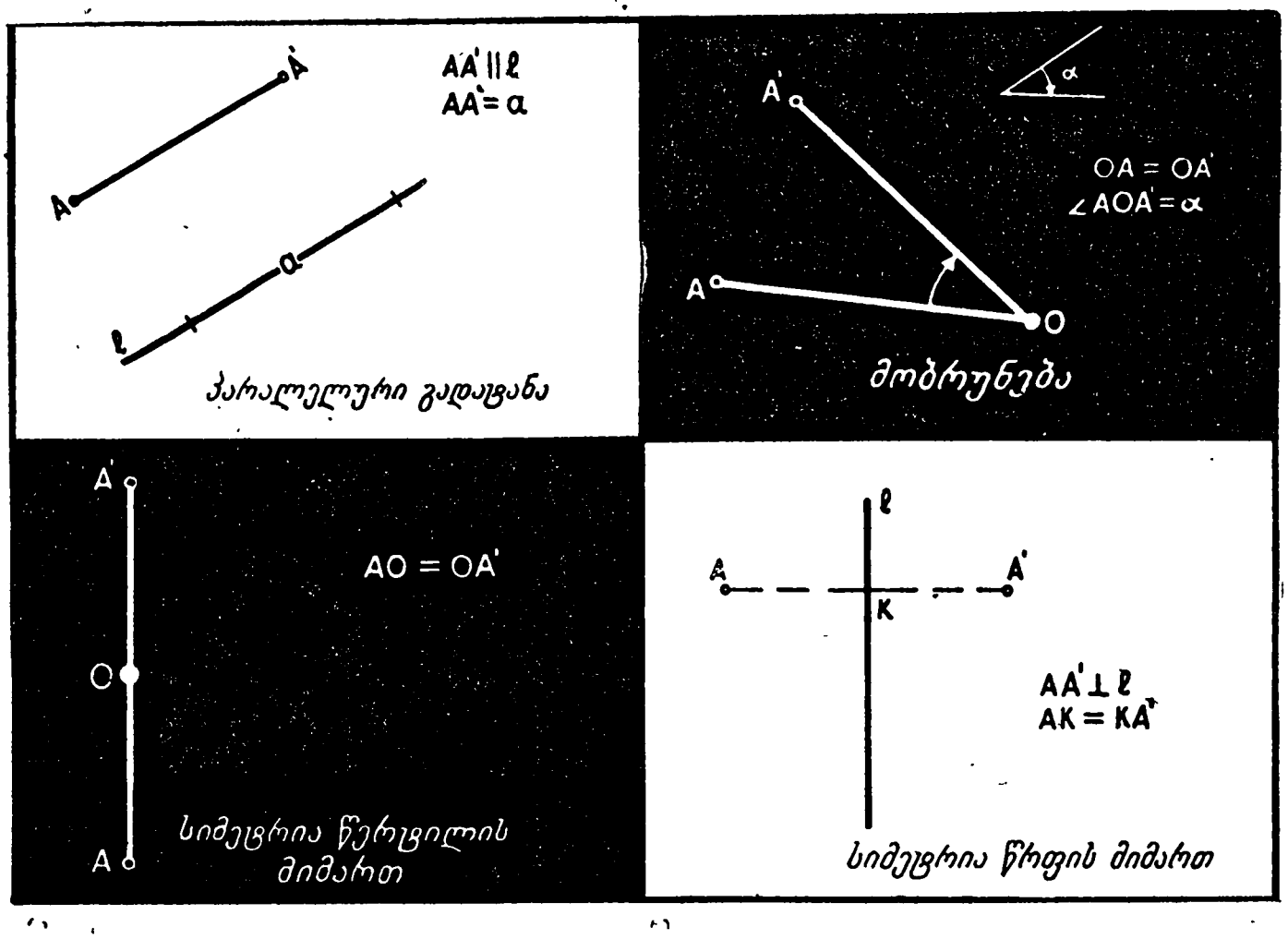
ნახ. 12.



ნახ. 13.



ნახ. 14. F' ნაკვთი მიღებულია F ნაკვთისგან გეომეტრიული გარდაქმნის დახმარებით.

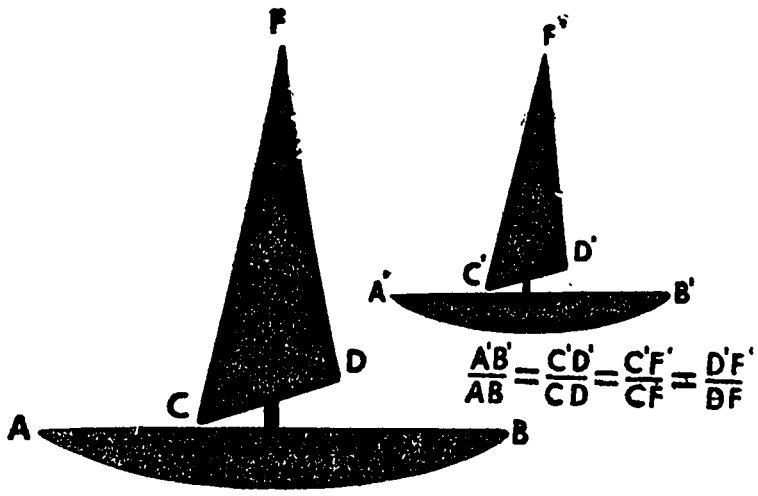


ნახ. 10. წესები, რომელთა მიხედვით A წერტილი გადადის A' წერტილში.

რომ $AM + MB = AB$ (ნახ. 12). წრფე შეიძლება დავახასიათოთ, როგორც ისეთ M წერტილთა ერთობლიობა, რომ $AM = BM$, სადაც A და B წერტილები მოცემულია (ნახ. 13).

გეომეტრიულ გარდაქმნას F ნაკვთის ყოველი A წერტილი ახალ A' წერტილში გადაჰყავს. ამასთან, F ნაკვთის წერტილთა ერთობლიობა გადადის წერტილთა ახალ ერთობლიობაში, რომელიც ახალ F' ნაკვთს ქმნის. F' ნაკვთზე ამბობენ, რომ ის მიიღება F ნაკვთიდან გ ა ნ ხ ი ლ უ ლ ი გ ა რ დ ა ქ მ ნ ი თ (ნახ. 14).

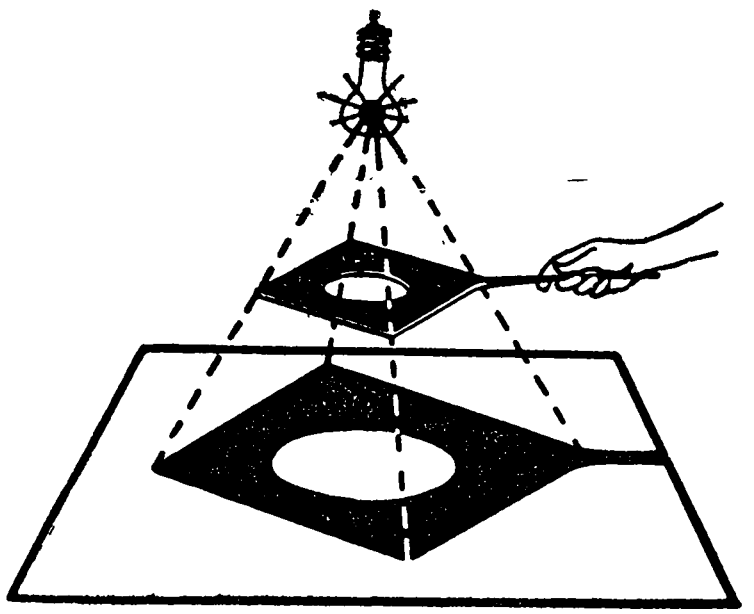
მოძრაობები ისეთი უმარტივესი გეომეტრიული გარდაქმნებია, რომლებსაც ყოველი F ნაკვთი გადაჰყავთ მის ტოლ F' ნაკვთში, ე. ი. ნაკვთს უნარჩუნებენ ფორმასა და ზომებს.



ნახ. 15. მსგავსი ნაკვთები.

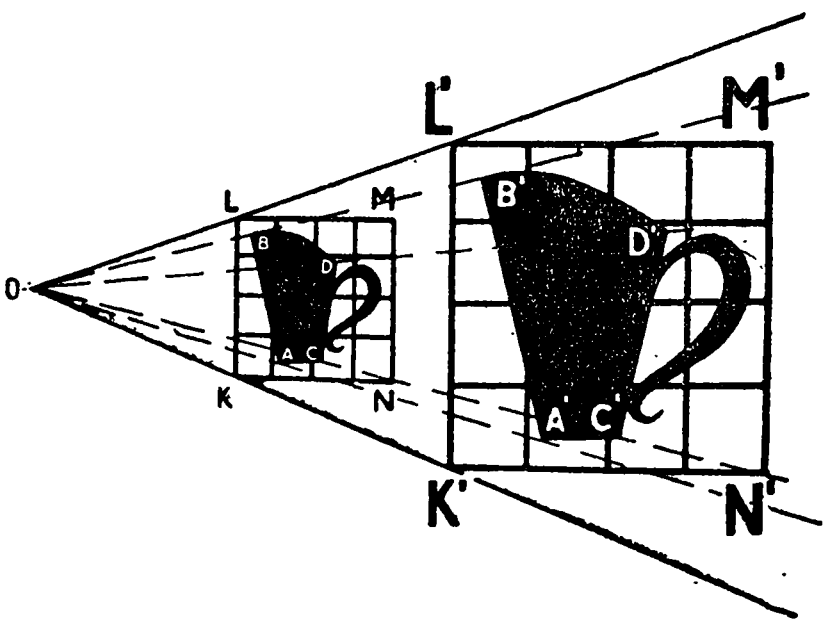
მსგავსების გარდაქმნები

გარდაქმნებს, რომლებიც ნაკვთებს ფორმას უნარჩუნებენ, მაგრამ, შესაძლოა, შეცვალონ მათი ზომები, ეწოდება მ ს გ ა ვ ს ე ბ ი ს გ ა რ დ ა ქ მ ნ ე ბ ი. მსგავსების გარდაქმნებს ყოველი F ნაკვთი გადაჰყავს მის მ ს გ ა ვ ს F' ნაკვთში, რომელიც პირვანდელი ნაკვთის შემცირებულ ან გადიდებულ ასლს წარმოადგენს; F' ნაკვთის ყველა ზომა უდრის F ნაკვთის შესაბამის ზომებს, გამრავლებულს ერთსა და იმავე k რიცხვზე (ნახ. 15). ამ რიცხვს ეწოდება ორი ნაკვთის მ ს გ ა ვ ს ე ბ ი ს კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი. მსგავსი ნაკვთები შეიძლება მივიღოთ, მაგალითად, თუ მუყაოდან გამოჭრილ F ნაკვთს, რომლის სიბრტყე მაგიდის ზედაპირის პარალელურია, ლამპის ქვეშ მოვათავსებთ. ამ შემთხვევაში F' ჩრდილი, რომელსაც ეს ნაკვთი მაგიდაზე გვაძლევს, იქნება F ნაკვთის მსგავსი (ნახ. 16).



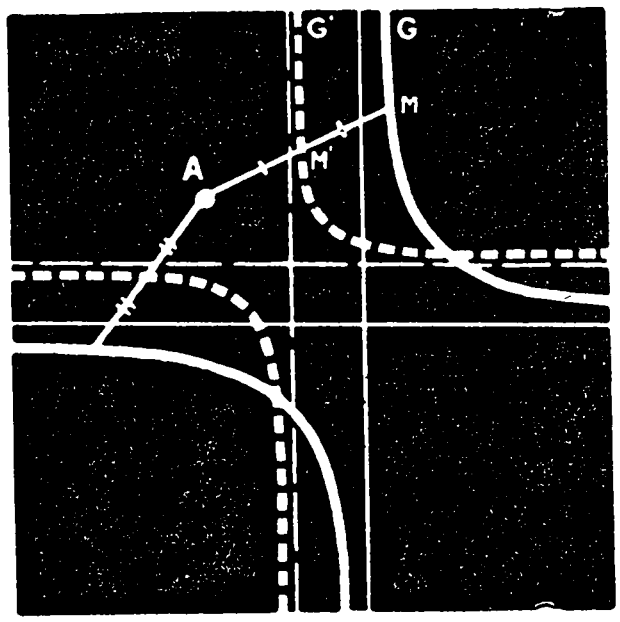
ნახ. 16.

მსგავსების გარდაქმნის უფრო „მათემატიკურ“ მაგალითს წარმოადგენს ჰ ო მ ო თ ე ტ ი ა O ცენტრით და k კოეფიციენტით, რომელსაც ყოველი A წერტილი გადაჰყავს OA სხივის ისეთ A' წერტილში, რომ $\frac{OA'}{OA} = k$ (ნახ. 17). F ნაკვთის მსგავსი F' ნაკვთის ზოგიერთი თვისება განსხვავებული იქნება F ნაკვთის თვისებებისაგან; მაგალითად, ჰომოთეტიას კოეფიციენტ 2-ით $ABCD$ ნაკვთი გადაჰყავს $A'B'C'D'$ ნაკვთში, რომლის ფართობი 4-ჯერ მეტია $ABCD$ ნაკვთის ფართობზე (ნახ. 17).



ნახ. 17. ჰომოთეტია O ცენტრით.

მაგრამ F' ნაკვთის თვისებათა უმრავლესობა დაეძთხვევა F ნაკვთის თვისებებს. მაგალითად, F' ნაკვთის ყველა კუთხე ტოლი იქნება F ნაკვთის შესაბამისი კუთხეებისა; F' ნაკვთის წერტილთა შორის მანძილების ფარდობა ტოლი იქნება F ნაკვთის შესაბამ წერტილთა შორის მანძილების ფარდობისა $\left(\text{იხ. ნახ. 15, სადაც } \frac{AB}{CD}=\frac{A'B'}{C'D'}\right)$ და ა. შ.



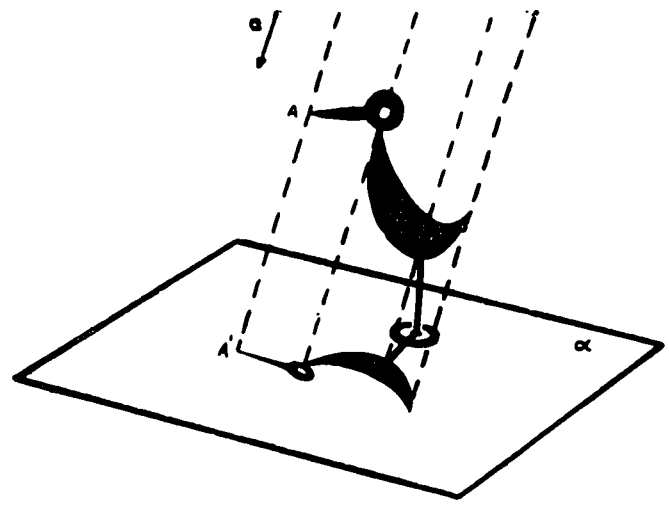
ნახ. 18.

ამრიგად, მსგავსების გარდაქმნები მცირედ ცვლიან გეომეტრიული ნაკვთების თვისებებს; მათ წრეწირი კვლავ წრეწირში გადაჰყავთ, კვადრატი—კვადრატში, ტოლფერდა სამკუთხედი წვეროსთან 40°-იანი კუთხით—კვლავ წვეროსთან 40°-იანი კუთხის მქონე ტოლფერდა სამკუთხედში და ა. შ.

მსგავსების გარდაქმნის ეს თვისებები ზოგჯერ შეიძლება გამოვიყენოთ ზოგიერთი შინაარსიანი გეომეტრიული ამოცანის ამოსახსნელად. მაგალითად, განვიხილოთ ასეთი ამოცანა: განვსაზღვროთ, რას წარმოადგენს ყველა AM მონაკვეთის შუა წერტილთა სიმრავლე, სადაც A წერტილი ფიქსირებულია, ხოლო M წერტილი გაირბენს, ვთქვათ, ტოლფერდა G ჰიპერბოლის (უკუპროპორციული დამოკიდებულების გრაფიკი) ყველა წერტილს. ცხადია, წერტილთა საძიებელი სიმრავლე შეადგენს G ჰიპერბოლის ჰომოთეტიურ G' ნაკვთს ჰომოთეტიის ცენტრით A და ჰომოთეტიის კოეფიციენტით $\frac{1}{2}$. აქედან გამომდინარეობს, რომ გვექნება ისევითვე ჰიპერბოლა, მხოლოდ 2-ჯერ ნაკლები (ნახ. 18).

წრფივი გარდაქმნები

განვიხილოთ ჩრდილი, რომელსაც მუყაოდან გამოჭრილი F ნაკვთი იძლევა სიბრტყეზე. არ არის აუცილებელი, სიბრტყე ნაკვთის პარალელური იყოს (ნახ. 19). F ნაკვთიდან F' ჩრდილზე გეომეტრიულ გადასვლას აღწერენ როგორც პარალელურ დაგეგმილებას. მას F ნაკვთის ყოველი A წერტილი გადაჰყავს α სიბრტყის ისეთ A' წერტილში, რომ $AA' \parallel a$, სადაც a მოცემული წრფეა, რომელიც ახასიათებს დაგეგმილების მიმართულებას (ვინაიდან მზის სხივები შეიძლება პარალელურად ჩავთვალოთ). F' ნაკვთი შეიძლება საგრძნობლად განსხვავდებოდეს პირვანდელი F ნაკვთისაგან; მაგალითად, ყველასათვის ცნობილია, რამდენად



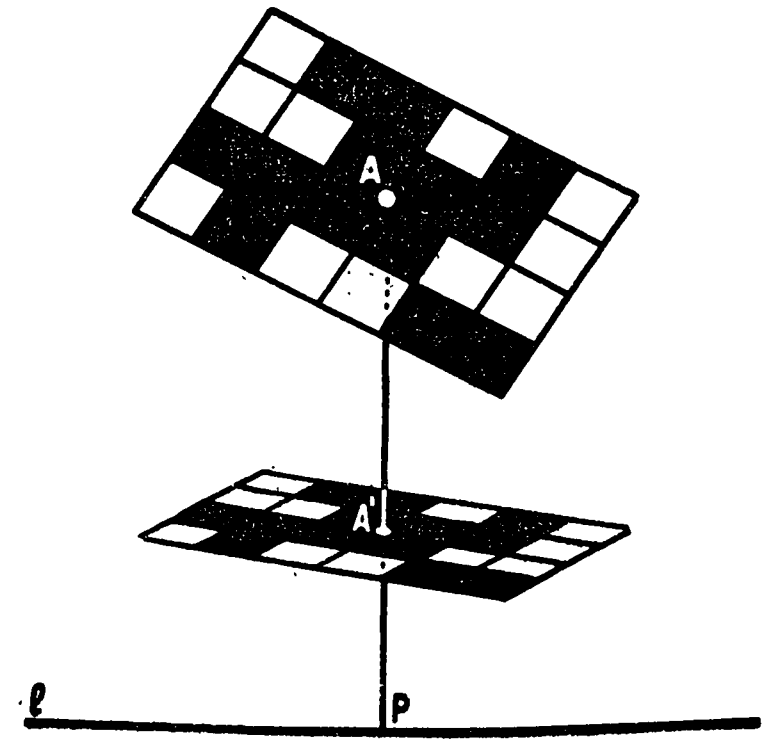
ნახ. 19.

ამახინჯებს ჩრდილი საგანთა ჭეშმარიტ ფორმასა და ზომას, თუ მზე საკმაოდ დაბლაა (ნახ. 20). მაგრამ გარკვეული მსგავსება F ნაკვთსა და მის F' ჩრდილს შორის მაინც რჩება. მაგალითად, ყოველი წრფე, გავლებული F ნაკვთის სიბრტყეში, კვლავ წრფეში გადავა (ნახ. 21); პარალელური წრფეები კვლავ პარალელურ წრფეებში გადავა; ერთ წრფეზე მდებარე მონაკვეთების ფარდობა პარალელური დაგეგმილებისას უცვლელი რჩება $\left(\text{იხ. ნახ. 21, სადაც } \frac{AB}{BC}=\frac{A'B'}{B'C'}\right)$. $ABCD$ კვადრატი პარალელურ დაგეგმილებას არ გადაჰყავს კვადრატში, მაგრამ გადაიყვანს პარალელოგრამში, რომელიც მკვეთრად არ განსხვავდება კვადრატისაგან.

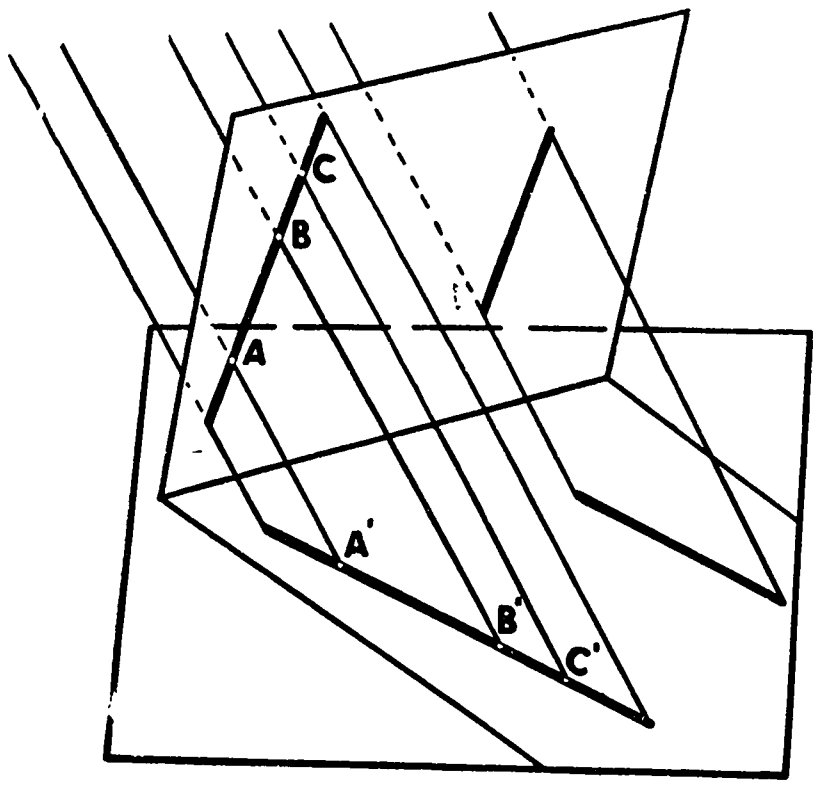
გეომეტრიულ გარდაქმნებს, რომლებსაც ასეთი თვისებები აქვთ, წ რ ფ ი ვ ი გ ა რ დ ა ქ მ ნ ე ბ ი ეწოდება. წრფივ გარდაქმნებს ეკუთვნის, მაგალითად, ე. წ. შეკუმშვა l წრფისაკენ, რომელიც შეიძლება ასე აღვწეროთ: შეკუმშვას l წრფისაკენ სიბრტყის A წერტილი გადაჰყავს ისეთ A' წერტილში, რომ A და A' წერტილები l წრფის მართობზე მდებარეობს და $\frac{PA'}{PA}=k$, სადაც P მართობის ფუძეა (ნახ. 22). k მუდმივს ეწოდება წრფისაკენ შეკუმშვის კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი (როცა $k>1$, უფრო სწორი იქნებოდა გველაპარაკა, l წრფისაგან „გაჭიმვის“ შესახებ).



ნახ. 20.



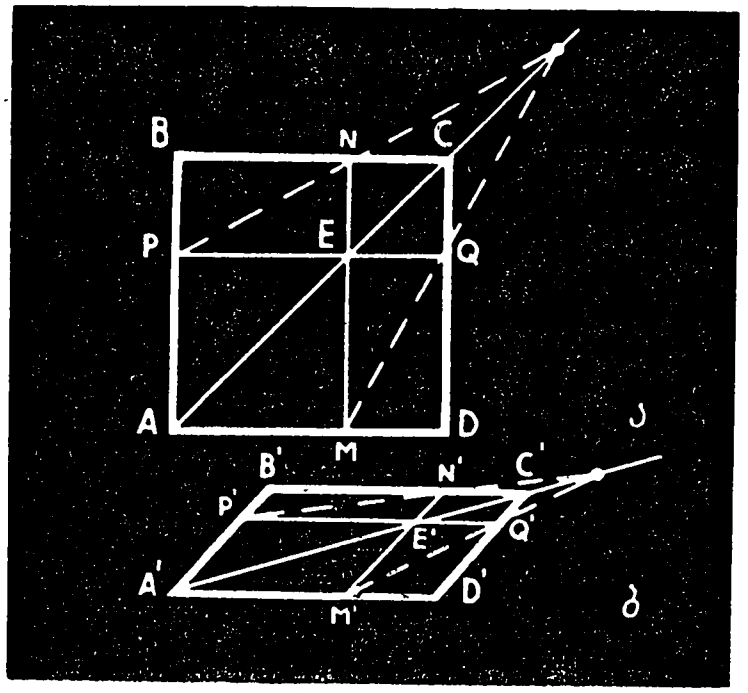
ნახ. 22. შეკუმშვა წრფისაკენ.



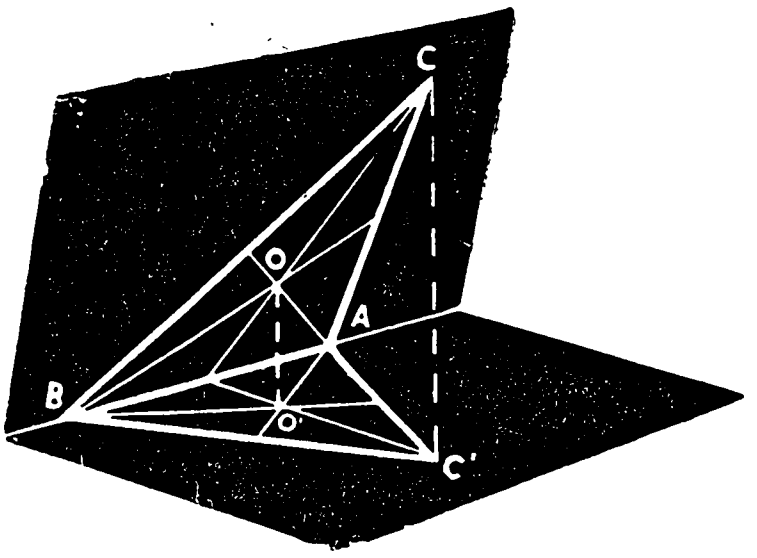
ნახ. 21. პარალელური დაგეგმილება.

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ შეკუმშვას l წრფისაკენ წრფე ისევ წრფეში გადაჰყავს, პარალელური წრფეები—პარალელურ წრფეებში, ერთ წრფეზე მდებარე მონაკვეთთა სიგრძეებს ფარდობას უნარჩუნებს.

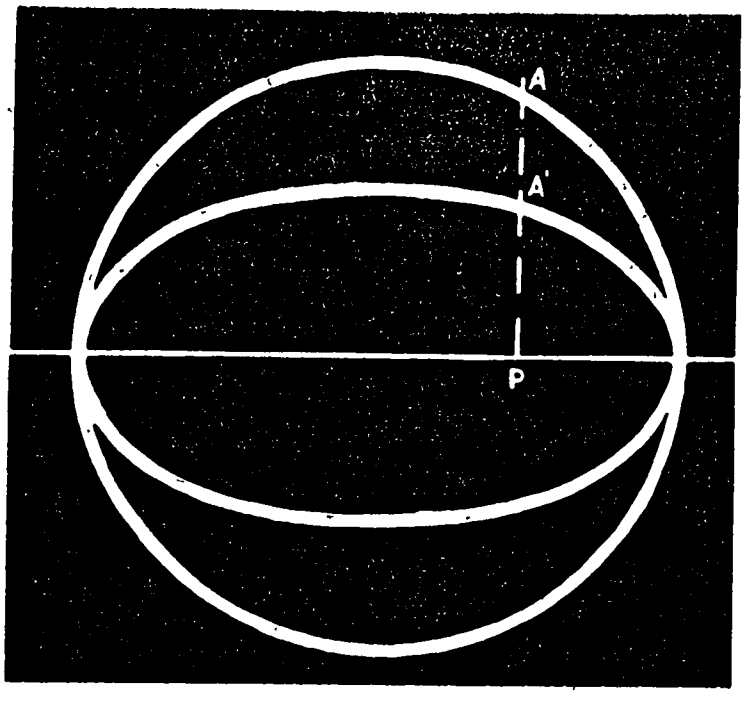
იმ თვისებების ცოდნა, რომლებიც უცვლელი რჩება წრფივი გარდაქმნების დროს, საშუალებას იძლევა ეს გარდაქმნები ზოგიერთი გეომეტრიული თეორემის დასამტკიცებლად გამოვიყენოთ. ცხადია, $ABCD$ კვადრატის და პარალელური დაგეგმილებით მისგან მიღებული $A'B'C'D'$ პარალელოგრამის თვისებები არ ემთხვევა ერთმანეთს. შევარჩიოთ $ABCD$ კვადრატის AC დიაგონალზე რაიმე E წერტილი და გავავლოთ მასზე მონაკვეთები $MN \parallel AB$ და $PQ \parallel BC$ (ნახ. 23, ა). ადვილი შესამჩნევია, რომ AC წრფე იქნება მიღებული ნახაზის ს ი მ ე ტ რ ი ი ს ღ ე რ ძ ი; ამიტომ MQ და

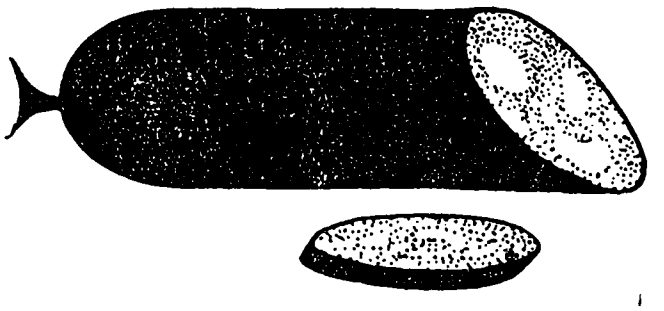


ნახ. 23.

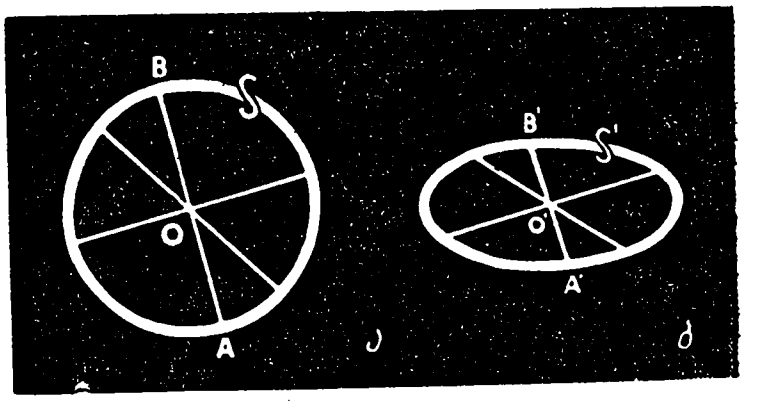


ნახ. 24. სამკუთხედის მედიანების გადაკვეთის წერტილის შესახებ თეორემის უმარტივესი დამტკიცება.





ნახ. 26.



ნახ. 27.

ნახ. 28.

ნახ. 25. წრფივ გარდაქმნას წრეწირი გადაჰყავს ელიფსში.

PN (AC წრფის მიმართ სიმეტრიული) წრფეები გადაიკვეთებიან AC წრფეზე. აქედან გამომდინარეობს, რომ მონაკვეთები $M'N' \parallel A'B'$ და $P'Q' \parallel B'C'$, რომლებიც იკვეთებიან $A'B'C'D'$ პარალელოგრამის $A'C'$ დიაგონალზე, ამ პარალელოგრამს მოკვეთენ მცირე პარალელოგრამებს $M'D'Q'E'$ და $N'B'P'E'$, რომელთა დიაგონალები $M'Q'$ და $N'P'$ იკვეთებიან $A'C'$ წრფეზე (ნახ. 23, ბ). ამის უშუალოდ დამტკიცება წრფივი გარდაქმნების გამოუყენებლად საკმაოდ ძნელი აღმოჩნდებოდა.

განვიხილოთ კიდევ ასეთი მაგალითი. ცხადია, რომ ყოველი ABC სამკუთხედი პარალელური დაგეგმილებით შეიძლება გადავიყვანოთ ABC' ტოლგვერდა სამკუთხედში (ნახ. 24; ABC' და ABC სამკუთხედები სხვადასხვა სიბრტყეზე მდებარეობენ; CC' დაგეგმილების მიმართულებაა). ამასთან ABC სამკუთხედის მედიანები გეგმილდებიან ABC' სამკუთხედის მედიანებში (ეს გამომდინარეობს პარალელური დაგეგმილების თვისებებიდან). მაგრამ ტოლგვერდა სამკუთხედების მედიანები ამავე დროს ბისექტრისებია. ამიტომ ისინი ერთ წერტილში გადაიკვეთებიან ABC' სამკუთხედში ჩახაზული წრეწირის ცენტრში. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ გამოსავალი ABC სამკუთხედის მედიანებიც ერთ წერტილში გადაიკვეთებიან. სამკუთხედის მედიანების გადაკვეთის წერტილის შესახებ თეორემის ეს დამტკიცება შესაძლოა უმარტივესი იყოს.

ელიფსი

აი, კიდევ წრფივი გარდაქმნების თვისებათა გამოყენების მაგალითი. წრეწირი წრფივ გარდაქმნას უკვე არ გადაჰყავს ისევ წრეწირში, ვიღებთ სხვა წირს, ე. წ. ელიფსს (ნახ. 25).

ელიფსი შეიძლება განვსაზღვროთ, როგორც წრიული ცილინდრისა და ნებისმიერი სიბრტყის გადაკვეთა (ნახ. 26). ეს იმას ნიშნავს, რომ ელიფსი წარმოიქმნება წრეწირიდან პარალელური დაგეგმილების შედეგად.

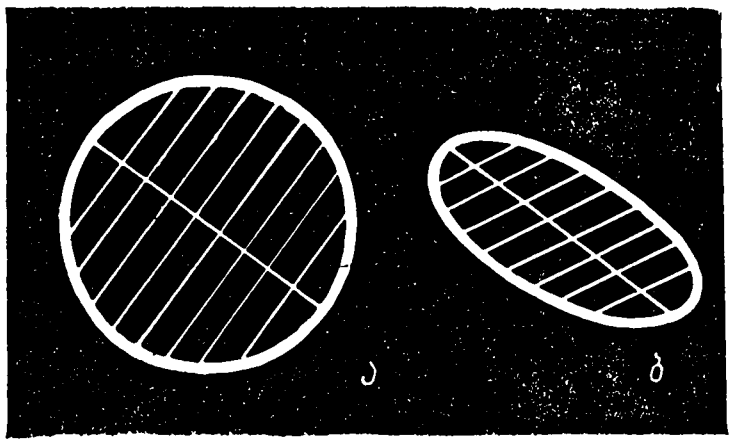
შევნიშნოთ, რომ S წრეწირის O ცენტრი არის მისი სიმეტრიის ცენტრი, ე. ი. წრეწირის O ცენტრზე გამავალი ყველა ქორდა შუაზე იყოფა (ნახ. 27, ა). წრფივი გარდაქმნებისას უცვლელი არ რჩება სხვადასხვა წრფეებზე მოთავსებულ მონაკვეთთა სიგრძეების ფარდობა; ამიტომ S წრეწირის O წერტილზე გამავალი რადიუსები გადადიან S' ელიფსის „რადიუსებში“, რომლებიც უკვე ტოლები არ არიან, მაგრამ O' წერტილში გადაიკვეთებიან (ნახ. 27, ბ). ოღონდ ერთი და იგივე წრფის მონაკვეთთა სიგრძეების ფარდობა უცვლელი რჩება წრფივი გარდაქმნების დროს. ამიტომ O' წერტილში გამავალი S' ელიფსის ქორდები ამ წერტილში შუაზე იყოფა. ამრიგად, ვრწმუნდებით, რომ ყოველ S' ელიფსს აქვს სიმეტრიის O' ცენტრი; ამ O' წერტილს ელიფსის ცენტრს უწოდებენ.

აი, კიდევ ერთი მსგავსი მაგალითი. M წერტილიდან გავავლოთ S წრეწირის MA და MB მხებები (ნახ. 28, ა). ჩვენ ვიცით, რომ $MA = MB$; $OM \perp AB$, სადაც O არის S წრეწირის ცენტრი; $AK = KB$, სადაც K არის OM და AB მონაკვეთების გადაკვეთის წერტილი (ეს ფაქტები იქიდან გამომდინარეობს, რომ OM წრფე სიმეტრიის ღერძია; იხ. ნახ. 28, ა). MA და MB მონაკვეთთა ტოლობა არ შეიძლება ელიფსზე გადავიტანოთ (სხვადასხვა წრფეების მონაკვეთთა სიგრძეების შეფარდება პარალელური დაგეგმილებისას არ რჩება უცვლელი); OM და AB წრფეების მართობულობაც მხოლოდ წრეწირისათვის არის დამახასიათებელი (წრფივი გარდაქმნებისას კუთხეები არ რჩება უცვლელი). მაგრამ AK და KB მონაკვეთები, რომლებიც ერთ წრფეს ეკუთვნიან, ტოლებია ელიფსის შემთხვევაშიაც: თუ გარე M' წერტილიდან გავავლებთ O' ცენტრის მქონე S' ელიფსის $M'A'$ და $M'B'$ მხებებს, მაშინ $O'M'$ წრფე $A'B'$ ქორდას შუაზე გაყოფს (ნახ. 28, ბ).

დავამტკიცოთ კიდევ, რომ ელიფსის ყველა ურთიერთპარალელური ქორდის შუა წერტილები მიეკუთვნება ცენტრზე გამავალ წრფეს (ელიფსის დიამეტრს). მართლაც, ვთქვათ, S' ელიფსი მივიღეთ S წრეწირიდან წრფივი გარდაქმნის შედეგად (თუნდაც ცენტრალური დაგეგმილებით). წრეწირის ყველა ურთიერთპარალელური ქორდის შუა წერტილები ეკუთვნის ერთ წრფეს, რომელიც წრეწირის O ცენტრზე გადის და მართობულია გავლებული ქორდებისა (ნახ. 29, ა).

წრფივი გარდაქმნის დროს S წრეწირის ყველა

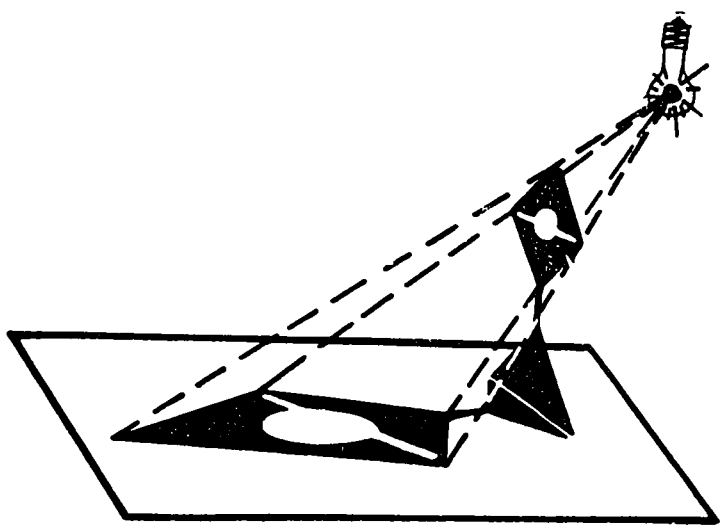
ურთიერთპარალელური ქორდა გადადის S' ელიფსის ურთიერთპარალელურ ქორდებში, ხოლო წრეწირის d დიამეტრი, რომელიც მის ქორდებს შუაზე ყოფს, გადადის ელიფსის d' დიამეტრში, რომელიც შუაზე ყოფს ელიფსის პარალელურ ქორდებს (ნახ. 29, ბ).



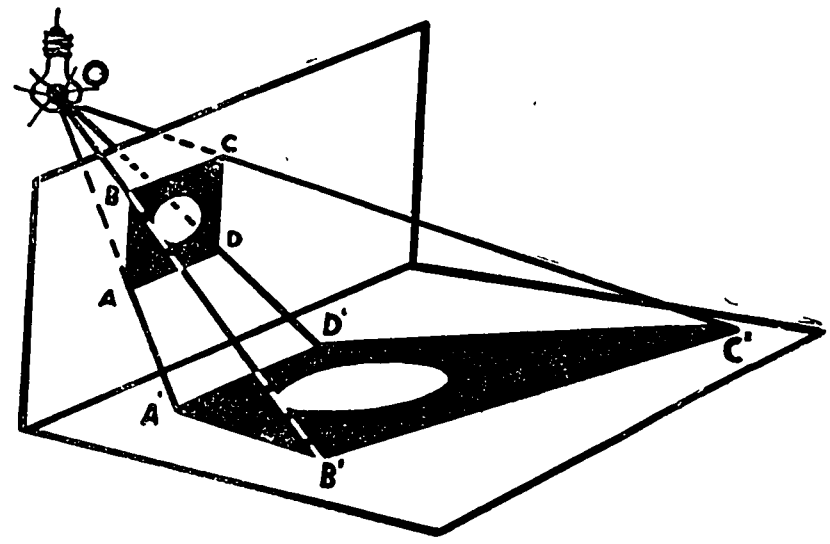
ნახ. 29.

გეგმილური გარდაქმნები

ახლა განვიხილოთ ჩრდილი, რომელსაც მაგიდის ზედაპირზე ვღებულობთ მუყაოსაგან გამოჭრილი, ელექტრული ნათურის ქვეშ მოთავსებული ნაკვთით. მაგიდის ზედაპირი შეიძლება არ იყოს ნაკვთის სიბრტყის პარალელური (ნახ. 30). ეს ჩრდილი შეიძლება მეტად განსხვავდებოდეს ნაკვთისაგან, მაგრამ ნაკვთზე გახაზული წრფე ამ დროს კვლავ წრფეში გადავა, ერთ წერტილში გადამკვეთი წრფეებიც კვლავ გადამკვეთ წრფეებში გადადის.

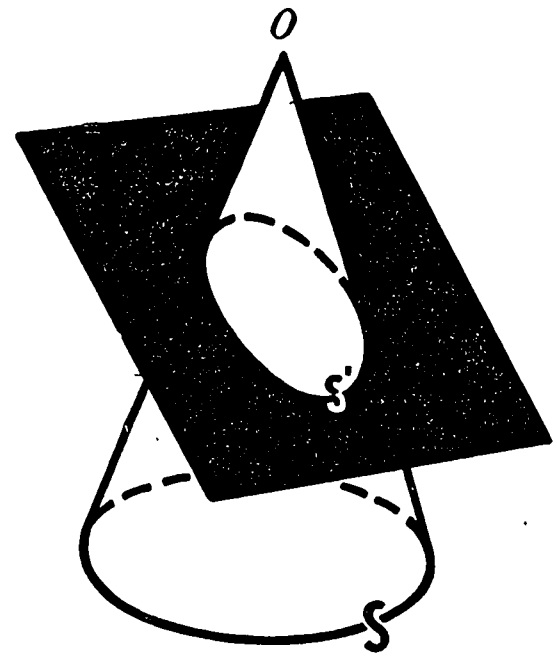


ნახ. 30.



ნახ. 31.

აქ საქმე გვაქვს მაგიდის სიბრტყეზე რაიმე წერტილიდან ნაკვთის ცენტრალურ დაგეგმილებასთან. მას ნაკვთის ყოველი წერტილი გადაყავს მაგიდის სიბრტყესთან წრფის გადაკვეთის წერტილში. ცენტრალური დაგეგმილება წარმოადგენს გეგმილური გარდაქმნების მაგალითს. გეგმილური გარდაქმნები გაცილებით მეტად ცვლიან ნაკვთების თვისებებს, ვიდრე წრფივი. მაგალი-



ნახ. 32. კონუსური კვეთების წარმოქმნა.

თად, $ABCD$ კვადრატი გეგმილურ გარდაქმნებს შეუძლია გადაიყვანოს ნებისმიერ $A'B'C'D'$ ოთხკუთხედში (ნახ. 31). თუმცა აქაც შეიძლება აღვნიშნოთ გეომეტრიული ნაკვთების მთელი რიგი თვისებები, რომლებიც უცვლელი რჩება ცენტრა-

ლური დაგეგმილებისას, და ვისარგებლოთ ამით, რომ კვადრატის თვისებებიდან ნებისმიერი ოთხკუთხედების საინტერესო თვისებები გამოვიყვანოთ.

გეგმილურ გარდაქმნებს წრეწირები გადაყავს ე. წ. კ ო ნ უ ს უ რ კ ვ ე თ ე ბ შ ი. ეს სახელწოდება იმასთან არის დაკავშირებული, რომ თუ ცენტრალურ დაგეგმილებას O ცენტრით გადაყავს S წრეწირი S' ნაკვთში, მაშინ S' წარმოადგენს O წვეროიანი მრგვალი კონუსის ბრტყელ კვეთას (ნახ. 32). შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ კონუსურ კვეთებს მიეკუთვნება როგორც ზემოთ განხილული ე ლ ი ფ ს ი, ისე ჰ ი პ ე რ ბ ო ლ ა (უკუპროპორციული დამოკიდებულების გრაფიკი) და პ ა რ ა ბ ო ლ ა ($y=x^2$ ფუნქციის გრაფიკი). თუ გამოვიყენებთ ამ გარემოებას, აგრეთვე გეგმილური გარდაქმნების ზოგად თვისებებს, შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ ჰიპერბოლასა და პარაბოლას ახასიათებს წრეწირისა და ელიფსის თვისებების მონათესავე ბევრი საინტერესო თვისება.



ფელიქს კლაინი.

გარდაქმნები თეორემების კლასიფიკაციის საფუძველია

გერმანელმა მათემატიკოსმა ფელიქს კლაინმა გასული საუკუნის დასასრულს წამოაყენა მოსაზრება, რომ გეომეტრიული გარდაქმნები დაედოთ საფუძვლად ყველა გეომეტრიული ნაკვთისა და სხეულის კლასიფიკაციისათვის. მისი აზრით, უმჯობესი იქნებოდა გეომეტრიული თვისებები იმ გარდაქმნების მიხედვით განესხვავებინათ, რომელთა დროს ეს თვისებები უცვლელი რჩება. ამასთან ერთ ჯგუფს მიკუთვნებოდა ის თვისებები, რომლებიც უცვლელი რჩება მხოლოდ ნაკვთების მ ო ძ რ ა ო ბ ი ს ა ს. ამ ჯგუფში შევიდოდა ყველა თვისება, დაკავშირებული წერტილებს შორის მანძილებთან, და ყველა თეორემა, რომლებშიც სიგრძეები და ფართობები გვაქვს (მაგალითად, თეორემა: სამკუთხედის ფართობი უდრის სამკუთხედის ფუძის სიგრძისა და ფუძეზე დაშვებული სიმაღლის სიგრძის ნამრავლის ნახევარს). მეორე ჯგუფში მოხვდებოდა თვისებები, რომლებიც უცვლელი რჩება მ ს გ ა ვ ს ე ბ ი ს გ ა რ დ ა ქ მ ნ ი ს ა ს, მაგალითად, ყველა თვისება, დაკავშირებული კუთხეთა სიდიდესთან; თვისებათა ამ ჯგუფს მიეკუთვნება 30° კუთხის მქონე მართკუთხა სამკუთხედის ცნობილი თვისება (ჰიპოტენუზის სიგრძის შეფარდება უმცირესი კათეტის სიგრძესთან ხომ ასევე უცვლელი რჩება მსგავსების გარდაქმნისას). კიდევ ერთ ჯგუფს შეადგენს გეომეტრიული ნაკვთების ის თვისებები, რომლებიც შენარჩუნებული იქნება წ რ ფ ი ვ ი გ ა რ დ ა ქ მ ნ ე ბ ი ს ა ს. შემდეგ შეიძლება განვიხილოთ ნაკვთების თვისებები, რომლებიც უცვლელი რჩება გ ე გ მ ი ლ უ რ ი გ ა რ დ ა ქ მ ნ ე ბ ი ს ა ს. ვინაიდან წრფივი გარდაქმნები უფრო მეტად ცვლიან ნაკვთების თვისებებს, ვიდრე მოძრაობანი, ამიტომ ის თვისებები, რომლებიც ამ გარდაქმნების დროსაა შენარჩუნებული, უფრო მყარ თვისებებად უნდა მივიჩნიოთ. ამ თვალსაზრისით სამკუთხედის თვისება, რომელიც გამოისახება თეორემით — „სამკუთხედის მედიანები ერთ წერტილში იკვეთება“ — თურმე უფრო მყარია, ვიდრე, ვთქვათ, სიმაღლეების ანალოგიური თვისება. კიდევ უფრო მყარ თვისებებად უნდა ჩაითვალოს ნაკვთების ის თვისებები, რომლებიც შენარჩუნებულია ნაკვთების გეგმილური გარდაქმნებისას.

გეომეტრიული თეორემების ასეთი კლასიფიკაცია (კლაინი ლაპარაკობდა აგრეთვე ცალკეულ გეომეტრიებზეც; ეს გეომეტრიები სწავლობენ ნაკვთების იმ თვისებებს, რომლებიც შენარჩუნებული იქნება ამა თუ იმ გარდაქმნისას; მაგალითად, გეგმილური გარდაქმნისას შენარჩუნებული თვისე-

ბების შესწავლა არის გეგმილური გეომეტრიის საგანი) განმარტავს ზემოთქმულს თეორემების დასამტკიცებლად გეომეტრიული გარდაქმნების გამოყენების შესახებ. წრფივი გარდაქმნებისას შენარჩუნებული ყველა თვისება ერთნაირი იქნება წრეწირისა და ელიფსისათვის; ამიტომ მათი განხილვისას შეიძლება დავკმაყოფილდეთ წრეწირის შესწავლით, რომელიც ელიფსის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს (წრეწირი ცილინდრის ფუძის პარალელური სიბრტყით წრიული ცილინდრის კვეთაა). ზუსტად ასევე, სამკუთხედის სათანადო თვისებების შესწავლისას იგი შეიძლება მივიჩნიოთ ტოლგვერდა სამკუთხედად, პარალელოგრამის თვისებათა შესწავლისას იგი კვადრატად მივიღოთ და ა. შ. ნებისმიერი ოთხკუთხედი გეგმილურ თვისებათა შესწავლისას შეიძლება კვადრატად ჩავთვალოთ, ხოლო კონუსური კვეთის გეგმილური თვისებების შესწავლისას ეს კონუსური კვეთა წრეწირად მივიღოთ და ა. შ. ამრიგად, კლაინის თვალსაზრისი, რომელიც გეომეტრიის ცალკეულ შტოებს გამოყოფს, შეიძლება არსებითად დაგვეხმაროს გეომეტრიული თეორემების დამტკიცებისას.

■

სხვადასხვა გეომეტრიების შესახებ

ყველასთვის ცნობილია, რომ ელემენტარული (სასკოლო) გეომეტრიის დებულებებს ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანის გადასაწყვეტად.

გეომეტრიის ცოდნა აუცილებელია ზეინკლისათვის, ინჟინრისათვის, მეცნიერისათვის — ყველასთვის, ვისაც საქმე აქვს სხვადასხვა ნაკვთებისა და სხეულების თვისებებთან. როგორ შეისწავლის გეომეტრია ჩვენს რეალურ სამყაროს? ალბათ, ყველა თქვენგანს გაუგონია გამოთქმები: „მათემატიკური სიზუსტით“, „როგორც ორჯერ ორი ოთხია“ და ა. შ.

ამ სიტყვებით, ჩვეულებრივ, ახასიათებენ ამა თუ იმ საკითხის აბსოლუტურ სიზუსტეს.

ქვემოთ შევეცდებით გავარკვიოთ, როგორი სიზუსტით ასახავენ გეომეტრიული თეორემები საგანთა რეალურ მდგომარეობას ჩვენს სამყაროში. ნამდვილად უსაზღვროა თუ არა ეს სიზუსტე?

ამ კითხვებს რომ ვუპასუხოთ, საჭიროა დაკვირვებით გავაანალიზოთ, როგორ აიგება მეცნიერება გეომეტრია და როგორ შეისწავლის იგი რეალურ სამყაროს.

რით იწყება გეომეტრიის შესწავლა

გეომეტრიის სახელმძღვანელოში შეისწავლება სხვადასხვა სირთულის გეომეტრიული ობიექტები: სამკუთხედები, ტრაპეციები, პარალელოგრამები, პრიზმები, პირამიდები, სფეროები და ა. შ., რომლებიც ზუსტ დახასიათებას მოითხოვენ. ეს ე. წ. განსაზღვრებით ხერხდება. ამა თუ იმ განსაზღვრაში რომ სავსებით გავერკვეთ, საჭიროა ვიცოდეთ სახელმძღვანელოში უფრო ადრე მოყვანილი განსაზღვრები. მაგალითად, გასაგები რომ იყოს ტრაპეციის განსაზღვრა, საჭიროა წინასწარ ვიცოდეთ წრფეთა პარალელურობის განსაზღვრა, ოთხკუთხედის განსაზღვრა, ხოლო ამისთვის საჭიროა მონაკვეთის განსაზღვრის ცოდნა. ეს კი მოითხოვს იმის ცოდნას, თუ რა არის წერტილი და წრფე.

ყოველი სხვა განსაზღვრა ზუსტად ასევე მიგვიყვანს ბოლოს და ბოლოს გეომეტრიის სახელმძღვანელოს პირველ გვერდამდე, სადაც მოცემულია გეომეტრიის ძირითად ცნებათა: წერტილის, წრფის, სიბრტყის განსაზღვრები. მაგრამ შეიძლება იმედი გაგვიცრუვდეს. თურმე აქაც არ არის წერტილის, წრფისა და სიბრტყის ზუსტი მათემატიკური განსაზღვრები, ამავე დროს ყველა სხვა განსაზღვრა, რომლებიც დასახელებულ საწყის გეომეტრიულ ცნებებზეა დამყარებული, ჩამოყალიბებულია სრული მათემატიკური სიმკაცრით. ეს ერთი შეხედვით უცნაურია.

მართალია, სახელმძღვანელოების პირველ გვერდებზევეა განმარტებული, რა უნდა ვიცოდეთ წერტილის, წრფისა და სიბრტყის შესახებ. მაგრამ ასეთი განმარტებანი ჯერ კიდევ არ არის ზუსტი მათემატიკური განსაზღვრები. გარდა ამისა, ეს განმარტებანი არსად არაა გამოყენებული და სრუ-

ლებით არ არის საჭირო თეორემების დამტკიცებისას. მნიშვნელოვანია მხოლოდ იმის მითითება, რომ შემდეგში იქნება შესწავლილი წერტილები, წრფეები და სიბრტყეები.

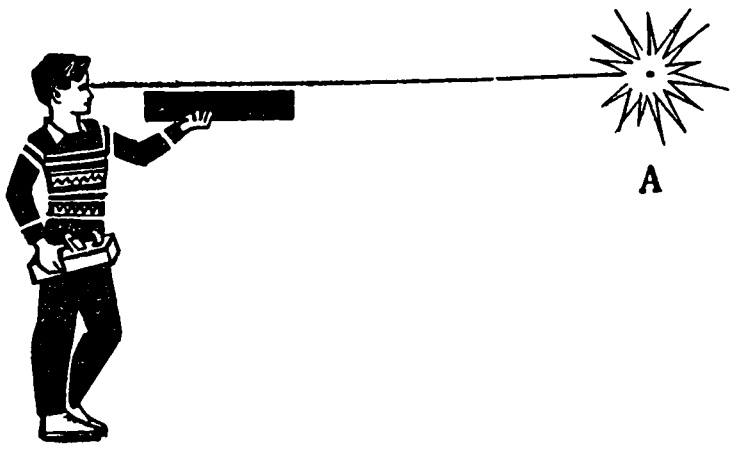
მაინც რა არის წერტილი, წრფე და სიბრტყე?

უწინარეს ყოვლისა, აღვნიშნავთ, რომ ბუნებაში არსად არ გვხვდება წერტილები, წრფეები და სიბრტყეები.

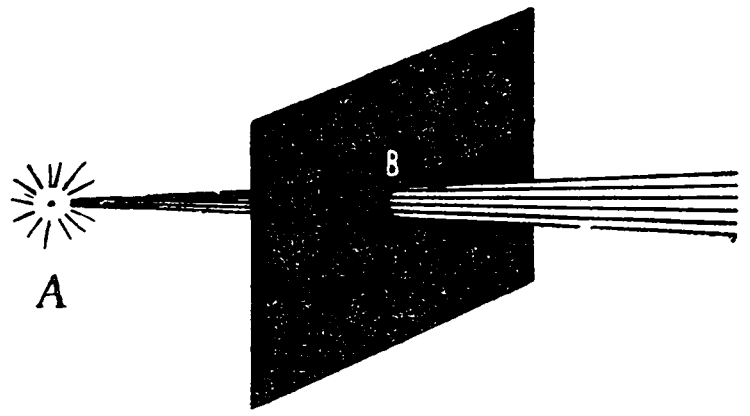
ვთქვათ, გვაქვს 1 მმ-იანი დიამეტრის მჭონე ბურთულა. ამ ბურთულას დიამეტრი შევამციროთ ორჯერ, სამჯერ, ათასჯერ და ა. შ. დადგება თუ არა ისეთი მომენტი, როცა შეგვეძლება სულ მთლად დაპატარავებულ ბურთულას წერტილი ვუწოდოთ? არა.

მასწავლებელი დაფაზე სვამს დიდ წერტილს. საკმაოდ მოზრდილ წერტილებს აღნიშნავენ მოწაფეებიც თავიანთ რვეულებში. სინამდვილეში კი დაფაზე და რვეულებში ასახულია პატარა რგოლები. წერტილებია თუ არა ესენი? ცაზე ვარსკვლავებს „წერტილებად“ წარმოვიდგენთ ხოლმე, მიუხედავად იმისა, რომ ზოგიერთი მათგანი მზეზე გაცილებით დიდია. წარმოვიდგინოთ ისეთი მცირე ბურთულა, რომელიც არც ერთი თანამედროვე მიკროსკოპით არ შეიმჩნევა. ასეთი ბურთულაც არ ჩაითვლება წერტილად. საქმე ისაა, რომ წერტილი არაა რაიმე კონკრეტული საგანი. წერტილი ა ბ ს ტ რ ა ქ ტ უ ლ ი ც ნ ე ბ ა ა, რომელიც შექმნილია ჩვენი გონების მიერ რეალური ობიექტების—ბურთულების, წრეებისა და სხვათა ხანგრძლივი შესწავლის შედეგად. წერტილის ამ აბსტრაქტულ ცნებას ჩვენ ვანიჭებთ დასაკვირვებელ კონკრეტულ საგანთა საერთო თვისებებს.

ახლა ყურადღება შევაჩეროთ წრფის ცნებაზე. ვთქვათ, ქაღალდზე გამოსახულია წირი. არის თუ



ნახ. 1.



ნახ. 2. წრფეზე წარმოდგენას გვიქმნის ნახვრეტში გამავალი სინათლის სხივი.

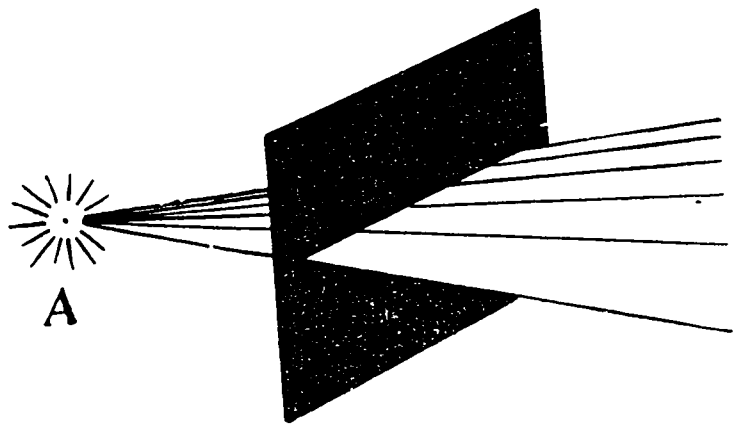
არა იგი წრფე? როგორ დავრწმუნდეთ ამაში? ამისათვის წირს მივადოთ სახაზავი, ე. ი. წირი შევადაროთ სახაზავის ნაპირს. იბადება კითხვა: სწორია თუ არა ჩვენი სახაზავი? ყველამ კარგად იცის, როგორ ამოწმებს დურგალი გარანდული თამასის სისწორეს. იგი მას შუქზე გახედავს (იხ. ნახ. 1). ასევე ადვილად გამოჩნდება შუქზე სახაზავის სისწორე თუ უსწორობა. მაშასადამე, რომ დავრწმუნდეთ, სწორია თუ არა სახაზავი, იგი სინათლის სხივს უნდა შევადაროთ. ასევე უნდა მოვიქცეთ, როცა პრაქტიკაში წრფედ მივიჩნევთ მაგრად გაჭიმულ წვრილ ძაფს. რომ დავრწმუნდეთ, რამდენად კარგადაა იგი გაჭიმული, საჭიროა მას გავხედოთ, ე. ი. ის სინათლის სხივს შევადაროთ. მაშასადამე, შეიძლება ვთქვათ, რომ სინათლის სხივი წარმოადგენს წრფის ეტალონს. ერთი შეხედვით ყველაფერი რიგზეა. მაგრამ ბუნებაში ვერ შეხვდებით კონკრეტულად „სინათლის ერთ სხივს“.

ვთქვათ, სინათლის A მცირე წყაროდან (ნახ. 2) გამოსული სხივები გადის პატარა ნახვრეტში, რის შედეგადაც ვღებულობთ სინათლის სხივთა ვიწრო კონას. წარმოვიდგინოთ, რომ ნახვრეტს თანდათანობით ვამცირებთ, მაშინ სინათლის სხივთა კონაც თანდათანობით შევიწროვდება. მაგრამ როგორც არ უნდა დავავიწროვოთ სხივთა კონა, იგი სხივად მაინც ვერ გადაიქცევა. თუ სინათლის A წყარო წერტილია და B ნახვრეტიც წერტილი, მაშინ სხივთა კონა სხივად გადაიქცევა. მაგრამ, ჩვენ უკვე ვიცით, რომ რეალურ სამყაროში არ არსებობს წერტილი. მაშასადამე, არც ცალკეული სხივი იარსებებს. ამგვარად, სინათლის სხივი (ე. ი. წრფე) ა ბ ს ტ რ ა ქ ტ უ ლ ი ც ნ ე ბ ა ა, მიუხედავად იმისა, რომ ის დაკავშირებულია რეალურ მოვლენასთან და, მაშასადამე, ფიზიკური წარმოშობისაა.

როდესაც ქაღალდზე წრფეს ვხაზავთ, ჩვენ ვქმნით მხოლოდ მის რეალურ სახეს — სურათს და ვცდილობთ მეტ-ნაკლებად დავამსგავსოთ იმ ფიზიკურ ობიექტებს, რომელთაგანაც ჩვენს ცნობიერებაში წრფის პრაქტიკული ცნება ჩამოყალიბდა და დაზუსტდა.

აქაც, ისევე როგორც წერტილის შემთხვევაში, წრფის აბსტრაქტულ ცნებას ჩვენ იმ თვისებათა კომპლექსს ვანიჭებთ, რომლებიც დასაკვირვებელი კონკრეტული საგნების საერთო დამახასიათებელ თვისებებს წარმოადგენს და რომლებზე დაკვირვების შედეგადაც წარმოიშვა თვით წრფის ცნება.

ასევეა სიბრტყის ცნების დადგენის დროსაც. წარმოვიდგინოთ, რომ A წყაროს სინათლე გავატარეთ წრფივ ჭვრიტეში (ნახ. 3). ჭვრიტის სისწორე შეიძლება შევამოწმოთ ეტალონით — სინათლის სხივით ზუსტად ისევე, როგორც ეს ზემოთ



ნახ. 3. სიბრტყეზე წარმოდგენას გვიქმნის წრფივ ჭვრიტეში გამავალი სინათლე.

იყო აღწერილი. მივიღებთ სურათზე გამოსახულ სხივთა კონას. თუ სინათლის წყაროს „იდეალურ“ წერტილამდე შევამცირებთ და ჭვრიტეს „იდეალურ“ წრფემდე დავავიწროვებთ, მაშინ სინათლის სხივთა კონა „იდეალურ“ სიბრტყედ გადაიქცევა. ამ შემთხვევაშიც შეიძლება ისევე ვიმსჯელოთ, როგორც წრფის ცნების დადგენისას. ამიტომ მათზე აღარ შევჩერდებით.

როგორ გამოიყენება გეომეტრიული თეორია

ამრიგად, გეომეტრია შეისწავლის აბსტრაქტული ცნებების — წერტილის, წრფისა და სიბრტყის თვისებებს. ამ თვისებების ფორმულირება და დამტკიცება ხდება ე. წ. თეორემებში. ყველა თეორემის დამტკიცება კი საბოლოოდ ემყარება რამდენიმე აქსიომას, რომლებიც არ მტკიცდება. დაწვრილებით, თუ როგორ აირჩევა აქსიომები და რა მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს ეს არჩევა. მოთხრობილია სტატიაში — „როგორ წარმოიშვა გეომეტრია“.

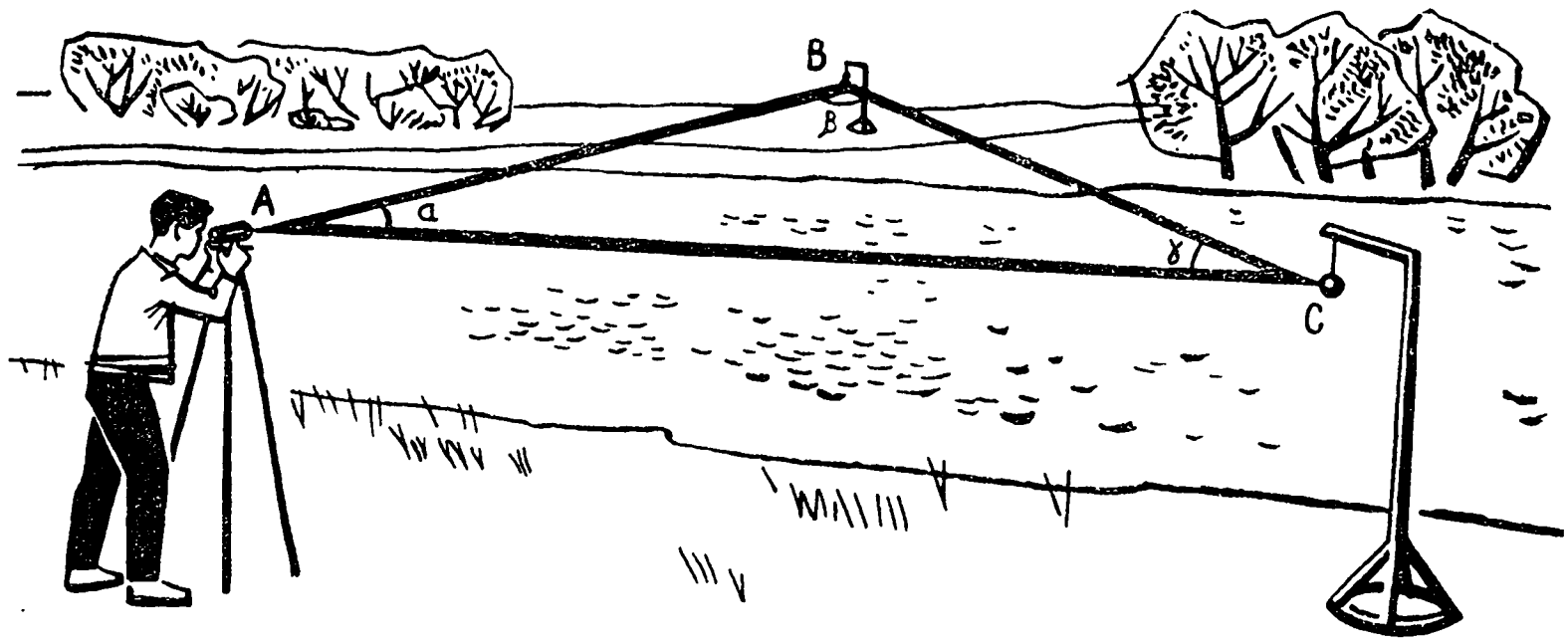
ჩვენამდე მოღწეულ ყველაზე ადრინდელ აქსიომათა სისტემა ეკუთვნის ევკლიდეს (III ს. ძვ. წ.). მისი აქსიომატიკა (აქსიომების სისტემა) არ იყო სრულყოფილი. ევკლიდური გეომეტრია თანამედროვე სახით ჩამოყალიბდა XIX ს. ბოლოს და ეყრდნობოდა ოცამდე აქსიომას, რომელთაც აქ არ ჩამოვთვლით. გეომეტრიის ყველა დასკვნა (თეორემები) იმდენად ზუსტად აღწერს რეალურ სამყაროს, რამდენად ზუსტადაც ასახავს აქსიომები საგანთა ჭეშმარიტ მდგომარეობას.

საქმის არსი შემდეგში მდგომარეობს. ვთქვათ, განვიხილავთ ბუნებაში სინათლის სხივის გავრცელებას, „სინათლის სხივებს“. ისინი მოქმედი ფიზიკური კანონების მიხედვით იქცევიან. გეომეტრებიც ირჩევენ ცდების დროს აღმოჩენილ სინათლის გავრცელების თავისებურებებს და მათ აცხადებენ აქსიომებად, რომლებიც ახასიათებს აბსტრაქტულ ცნებებს — წერტილს, წრფეს, სიბრტყეს. შერჩეული აქსიომების საფუძველზე აგებენ მათემატიკურ მეცნიერებას — გეომეტრიას. ეს გეომეტრია თითქოს რეალური სამყაროს წარმოსახვით ტვიფარს წარმოადგენს. ამ ტვიფარის შესწავლა საშუალებას გვაძლევს აღმოვაჩინოთ სამყაროს კანონზომიერებანი არა უშუალო გაზომვებით, არამედ აზრით, გეომეტრიულად (ე. ი. ტვიფარზე).

ეს რომ უფრო დაწვრილებით გავაშუქოთ, განვიხილოთ, მაგალითად, ამოცანა მდინარის მიერ გაყოფილ A და B პუნქტებს შორის მანძილის განსაზღვრის შესახებ (ნახ. 4). ცხადია, AB მანძილის პირდაპირ გაზომვა პრაქტიკულად განუხორციელებელია (კიდევ უფრო რთულია ვარსკვლავებს შორის მანძილის განსაზღვრა). ასეთი ამოცანების ამოსახსნელად აუცილებელია გეომეტრიის მოშველიება.

მაშ, როგორ ვიპოვოთ AB მანძილი გეომეტრიის დახმარებით? მოვიყვანოთ ამ ამოცანის ამოხსნის ორი ხერხი.

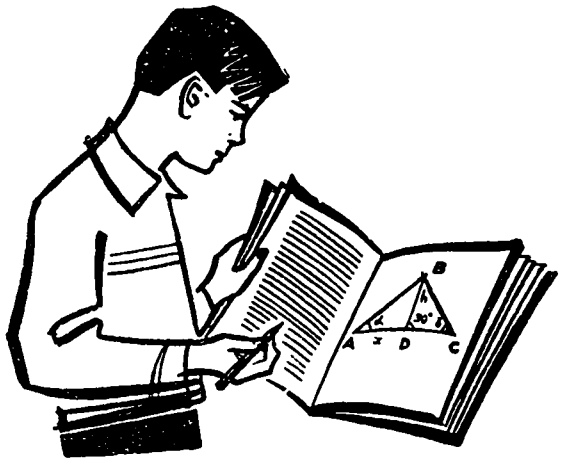
პირველი ხერხი. შევარჩიოთ მოცემულ ადგილზე მესამე პუნქტი C, ისე, რომ შეიძლებო-



ნახ. 4. მდინარის მიერ გაყოფილ A და B პუნქტებს შორის მანძილის გაზომვა.

დეს AC მანძილის უშუალოდ გაზომვა. AC-ს გაზომვის შემდეგ რომელიმე კუთხმზომი ხელსაწყოს (ვთქვათ თეოდოლიტის) მეშვეობით რიგრიგობით გავზომოთ α და γ კუთხეები (ვიგულისხმოთ, რომ ისინი მახვილი კუთხეებია).

ახლა უკვე გონებაში განვიხილოთ ABC სამკუთხედი, რომელსაც აქვს განსაზღვრული AC გვერდი და α და γ კუთხეები. თვალსაჩინოებისათვის შეგვიძლია დავხაზოთ ეს სამკუთხედი (ნახ. 5). თუმცა არც არის აუცილებელი. ყოველგვარი მსჯელობა შეგვიძლია ნახაზების გარეშე. მაგრამ თუ მაინც დავხაზავთ, საკმარისია ნახაზი მიახლოებითი იყოს.



ნახ. 5.

თუ B წვეროდან AC გვერდზე დავუშვებთ მართობს, მივიღებთ D წერტილს. აღვნიშნოთ $BD = h$, $AD = x$. მაშინ $DC = AC - x$. ცხადია,

$$\frac{h}{x}=\operatorname{tg}\alpha;\quad \frac{h}{AC-x}=\operatorname{tg}\gamma.$$

აქედან

$$x\operatorname{tg}\alpha=(AC-x)\operatorname{tg}\gamma.$$

მაშასადამე:

$$x=\frac{AC\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}\alpha+\operatorname{tg}\gamma}.$$

შემდეგ პითაგორეს თეორემის თანახმად ადვილად მივიღებთ:

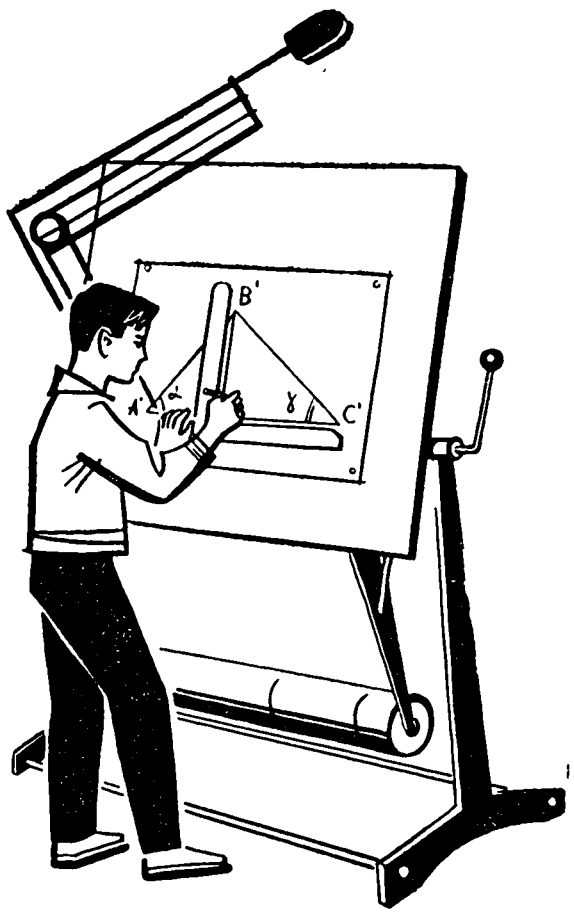
$$AB=\sqrt{x^2+h^2}=\sqrt{x^2+(x\operatorname{tg}\alpha)^2}=x\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}=$$
$$=\frac{AC\operatorname{tg}\gamma\sqrt{1-\operatorname{tg}^2\alpha}}{\operatorname{tg}\alpha+\operatorname{tg}\gamma}.$$

თუ ვიცით AC, α, γ, მიღებული ფორმულის მიხედვით ადვილად ვიპოვით საძიებელ AB მანძილს [1].

მ ე ო რ ე ხ ე რ ხ ი. შევეცადოთ შეძლებისდაგვარად ზუსტად გამოვსახოთ ქაღალდზე ადგილის გეგმა (ABC სამკუთხედის გეგმა). ცხადია, შეუძლებელია ის ნატურალური ზომით გამოვსახოთ. ამიტომ შევარჩიოთ გარკვეული მასშტაბი და შევამციროთ გაზომილი მანძილი n-ჯერ. ნახაზზე ავაგოთ $A'C'=\frac{1}{n}AC$ მონაკვეთი (ნახ. 6). შემდეგ ამ მონაკვეთის ბოლოებზე ტრანსპორტირის დახმარებით ავაგოთ α და γ კუთხეები, რომლებიც უკვე ვიპოვეთ ადგილის გაზომვისას. თუ გავაგრძელებთ ამ კუთხეების გვერდებს, მივიღებთ B' წერტილს — სამკუთხედის მესამე წვეროს.

რადგან $A'B'C'$ სამკუთხედის ორი კუთხე α და

[1] AB მანძილი უფრო მარტივად შეიძლება განვსაზღვროთ, თუ ვისარგებლებთ ტრიგონომეტრიის სინუსების ფორმულით.



ნახ. 6.

γ ABC სამკუთხედის შესაბამისი კუთხეების ტოლია, ამიტომ ეს სამკუთხედები მსგავსია. მაგრამ, ვინაიდან სამკუთხედების მსგავსება ნიშნავს მათი შესაბამისი გვერდების პროპორციულობას, მივდივართ დასკვნამდე, რომ $A'B'$ გვერდი AB გვერდზე n-ჯერ მცირე უნდა იყოს. ამიტომ, თუ ნახაზზე გავზომავთ $A'B'$, შეიძლება მივიღოთ, რომ $AB = nA'B'$.

პირველ შემთხვევაში AB ვიპოვეთ უბრალო გამოთვლებით, მეორე შემთხვევაში კი საჭირო გახდა დამატებით $A'B'$ სიდიდის გაზომვა და საკმაოდ ზუსტი ნახაზის აგება. ორივე შემთხვევაში AB მანძილის გამოსათვლელად დაგვჭირდა გეომეტრიის მრავალი თეორემის გამოყენება: პითაგორეს თეორემისა, მსგავსი სამკუთხედების თეორემისა და ა. შ. შევნიშნავთ, რომ მეორე ხერხი (პირველთან ერთად) ხშირად გამოიყენება საინჟინრო საქმეში, სადაც აუცილებელია ზუსტი ნახაზები.

მაგრამ შეიძლება დარწმუნებით ითქვას, რომ გაანგარიშებული სიდიდე დაემთხვევა მანძილს A და B პუნქტებს შორის, თუ შესაძლებელი იქნება ამ მანძილის გაზომვა? ამ კითხვის პასუხი დამოკიდებულია იმაზე, რამდენად ზუსტად ასახავენ გეომეტრიული აქსიომები რეალურ სინამდვილეს, რამდენად კარგია რეალური სამყაროს ჩვენი გეომეტრიული ტვიფარი.

რასაკვირველია, შეიძლება ეს ტვიფარი საკმაოდ კარგი არ აღმოჩნდეს. მაშინ უნდა შევეცადოთ უკეთესი ტვიფარი დავამზადოთ. ამისათვის კი საჭიროა გულმოდგინედ გაანალიზდეს ცდები, რომელთა საფუძველზეც არჩეულია ესა თუ ის აქსიომა, უფრო ზუსტად, შეირჩეს აქსიომები. შემდეგ ახალი აქსიომების საშუალებით, რომლებიც უფრო კარგად ასახავენ სინამდვილეს, უნდა აიგოს ახალი გეომეტრია, ახალი, უფრო ზუსტი ტვიფარი რეალური სამყაროსი.

ორი ათასი წლის მანძილზე მიაჩნდათ, რომ ევკლიდეს გეომეტრია უსაზღვრო სიზუსტით აღწერს სამყაროს, რომ რეალური სამყაროს ევკლიდეს ტვიფარი იდეალურია. ეს თვალსაზრისი პირველად შეარყია რუსმა მათემატიკოსმა ნ. ლობაჩევსკიმ 1826 წ. იმისთვის, რომ გავარკვიოთ ეს იდეები, უფრო დაწვრილებით შევჩერდეთ ევკლიდეს გეომეტრიის ყველაზე საინტერესო აქსიომის ანალიზზე.

პარალელურობის აქსიომა

აქსიომათა სისტემის შერჩევის შემდეგ ამტკიცებენ სულ უფრო რთულსა და რთულ თეორემებს.

სამკუთხედის გარე კუთხის შესახებ თეორემის საშუალებით ადვილად მტკიცდება მაგალითად თეორემა:

ორი წრფე, რომლებიც მართობულია მესამე წრფისა, არ გადაიკვეთება.

შემოვიღოთ ახლა შემდეგი განსაზღვრა:

პარალელური წრფეები ეწოდება ისეთ ორ წრფეს, რომლებიც ერთ სიბრტყეზე მდებარეობენ და ერთმანეთს არ კვეთენ.

ახლა ვთქვათ, რაიმე სიბრტყეზე მოცემულია a წრფე და A წერტილი (ნახ. 7). ცხადია, რომ A წერტილზე შეიძლება გავავლოთ a წრფის პარალელური b წრფე. ამისათვის საკმარისია A წერტილიდან დავუშვათ a წრფეზე AB მართობი, შემდეგ

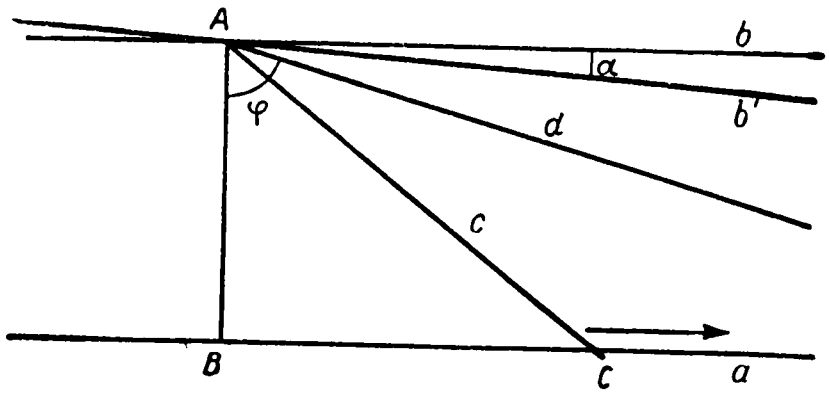
კი A წერტილიდან გავავლოთ AB-ს მართობული b წრფე. სწორედ ეს წრფე იქნება a წრფის პარალელური.

ისმის კითხვა: შეიძლება თუ არა A წერტილზე გავავლოთ კიდევ a-ს პარალელური b' წრფე? (კვლავ გავიხსენოთ, რომ ყველაფერი ერთ სიბრტყეზე ხდება, ე. ი. მხოლოდ პლანიმეტრიასთან გვაქვს საქმე.) ვისაც ამ საკითხზე არ უფიქრია, შეუძლია სწრაფად და კატეგორიულად განაცხადოს—არა, შეუძლებელია, რადგან b' წრფემ შეიძლება ძალიან შორს, მაგრამ მაინც გადაკვეთოს a წრფე.

ამიტომ, ჯერჯერობით თავი შევიკავოთ კატეგორიული პასუხისაგან და უფრო ღრმად ჩავუფიქრდეთ დასმულ კითხვას.

a წრფეზე ავიღოთ C წერტილი და იგი შევაერთოთ c წრფის A წერტილთან. C წერტილი a წრფეზე გადავაადგილოთ მარჯვნივ. ამ დროს c წრფე დაიწყებს შემობრუნებას A წერტილის გარშემო. ცხადია, c წრფე არასოდეს არ შეუთავსდება b წრფეს, ვინაიდან b არა კვეთს a-ს. მაგრამ როდესაც C მარჯვნივ უსაზღვროდ მიდის, მაშინ c წრფე ბრუნავს ერთი და იგივე მიმართულებით და იგი უსაზღვროდ უახლოვდება გარკვეულ ზღვრულ წრფეს. ახლა ვიკითხოთ, იქნება თუ არა b ის ზღვრული წრფე, რომელსაც უსაზღვროდ უახლოვდება c წრფე? ან, შეიძლება c წრფე უახლოვდება b-სგან განსხვავებულ b' წრფეს, ისე რომ c წრფე შემობრუნებისას ვერ შევა α კუთხის შიგნით. შესაძლოა ეს ვარაუდიც უკუვაგდოთ.

მაგრამ კიდევ მოვიფიქროთ. A წერტილიდან გავავლოთ d სხივი, რომელიც AB წრფესთან ადგენს $\varphi < 90°$ კუთხეს. თუ φ კუთხე მცირეა, მაშინ a და d ერთმანეთს ნახაზზე გადაკვეთენ. მაგრამ თუ გავადიდებთ φ კუთხეს (ნახ. 7), a და d



ნახ. 7.

წრფეები ერთმანეთს გადაკვეთენ ნახაზის გარეთ. კვლავ თუ გავადიდებთ φ კუთხეს, მაშინ d გადაკვეთს a-ს უფრო შორს, ვთქვათ, რამდენიმე ასეული მეტრის მანძილზე. ცხადია, ამაში პრაქტიკულად დარწმუნება ფრიად ძნელი, თითქმის დაუჯერებელია, მაგრამ პრინციპულად შესაძლებელია.

კიდევ გავადიდოთ φ კუთხე, ისე რომ 90°-ისაგან განსხვავდებოდეს, მაგალითად, გრადუსის ერთი მემილიონედი ნაწილით. რა შეიძლება ვთქვათ ამ შემთხვევაში a და d წრფეთა გადაკვეთის შესახებ? კვლავ გავაგრძელოთ ისინი წარმოდგენაში. აქვს თუ არა აზრი ასეთ წარმოდგენით ექსპერიმენტს? აღნიშნული გაგრძელებით ხომ წრფეები ღებულობენ ისეთ მდებარეობას, რომლის დანახვა არ შეიძლება ყველაზე მძლავრი ტელესკოპითაც კი.

შეგახსენებთ, რომ ახლანდელი გეომეტრიის აქსიომებმა უნდა ასახონ სინათლის სხივების თვისებები და ამიტომ არა ერთგზის უნდა შემოწმდნენ ცდებით.

ჩვენი ვარაუდი, რომ a და d სხივები გადაიკვეთება, მართლაც დიდ პრაქტიკულ გამოცდილებას ემყარება. მაშინაც კი, როდესაც ვამბობთ, რომ a და d სხივები გადაიკვეთებიან ძალიან შორს (მაგალითად 100 მლნ კმ მანძილზე), ჩვენ მხედველობაში გვაქვს დიდ ასტრონომიულ დაკვირვებათა შედეგები.

ვარაუდი იმისა, რომ a და d სხივები იკვეთებიან უმძლავრესი ტელესკოპის ხედვის ზღვარს იქით, წმინდა ფანტაზიაა. ჯერჯერობით გაუგებარია, როგორ მოიქცევიან იქ სინათლის სხივები და უკვე არ შეგვიძლია დავეყრდნოთ ექსპერიმენტს.

ჩვენ შევთანხმდით, რომ სინათლის სხივი წრფეობის ეტალონია. იმისათვის, რომ რაიმე დავასკვნათ a და d წრფეების ქცევის შესახებ, უნდა ვიცოდეთ სინათლის სხივების თვისებები.

მაშასადამე, საკითხი — შეიძლება თუ არა A წერტილზე a წრფის პარალელური b და b' წრფეების გავლება — დამოკიდებულია სინათლის სხივების თვისებებზე. ცხადია, თუ φ კუთხე ახლოსაა 90°-თან, იმის ექსპერიმენტულად შემოწმება, გადაიკვეთებაიან თუ არა a და d სხივები, შეუძლებელია.

უნდა ითქვას, რომ საკითხი — შეიძლება თუ არა A წერტილიდან გავავლოთ მხოლოდ ერთი წრფე, რომელიც a წრფეს არ გადაკვეთს, — არც

ისე იოლი გადასაწყვეტია. კატეგორიულად აქ არაფრის თქმა არ შეიძლება.

რა თქმა უნდა, თუ რომელიმე დებულება ნაკლებ ცხადია, ეს კიდევ არ ნიშნავს, რომ ის სამართლიანი არაა. მაგალითად, პითაგორეს თეორემა არც თუ ისე ცხადია: არ შეიძლება მაშინვე დაეთანხმოთ იმას, რომ ნებისმიერი მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზაზე აგებული კვადრატის ფართობი ტოლია მის კათეტებზე აგებულ კვადრატთა ფართობების ჯამისა. იმისათვის, რომ დავრწმუნდეთ, სამართლიანია თუ არა აღნიშნული თეორემა ყოველი მართკუთხა სამკუთხედისათვის, საჭიროა მისი დამტკიცება. ეს დამტკიცება კი იგივე აქსიომებს ემყარება.

შეიძლება თუ არა დანარჩენი აქსიომებიდან დამტკიცდეს შემდეგი დებულება:

(A) წრფის გარეთ მდებარე წერტილზე ამ წრფისადმი ერთზე მეტი პარალელური წრფის გავლება შეუძლებელია.

შესაძლოა ეს საკითხი ჯერ კიდევ ევკლიდეს მიერ იყო დასმული, პასუხი კი მასზე ევკლიდესთან არ ჩანს. მაგრამ ვინაიდან ამ დებულებით სარგებლობდნენ სხვა თეორემების დამტკიცებისას, საჭირო გახდა **(A)** დებულება მიეღოთ აქსიომად[1]. სასკოლო გეომეტრიის სახელმძღვანელოში **(A)** დებულებას პარალელურობის აქსიომას უწოდებენ. ამგვარად, ღებულობენ ახალ აქსიომას, მიუხედავად იმისა, რომ მისი მართებულობა საეჭვოა სინათლის სხივების მიმართ.

არის თუ არა სამკუთხედის კუთხეების ჯამი 180°-ის ტოლი

ჯერჯერობით ნუ შევეხებით საკითხს — შევიტანოთ თუ არა **(A)** აქსიომა გეომეტრიის აქსიომათა სისტემაში. გავიხსენოთ მხოლოდ, რომ სასკოლო სახელმძღვანელოში **(A)** აქსიომის საშუალებით მტკიცდება თეორემა:

(B) ნებისმიერი სამკუთხედის შიგა კუთხეების ჯამი უდრის 180°.

შედარებით უფრო ძნელად მტკიცდება შებრუნებული თეორემა:

თუ არსებობს თუნდაც ერთი ისეთი სამკუთხედი, რომლის შიგა კუთხეების ჯამია 180°, მაშინ სამართლიანია პარალელურობის აქსიომაც, ე. ი. წრფის გარეთ მდებარე A წერტილზე ამ წრფისადმი ერთზე მეტი პარალელური წრფის გავლება შეუძლებელია.

ამგვარად, პარალელურობის აქსიომიდან გამომდინარეობს, რომ ნებისმიერი სამკუთხედის შიგა კუთხეების ჯამია 180°; პირიქით, თუ რაიმე სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი 180°-ის ტოლია, მაშინ სამართლიანია **(A)** აქსიომა.

მაშასადამე, ევკლიდეს გეომეტრიის აქსიომათა სისტემიდან შეგვიძლია ამოვიღოთ პარალელურობის აქსიომა და მის მაგივრად აქსიომათა სისტემაში შევიტანოთ **(B)** დებულება. ამასთან ევკლიდეს გეომეტრიაში ყველა დანარჩენი თეორემა უცვლელად დარჩება.

თუ **(A)** დებულებას აქსიომად მივიჩნევთ, მაშინ მივიღებთ ისეთ გეომეტრიას, რომელშიც ნებისმიერი სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი 180°-ის ტოლია. და თუ **(A)** დებულების საწინააღმდეგო დებულებას აქსიომად მივიჩნევთ, მაშინ ვღებულობთ ისეთ გეომეტრიას, რომელშიც სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი 180°-ისგან განსხვავდება. როგორ მოვიქცეთ? მივიღოთ თუ არა **(A)** დებულება აქსიომად?

იმის გამო, რომ **(A)** აქსიომის ექსპერიმენტული შემოწმება ძალიან ძნელია, იბადება კითხვა: იქნებ უფრო ადვილია სათანადო ექსპერიმენტებით **(B)** დებულების შემოწმება?

ვთქვათ, რომელიმე ადგილას მიმდინარეობს გეოდეზიური დაკვირვებანი (ნახ. 4). დავუშვათ, რომ შტატივის B წერტილზე დამაგრებულია ბურთულა, რომელსაც გეოდეზისტი ჩვეულებრივი თეოდოლიტით უმზერს A წერტილიდან.

რა სიდიდისა უნდა იყოს B წერტილზე დაკიდებული ბურთულა? ბურთულა იმოდენა უნდა იყოს, რომ იგი თეოდოლიტის ოკულარის ცენტრში აისახოს. თუ ბურთულას გამოსახულება იმდენად დიდია, რომ ოკულარის ცენტრს ფარავს, ბურთულა უნდა შემცირდეს იმისათვის, რომ დაკვირვება უფრო ზუსტი აღმოჩნდეს. სასურველი სიდიდის ბურთულას შერჩევის შემდეგ გეოდეზისტისათვის A და B უკვე AB მონაკვეთის ბოლო წერტილებია.

[1] ევკლიდემ ამის მაგიერ აქსიომად მიიღო სხვა დებულება, რომელიც **(A)** დებულების ტოლძალოვანია.

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ შტატივზე დასამზერ C წერტილზე დამაგრებულია სათანადო ზომის ბურთულა. თუ გეოდეზისტი თეოდოლიტით თანმიმდევრულად დააკვირდება B და C ბურთულებს, იპოვის α კუთხეს, რომელიც ტოლი იქნება თეოდოლიტის ლიმბაზე ათვლის სხვაობისა.

როგორც უკვე ვთქვით, გეომეტრიაში განიხილება აბსტრაქტული ცნებები: წერტილები, წრფეები, სამკუთხედები და ა. შ. ამიტომ, როცა გეოდეზისტი სრულიად კონკრეტულ ფიზიკურ ექსპერიმენტს ატარებს ბურთულებსა და სინათლის სხივთა კონებზე, განიხილავს ა ბ ს ტ რ ა ქ ტ უ ლ გეომეტრიულ ABC სამკუთხედს და A წვეროსთან შექმნილი კუთხის სიდიდედ მიიჩნევს α კუთხეს, რომელიც მიიღება თეოდოლიტის ლიმბაზე ათვლათა სხვაობით.

ცხადია, α სიდიდე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად კარგად და სრულყოფილად მოვიხმაროთ თეოდოლიტს. ამიტომაც სხვადასხვა გამზომი ხელსაწყოების გამოყენებისას გეოდეზისტმა ყოველთვის უნდა შეისწავლოს სხვა აბსტრაქტული ABC სამკუთხედი.

ვთქვათ, თეოდოლიტი ისეთი კონსტრუქციისაა, რომ ლიმბაზე ვერ გამოსახავს $10'$-ზე ნაკლებ ჩვენებას. ასეთ შემთხვევაში იტყვიან, რომ ათვლა დასამზერი B ბურთულისათვის შესრულებულია $10'$-ის სიზუსტით. იგივე ითქმის C ბურთულისათვისაც.

ათვლების სხვაობის პოვნის შემდეგ გეოდეზისტი ფიქრობს, რომ სხვა უფრო ზუსტი თეოდოლიტის დახმარებით მას შეეძლო მიეღო სხვა სხვაობა, მაგრამ ეს განსხვავება არ აღემატება $20'$.

ამრიგად α კუთხის ტოლი A კუთხის მქონე ABC აბსტრაქტული სამკუთხედის განხილვისას გეოდეზისტს მართებულად მიაჩნია, რომ უფრო ზუსტი ხელსაწყოების გამოყენებით მას შეეძლო α კუთხისათვის სხვა სიდიდე მიეღო, რომელიც იქნებოდა დაახლოებით $\alpha - 20'$ და $\alpha + 20'$ ფარგლებში.

ანალოგიური გზით მივიღებთ B და C კუთხეებისათვის შესაბამისად β და γ სიდიდეებს და ვიპოვით $\sigma = \alpha + \beta + \gamma$ ჯამს.

იბადება კითხვა: არის თუ არა ეს ჯამი 180°-ის ტოლი? საზოგადოდ, ვამბობთ, რომ არა. ცხადია, ასეთი დამთხვევა ნაკლებ სავარაუდოა. პირველ ყოვლისა, შევნიშნავთ, რომ თეოდოლიტით თითოეული დამზერა სრულდება $10'$ სიზუსტით. σ-ს განსაზღვრისათვის თეოდოლიტით რამდენჯერმე ვაწარმოეთ დამზერა. თუ ახლა დასამზერად უფრო ზუსტ ხელსაწყოს გამოვიყენებთ, მივიღებთ განსხვავებულ ჯამს, რომელიც მოთავსებული იქნება $\sigma - 1^\circ$ და $\sigma + 1^\circ$ შორის.

ამგვარად, თუ აბსტრაქტული სამკუთხედის კუთხეთა ჯამად მივიჩნევთ გაზომვით მიღებულ კუთხეთა σ ჯამს, მაშინ ეს სიდიდე დამოკიდებული იქნება ჩატარებული გაზომვის სიზუსტეზე (მოცემულ შემთხვევაში გამოყენებული თეოდოლიტის სიზუსტეზე). გეოდეზისტი ამ შემთხვევაში აბსტრაქტულ სამკუთხედს მიიჩნევს სწორად, თუ მისი კუთხეთა ჯამი განსხვავდება გაზომვით მიღებულ σ სიდიდისაგან არაუმეტეს 1°-ით.

ამიტომ, ბუნებრივია, წამოიჭრას სხვა კითხვა: რამდენით განსხვავდება გაზომვით მიღებული σ კუთხეთა ჯამი 180°-ისაგან? აჭარბებს თუ არა ეს განსხვავება 1°-ს? მოთავსებულია თუ არა სხვაობა 180°-ისა და σ სიდიდისა გამოყენებული ხელსაწყოს სიზუსტის საზღვრებს შორის? სხვანაირად, შეიძლება თუ არა, გეოდეზისტმა ამ შემთხვევაში აბსტრაქტული სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი 180°-ად მიიღოს?

გავაანალიზოთ გაზომვის შესაძლო შედეგები. აქ გვექნება ორი შესაძლებლობა.

შ ე ს ა ძ ლ ე ბ ლ ო ბ ა პ ი რ ვ ე ლ ი: გაზომვის შედეგად მიღებული $\sigma = \alpha + \beta + \gamma$ სიდიდის სხვაობა 180°-თან აჭარბებს ჩატარებული გაზომვის სიზუსტეს (მოცემულ შემთხვევაში 1°-ს). ამ შემთხვევაში გეოდეზისტმა ასე უნდა იმსჯელოს: თუ მივიღებთ **(A)** აქსიომას, ჩვენს გეომეტრიაში ყველა სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი 180°-ის ტოლი იქნება. ჩატარებული ცდა კი გვიჩვენებს, რომ გაზომვით მიღებული სიზუსტე არ ეთანხმება ამგვარ დასკვნას. ეს იმას ნიშნავს, რომ გეოდეზისტისათვის ასეთი გეომეტრია არ არის სრულყოფილი და სავსებით გამოსადეგი, მის დასკვნებს ვერ გამოიყენებს პრაქტიკულად. თუ გეოდეზისტისათვის ცნობილი იქნება AC სიგრძე, α და γ კუთხეები, მაინც ვერ შეძლებს AB სიგრძის ისეთი სიზუსტით განსაზღვრას, როგორც ეს ზემოთ იყო აღწერილი, ვინაიდან პითაგორეს თეორემა და სამკუთხედთა მსგავსების ნიშნები შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში იყოს სამართლიანი, თუ სამკუთხედის

კუთხეთა ჯამი უდრის 180°. ამიტომ, გეოდეზისტმა პრაქტიკული მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად ისეთი გეომეტრია უნდა ააგოს, რომელშიც (**A**) აქსიომა არ იქნება სამართლიანი, ანუ, რომელშიც სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი არ იქნება 180°-ის ტოლი.

შ ე ს ა ძ ლ ე ბ ლ ო ბ ა მ ე ო რ ე: გაზომვების შედეგად მიღებული $\sigma = \alpha + \beta + \gamma$ ჯამისა და 180°-ის სხვაობა არ აჭარბებს გაზომვის სასურველ სიზუსტეს, ე. ი. ჩვენს შემთხვევაში 1°-ს.

ასეთ შემთხვევაში გეოდეზისტის პრაქტიკულ მოთხოვნილებას დააკმაყოფილებს ისეთი გეომეტრია, რომელშიც სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამია 180°. ის ვერ აუვლის გვერდს (**A**) აქსიომას, მისთვის საჭიროა ამ აქსიომის ეკვივალენტური (**B**) დებულება. ჩვეულებრივი ევკლიდური „სასკოლო“ გეომეტრია მისთვის ფრიად სასარგებლოა. ამ გეომეტრიის შედეგები გეოდეზისტს დიდად მოეხმარება პრაქტიკულ საქმიანობაში, ვინაიდან აღნიშნული შედეგები ეთანხმება მის მიერ წარმოდგენილი გაზომვების სიზუსტეებს.

მაგრამ იმის აღნიშვნაც აუცილებელია, რომ გეოდეზისტი ყოველთვის ვერ დარჩება მწყრალად იმ გეომეტრიის მიმართ, რომელშიც (**A**) აქსიომა არაა სამართლიანი, ანუ რომელშიც სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი არ უდრის 180°-ს. მაშასადამე, არაა გამორიცხული, რომ მისთვის ასეთი გეომეტრიაც სასარგებლო იქნება შემდეგში. თუ გეოდეზისტის ყველა გაზომვა გარკვეულ დრომდე კარგად უთავსდება იმ გეომეტრიას, რომელშიც სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამია 180°, შეიძლება შემდეგში, მაგალითად, ხელსაწყოების სიზუსტის გაზრდისას ან გადიდებულ გვერდებიანი, ე. ი. კოსმოსური სამკუთხედების გაზომვისას, ადვილად შეინიშნოს, რომ „ჩვეულებრივი“ გეომეტრია სამყაროს ვეღარ აღწერს საკმარისი სიზუსტით. აქ სულ სხვა გეომეტრია დაგვჭირდება.

მაშასადამე, გასარკვევია მხოლოდ ის, რომელი გეომეტრია უფრო ზუსტად ასახავს სინათლის სხივთა სამყაროს, რეალური სამყაროს რომელი წარმოსახვითი ტვიფარია უფრო ზუსტი.

შესანიშნავმა მათემატიკოსმა ნ. ლობაჩევსკიმ, რომელიც კარგად იცნობდა ზემოთ გამოთქმულ აზრებს, ჯერ კიდევ XIX საუკუნის პირველ ნახევარში იმ დროს არსებული ასტრონომიული საშუალებებით გაზომა კოსმოსური სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი. მან სამკუთხედის წვეროებად აიღო ორი ყველაზე დაშორებული წერტილი დედამიწის ელიფსურ ორბიტზე და ერთიც ძალზე დაშორებული ვარსკვლავი. გაზომვის შედეგად მიიღო სიდიდე, რომელიც, როგორც მოსალოდნელი იყო, განსხვავდებოდა 180°-ისაგან. მაგრამ ეს განსხვავება არ გასცილებია გასაზომი ხელსაწყოების სიზუსტეს. ამრიგად, რომელი გეომეტრია უფრო ზუსტად ასახავს რეალურ სამყაროს, აღნიშნული დროისათვისაც გადაუჭრელი დარჩა. მაშასადამე, ჯერ კიდევ გაურკვეველი იყო, საჭირო იქნებოდა თუ არა სხვა გეომეტრია, რომელშიც არ იქნებოდა გამოყენებული (**A**) აქსიომა.

საჭიროა თუ არა სხვა გეომეტრიები

ზემოთ განმარტებული იყო ისეთი გეომეტრიის აგების ბუნებრიობა, რომელშიც სამკუთხედის შიგა კუთხეთა ჯამი 180° არ უდრის და, მაშასადამე, (**A**) მტკიცება არ შეიძლება გვქონდეს.

ნ. ლობაჩევსკიმ 1826 წ. პირველმა ააგო და განავითარა ასეთი გეომეტრია. ლობაჩევსკის გეომეტრია აგებულია იმავე აქსიომებზე, რაზეც ევკლიდეს გეომეტრია. გამონაკლისს შეადგენს პარალელურობის აქსიომა, რომელიც შეცვლილია საწინააღმდეგო დებულებით — ლობაჩევსკის აქსიომით:

წ რ ფ ი ს გ ა რ ე თ მ დ ე ბ ა რ ე წ ე რ ტ ი ლ ზ ე ა მ წ რ ფ ი ს ა დ ა წ ე რ ტ ი ლ ი ს მ ი ე რ გ ა ნ ს ა ზ ღ ვ რ ულ ს ი ბ რ ტ ყ ე ში შ ე ი ძ ლ ე ბ ა გ ა ვ ა ვ ლ ო თ ო რ ი წ რ ფ ე მ ა ი ნ ც, რ ო მ ე ლ ნ ი ც მ ო ც ე მ ულ წ რ ფ ეს ა რ გ ა დ ა კ ვ ე თ ე ნ.

ჩვენ დავინახეთ, რომ საკითხი იმის შესახებ, თუ რომელი, ევკლიდეს თუ ლობაჩევსკის, გეომეტრია აღწერს სინათლის სხივთა სამყაროს, არც ისე ადვილია, თუმცა ლობაჩევსკის აქსიომა ერთი შეხედვით პარადოქსად გვეჩვენება. ლობაჩევსკის დიდი დამსახურება სწორედ ის არის, რომ მან ეს საკითხი დასვა.

შემდგომ აგებული იყო მრავალი სხვა გეომეტრია — რეალური სამყაროს ბევრი სხვა წარმოდგენითი ტვიფარი. საკითხი იმის შესახებ — ნამდვილად დაგვჭირდება თუ არა ამ გეომეტრიებიდან რომე-

ლიმე მათგანი სინათლის სხივების რეალური სამყაროს შესასწავლად, ფაქტიურად გადაუწყვეტელი რჩებოდა 1916 წლამდე, ვიდრე უდიდესმა ფიზიკოსმა ა. აინშტაინმა არ შექმნა ე. წ. ფარდობითობის ზოგადი თეორია.

ერთი საყოველთაოდ ცნობილი ანეკდოტის მიხედვით ნიუტონმა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ვაშლის ვარდნაზე დაკვირვების დროს აღმოაჩინა. მაგრამ რამდენად სწორად ასახავს ნიუტონის კანონი საგანთა რეალურ მდგომარეობას? არის თუ არა შესაძლებელი ზუსტი ხელსაწყოებით შევნიშნოთ, რომ სხეულთა მიზიდულობა შეიძლება (თუნდაც უმნიშვნელოდ) არ ეთანხმებოდეს ნიუტონის კანონს? აქ შეიძლება დაისვას იგივე საკითხები, რომლებსაც ვიხილავდით პარალელურობის შესახებ ევკლიდური აქსიომის გარჩევისას.

საქმე ისაა, რომ ნიუტონის კანონებიც რეალური სამყაროს გარკვეული აბსტრაქტული წარმოდგენითი ტვიფარია. ეს თითქოს ფიზიკური ტვიფარია, მაშინ, როდესაც ევკლიდური აქსიომატიკა გეომეტრიულ ტვიფარს წარმოადგენს.

ამის მსგავსად ელექტრული ურთიერთქმედების კანონები (მაგალითად, კულონის კანონი) რეალური სამყაროს ერთგვარ ფიზიკურ ტვიფარს წარმოადგენს.

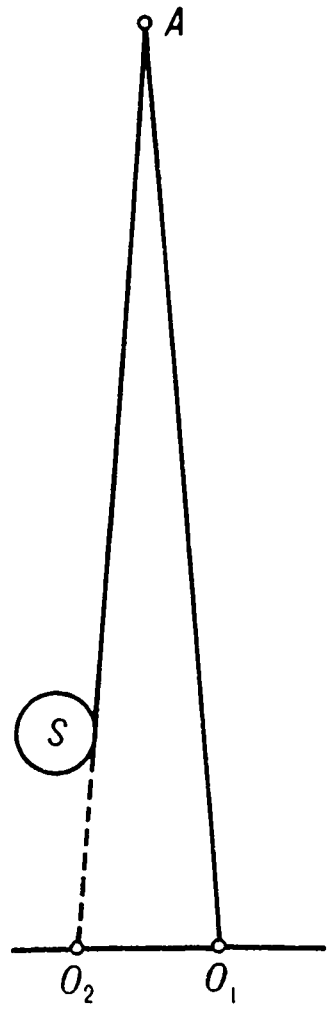
ფარდობითობის თეორიის შექმნამდე მიაჩნდათ, რომ რეალური სამყარო არის უსასრულოდ ცარიელი „ევკლიდური ოთახი“, რომელშიც თითქოს ავეჯივითაა განლაგებული ურთიერთმოქმედი რეალური საგნები. ეჭვს არ იწვევდა ის, რომ ამ „ევკლიდური ოთახის“ თვისებები არაფრით არ იყო დაკავშირებული მასში განლაგებული ავეჯის გადაადგილებასა და ურთიერთმოქმედებასთან.

ამ სიცარიელეში მატერიის გადაადგილებისა და ურთიერთქმედების კანონები კი აისახებოდა ფიზიკურ თეორია-ტვიფარებზე. თუმცა ფიქრობდნენ, რომ ეს თეორიები შეიძლება ყალიბდებოდეს დამოუკიდებლად იმისა, როგორ იყო გაკეთებული ტვიფარი. ამას გარდა, ნიუტონის ტვიფარი, ევკლიდეს გეომეტრიული ტვიფარის მსგავსად, ფრიად სრულყოფილად და ზუსტად მიაჩნდათ.

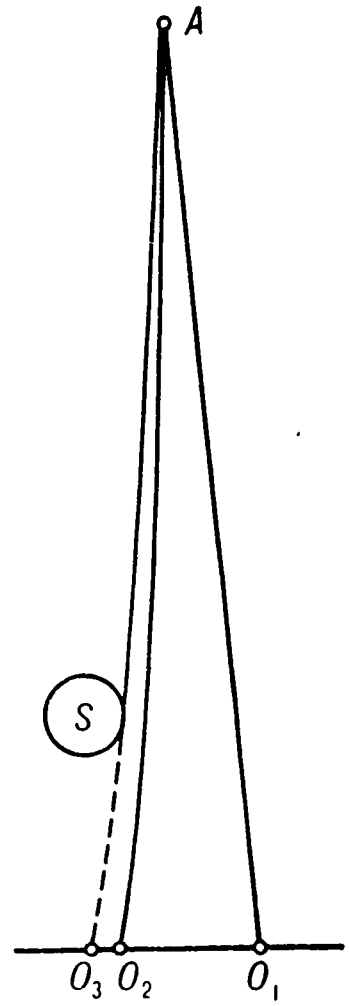
მაგრამ ცდებმა გვიჩვენეს, რომ ცნობილი ფიზიკური თეორიები ისევე არასრულყოფილია, როგორც ევკლიდური გეომეტრია.

ეს საკითხი რომ გავაშუქოთ, მოგითხრობთ ერთ-ერთ ექსპერიმენტზე, რომელიც არა ერთხელ გაიმეორეს ასტრონომებმა და კარგად დაემთხვა ფარდობითობის თეორიაში წინასწარ მიღებულ შედეგებს.

წარმოვიდგინოთ დამკვირვებელი, რომელიც გარკვეულ მომენტში O_1 წერტილში დგას (ნახ. 8), ხედავს A ვარსკვლავს და იქვე მახლობლად S მზეს [1]. ცდა ტარდება დროის უმცირეს მონაკვეთში, ისე რომ ვარსკვლავი და მზე შეიძლება მივიჩნიოთ უმოძრაოდ, ხოლო დედამიწის ტრაექტორია — წრფივად. თუ დედამიწა თავის ორბიტზე გარკვეული სიჩქარით მოძრაობს O_1-დან O_2-ს მიმართულებით, მაშინ ევკლიდური გეომეტრიის თეორემათა გამოყენებით ადვილად განვსაზღვრავთ. რა მომენტში დაფარავს მზე დამკვირვებლისაგან A ვარსკვლავს. ეს მოხდება მაშინ, როცა დედამიწა O_2 წერტილში გადაადგილდება (ნახ. 8).



ნახ. 8.



ნახ. 9.

მაგრამ ცდა გვიჩვენებს, რომ სინამდვილეში მზე ვარსკვლავს რამდენადმე მოგვიანებით დაფა-

[1] შევნიშნავთ, რომ მსგავსი ცდები ტარდება მზის სრული დაბნელების დროს, როცა მზეს მთლიანად ფარავს დამკვირვებლისაგან მთვარის დისკო.

რავს; ამ დაგვიანების სიდიდე კარგად ეთანხმება ფარდობითობის თეორიის წინასწარმეტყველებას.

როგორ ავხსნათ ეს მოვლენა? აღმოჩნდა, რომ მიზიდულობის მძლავრი ველი, რომელსაც მზე წარმოქმნის, აიძულებს მზის მახლობლად გამავალ სინათლის სხივებს მოიქცნენ არა ისე, როგორც ამას ევკლიდური გეომეტრია მოითხოვს. სახელდობრ, სხივები თითქოს გამრუდებულია და ვღებულობთ სურათს, რომელიც სქემატურად გამოსახულია მე-9 ნახაზზე.

O_2 წერტილში მყოფი დამკვირვებელი ხედავს ვარსკვლავს. მზე მხოლოდ მაშინ დაფარავს A ვარსკვლავს, როცა დამკვირვებელი O_3 წერტილში გადაინაცვლებს.

ეს გადახრა შეიძლება ერთგვარად ავხსნათ, თუ კვლავ ევკლიდური გეომეტრიისა და ნიუტონის მიზიდულობის თეორიას დავეყრდნობით. სწორედ მაშინ, როცა ვიცით მზისა და მოძრავი ფოტონის (სინათლის კვანტის) მასა, მიზიდულობის ნიუტონის კანონის საფუძველზე შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ევკლიდური წრფისაგან ფოტონის გადახრა. მაგრამ ცდა გვიჩვენებს, რომ ეს გადახრა დაახლოებით ორჯერ მეტია იმ გადახრაზე, რომელიც ზემოთ მოყვანილი ხერხით არის გამოთვლილი.

ამ შემთხვევაში უნდა ვივარაუდოთ, რომ ევკლიდური გეომეტრია ან ნიუტონის მიზიდულობის კანონი (ან ორივე) არ არის სამყაროს ზუსტი ტვიფარი, ვინაიდან მათი დახმარებით ვერ ვხსნით ბუნების მოვლენებს. სწორედ ფარდობითობის ზოგადმა თეორიამ მოგვცა ახალი, უფრო ზუსტი ტვიფარი. ამ თეორიის თანახმად სულ არ არის აუცილებელი სინათლის სხივების მოქმედება ზუსტად მისდევდეს ევკლიდური გეომეტრიის კანონებს. სინათლის სხივების მოქმედების აღსაწერად საჭირო გეომეტრია რეალურ სამყაროში მატერიის განაწილებითა და მდგომარეობით განისაზღვრება. მასის ყოველგვარი გადაადგილება და ნივთიერებათა ენერგიის ცვლილება იწვევს მთელი ფიზიკური სივრცის სტრუქტურის ცვლილებას, და მაშასადამე, აუცილებელს ხდის უფრო ხელსაყრელი, არაევკლიდური გეომეტრიული ტვიფრის შერჩევას.

ვერ ვიტყვით, რომ სინათლის სხივები მზის მახლობლად (ნახ. 9) წრფეები არ არიან, რომ ისინი გამრუდებულია. ისინი, ისევე როგორც მზისგან ცოტა მოშორებით გამავალი სხივები, იდეალური წრფეებია, მაგრამ ამ წრფეების ქცევა უნდა იქნეს აღწერილი არა ევკლიდეს აქსიომათა სისტემით და არა ევკლიდური გეომეტრიით, არამედ სხვა გეომეტრიით.

რადგან მატერიის განაწილება და მდგომარეობა რეალურ სამყაროში დროში იცვლება, ამიტომ გეომეტრიაც, რომელიც ჩვენს რეალურ სივრცეს საკმაო სიზუსტით აღწერს, არ რჩება უცვლელი, იგი იცვლება დროსთან შეფარდებით. მაშასადამე, გეომეტრიის აქსიომათა ჩამოყალიბებაში უნდა მონაწილეობდეს დრო. აქედან გამომდინარე, სივრცისა და დროის ცნებები განუყოფელია.

აინშტაინის ფარდობითობის თეორიამ გააერთიანა რეალური სამყაროს ფიზიკური და გეომეტრიული თვისებების შესწავლა. მან თითქმის მოგვცა ჩვენი სამყაროს ერთიანი ფიზიკურ-გეომეტრიული ტვიფარი.

აღმოჩნდა, რომ სამყარო შეუძლებელია განვიხილოთ, როგორც მატერიით შევსებული ცარიელი ევკლიდური სივრცე. მიზიდულობის ველის და ნივთიერებათა ენერგიის ცვლილება იწვევს მთელი ფიზიკური სივრცის სტრუქტურის ცვლილებას, და, მაშასადამე, აუცილებელს ხდის უფრო გამოსადეგი გეომეტრიული ტვიფარის შერჩევას.

აინშტაინის თეორიის თანახმად ასეთი გეომეტრიის შერჩევა დამოკიდებულია რეალურ სამყაროში მატერიის განაწილებასა და მდგომარეობაზე.

რით განსხვავდება ერთმანეთისგან სხვადასხვა გეომეტრიები

იმისათვის, რომ თითოეული შემთხვევისათვის შესაფერისი გეომეტრია შეირჩეს, მიზანშეწონილია წინასწარ გვქონდეს ამ წარმოსადგენი ტვიფრების მთელი წყება. ამჟამად მათემატიკოსების მიერ დამუშავებულია ამგვარი უამრავი გეომეტრიის აგების ხერხები.

სხვადასხვა გეომეტრიულ სივრცეებს, ე. ი. სხვადასხვა წარმოდგენით გეომეტრიულ ტვიფრებს ერთმანეთისგან იმით განასხვავებენ, თუ რამდენად განსხვავებულია ისინი ევკლიდური გეომეტრიისაგან. თვით ამ განსხვავებას ს ი მ რ უ დ ე ეწოდება. გეომეტრიული სივრცის სიმრუდე განისაზღვრება გარკვეული რიცხვებით, რომლებიც ახასიათებენ ამა თუ იმ გეომეტრიის ევკლიდურისაგან განსხვავების სიდიდეს. ყოველი „მრუდე“ გეომეტრია არ-

სებითად ემყარება რამდენიმე აქსიომას. ასეთი გეომეტრიულ აქსიომათა ერთობლიობა განსხვავდება ევკლიდეს აქსიომათა სისტემისაგან. არსებობს ერთი საინტერესო და მარტივი ნიშანი, რომლითაც შეიძლება სხვა გეომეტრია განვასხვავოთ ევკლიდურისაგან ყველა აქსიომის ჩამოუთვლელად. ეს არის სწორედ თეორემა სამკუთხედის კუთხეთა ჯამის შესახებ. ევკლიდურ გეომეტრიაში ის ყოველთვის 180° უდრის. სხვა გეომეტრიებში ეს ჯამი შეიძლება იყოს მეტი ან ნაკლები იმის მიხედვით, რა სიდიდისაა და რა მდგომარეობა უჭირავს სამკუთხედს სივრცეში.

თუ სამკუთხედის კუთხეთა ჯამს აღვნიშნავთ σ ასოთი, მაშინ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ სიმრუდის სიდიდე ხასიათდება $\sigma - 180°$ სიდიდისა და სამკუთხედის ფართობის ფარდობით. $\sigma - 180°$ სიდიდეს სხვადასხვა გეომეტრიებში შეიძლება ჰქონდეს პლუსი ან მინუსი ნიშანი. ამის მიხედვით ამბობენ, რომ სივრცეებს აქვს დადებითი ან უარყოფითი სიმრუდე.

ევკლიდურ გეომეტრიაში $\sigma - 180° = 0$; ამიტომ ამბობენ, რომ ევკლიდეს გეომეტრიულ სივრცეს აქვს ნულოვანი სიმრუდე.

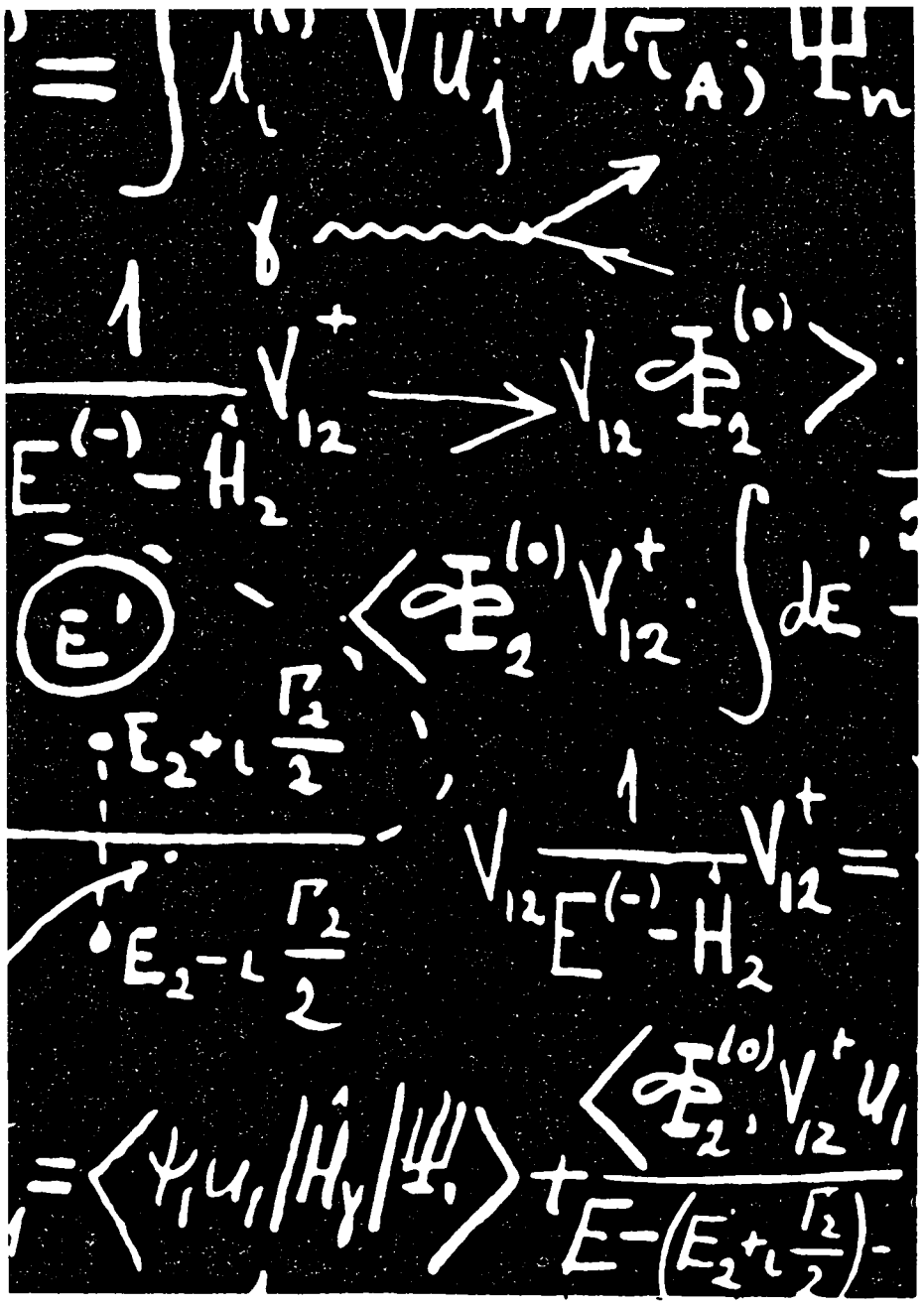
როგორც ზემოთ აღინიშნა, გაზომვის ტექნიკის განვითარებისა და რეალური სამყაროს შესწავლის სრულყოფისას ჩვენ უთუოდ მივდივართ ევკლიდური გეომეტრიისაგან განსხვავებული გეომეტრიის აგების აუცილებლობამდე. მაგრამ ევკლიდური გეომეტრია ამავე დროს პრაქტიკისა და სინჟინრო საქმის მთელ რიგ საკითხებში შესანიშნავ იარაღს წარმოადგენს. სასაცილო იქნებოდა ინჟინერი, რომლის აზრით, ორი ვერტიკალური წრფე პარალელური კი არ იქნებოდა, არამედ დედამიწის ცენტრში გადაიკვეთებოდა. კიდევ უფრო ნაკლები საფუძველი აქვს ინჟინერს იფიქროს, რომ აგებულ სამკუთხედში კუთხეთა ჯამი ორი მართი კუთხისაგან განსხვავდება.

ასეთ საკითხებში ევკლიდური გეომეტრია დიდი სიზუსტით ასახავს სინათლის სხივების რეალურ სამყაროს და არ არის შემთხვევითი, რომ სივრცის ოვისებათა შესწავლა ადამიანებმა სწორედ ევკლიდური გეომეტრიით დაიწყეს. ყოველივე ეს, რა თქმა უნდა, არ ამცირებს არაევკლიდური გეომეტრიების მნიშვნელობას. მათ ფართოდ იყენებენ თანამედროვე ფიზიკისა და მათემატიკის ურთულესი პრაქტიკული საკითხების გადაჭრისას.

პირველი არაევკლიდური გეომეტრია ლობაჩევსკიმ ააგო, მაგრამ ევკლიდური გეომეტრიის მარწუხებში მოქცეულმა უდიდესმა მათემატიკოსებმა, ლობაჩევსკის თანამედროვეებმა, ვერ გაიგეს, ვერ ჩასწვდნენ მის ახალ იდეებს. ლობაჩევსკის იდეები უფრო მოგვიანებით აღიარეს. ახლა მათ მტკიცედ მოიკიდეს ფეხი საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაში და კარგად იცნობს ყველა ფიზიკოსი და მათემატიკოსი.

გეომეტრიული ცნებები მჭიდროდ არის დაკავშირებული რეალურ სამყაროში მიმდინარე ფიზიკურ მოვლენებთან. ამასთან მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ გეომეტრია გამოიყენება არა მარტო სინათლის გავრცელებასთან დაკავშირებული მოვლენების შესწავლაში. შეიძლება განვიხილოთ რაიმე სხვა რეალური ობიექტები, რომლებსაც არავითარი კავშირი არა აქვთ სინათლის გავრცელებასთან. ზოგიერთი ამ ობიექტებიდან შეიძლება მივიღოთ წრფიობის ეტალონად, როგორც ამას სინათლის სხივთა კანონის შემთხვევაში ვაკეთებდით. თუ ამ ობიექტებს შევისწავლით, შეიძლება შევარჩიოთ აქსიომები და ავაგოთ შესაბამისი გეომეტრია.

შეიძლება, მაგალითად, წრფიობის ეტალონად მივიღოთ საკმაოდ მცირე ზომის იმ მყარ სხეულთა ტრაექტორიები, რომლებიც ინერციით მოძრაობენ, ე. ი. მათზე არ ახდენენ ზემოქმედებას გარეშე ძალები. ამგვარად მიღებული გეომეტრია (ისევე, როგორც სინათლის სხივთა შესასწავლად აგებული გეომეტრია) მხოლოდ პირველი შედარებისას დაემთხვევა ევკლიდურს.





განტოლებანი და ფუნქციები

როგორ სწავლობდნენ ძველად განტოლებათა ამოხსნას

დღემდეა შემონახული ეგვიპტელთა ორი შესანიშნავი წერილობითი მათემატიკური ძეგლი. თითოეული მათგანი ოთხი ათასი წლისაა. ერთი ინახება პუშკინის სახელობის მოსკოვის სახვითი ხელოვნების მუზეუმში და მოსკოვის პაპირუსი ჰქვია. ის შედგენილია დაახლოებით 1900 წ. ძვ. წ. მეორე ხელნაწერი უფრო დიდი მოცულობისაა, შედგენილია 200 წლით გვიან და ინახება ლონდონში. მისი სათაურია: „დარიგება, თუ როგორ შევისწავლოთ ყველა ბნელი (ძნელი) საგანი... როგორ ჩავწვდეთ იმ საიდუმლოებებს, რითაც მოცულია საგნები... დამწერმა აჰმესმა გადმოიღო იგი ძველი ხელნაწერებიდან...“ ეს არის 85 ამოცანის კრებული. თან ახლავს ამოცანათა ამოხსნები და ჰქვია „აჰმესის პაპირუსი“ (ზოგჯერ მას „რინდის პაპირუსსაც“ უწოდებენ ინგლისელი ეგვიპტოლოგის

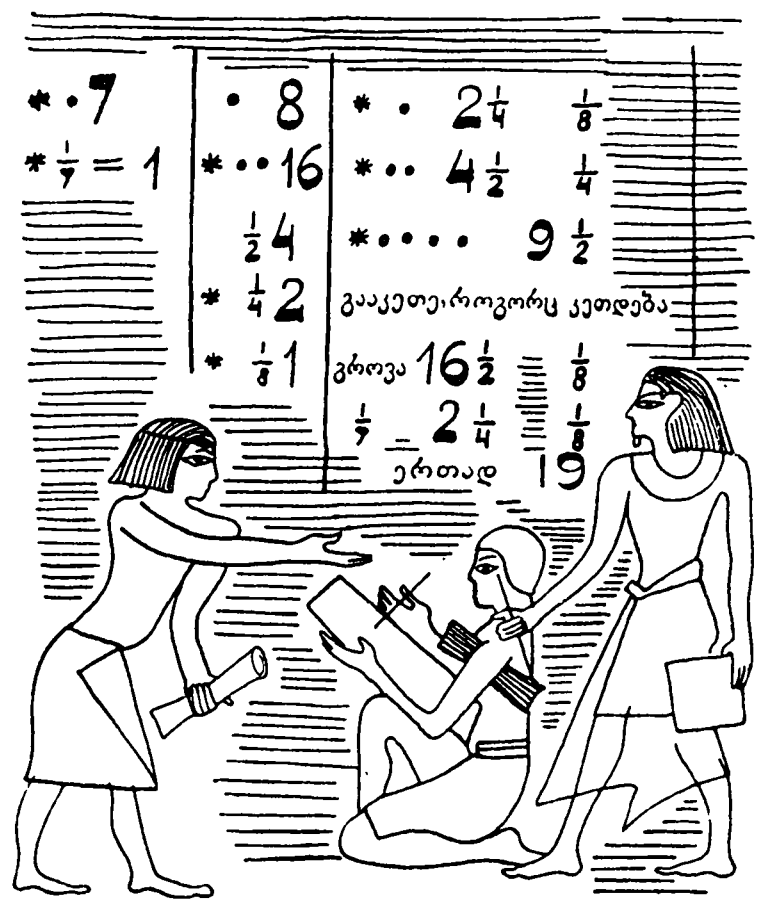
რინდის სახელის მიხედვით, რომელმაც ეს დოკუმენტი დაახლოებით ასი წლის წინ შეიძინა).

აჰმესის პაპირუსში ვხვდებით რიგ ამოცანებს, რომელთაც პირველი ხარისხის განტოლებათა მეშვეობით ვხსნით. ეგვიპტელი ავტორი მათ ხსნის ისეთი ხერხით, რომელსაც შემდეგში ათასეული წლების განმავლობაში მიმართავდნენ სხვადასხვა ხალხები მსგავსი ამოცანების ამოხსნისას, და ეწოდება ყალბი დაშვების მეთოდი. ეს არის დაშვების იგივე მეთოდი, რომელსაც დღესაც ვიყენებთ არითმეტიკის გაკვეთილებზე.

ეგვიპტელები ძვ. წ. 2000 წლის წინ უცნობის აღსანიშნავად ხმარობდნენ განსაკუთრებულ სიმბოლოს და სახელწოდებას. ეს სახელწოდება ასე გამოითქმება: „აჰა“ ან „ჰაუ“, რაც პირობითად ნიშნავს სიტყვას — „გროვა“. აი, ერთ-ერთი ამოცანა აჰმესის პაპირუსიდან:

„გროვა. მისი მეშვიდედი, მისი მთელი. შეადგენს 19“. ეს ნიშნავს: ვიპოვოთ რიცხვი, რომელიც მის მეშვიდედ ნაწილთან ერთად ჯამში გვაძლევს 19. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ამოსახსნელია განტოლება:

$$x + \frac{x}{7} = 19.$$



ნახ. 1.

1 ნახატზე ცხრილის სახით გამოსახულია ამოცანის ეგვიპტური ამოხსნა. ამოხსნის აზრი შემდეგია: ვთქვათ, „გროვა“ არის 7; მაშინ $\frac{1}{7}$ იქნება 1 (იხ. პირველი სვეტი). ვარსკვლავები აღნიშნავენ, რომ ეს რიცხვები გამოყენებულია ამოხსნის დროს.

ჩვენი ვარაუდის მიხედვით ამოსახსნელი განტოლების პირველი ნაწილი რვის ტოლია (7 + 1). ამიტომ მეორე სვეტში ჩასმულია რიცხვი 8, რომელიც ნაკლებია ამოცანის პირობაში მოცემულ რიცხვ 19-ზე. ავტორი მას ზეპირად აორკეცებს და ღებულობს 16-ს. შემდგომი გაორკეცება 32-ს იძლევა, რაც 19-ს აღემატება, ამიტომაც ვარსკვლავით აღინიშნება რიცხვი 16, როგორც ამონახსნში მონაწილე. აკლია კიდევ 19—16=3. ავტორს უნდა აიღოს $\frac{1}{2}$ 8-დან, ე. ი. 4. ნავარაუდევი რიცხვის ეს ნაწილი ამონახსნში ვერ შევა, რადგან საჭიროა მხოლოდ 3-ის დამატება. მაშინ ავტორი 8-დან იღებს $\frac{1}{4}$ და $\frac{1}{8}$ ნაწილს, ე. ი. 2-სა და 1-ს. მათ ვარსკვლავებით აღნიშნავს, როგორც 16-თან ერთად ჯამში 19-ის შემადგენელს.

ამრიგად, ავტორმა სქემის მეორე სვეტში აღნიშნა, რომ ამოცანის პირობის დასაკმაყოფილებლად „გროვისათვის“ თავდაპირველად ნავარაუდევი რიცხვი უნდა ავიღოთ $2 + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$-ჯერ, რომ დავაკმაყოფილოთ ამოცანის პირობა. ახლა 7 უნდა გავამრავლოთ $2 + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$-ზე (ეგვიპტელები ისევე, როგორც სხვა ხალხები, შეკრების ნიშანს „პლუსს“ არ ხმარობდნენ; ჩვენც შერეულ რიცხვებში ვწერთ $3\ \frac{1}{4}$ ნაცვლად $3+\frac{1}{4}$-ისა). ავტორი 7-ის $2\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{8}$-ზე გამრავლების მაგიერ $2\frac{1}{4}\ \frac{1}{8}$ ამრავლებს 7-ზე. ამისათვის მესამე სვეტში იგი წერს $2\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{8}$ რიცხვს, შემდეგ მის გაორკეცებულ (..) და გაოთხკეცებულ (....) მნიშვნელობებს. ეს სამი რიცხვი უნდა შევკრიბოთ და „გროვისათვის“ გვექ-

ნება 16 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{8}$ მნიშვნელობა. მას ემატება „გროვის“ $\frac{1}{7}$ ნაწილი, ე. ი. $2\frac{1}{4}\frac{1}{8}$, რის შედეგადაც ვღებულობთ 19-ს. ამოხსნის უკანასკნელი ნაწილი მისი შემოწმებაა და ბევრ ამოცანაში აღინიშნება სიტყვებით: „კარგი იქნება“.

ორი ყალბი დაშვების მეთოდი

შემდგომ სხვადასხვა ქვეყნებში შეიქმნა ორი ყალბი დაშვების მეთოდი, რომელსაც XVIII საუკუნეშიც იყენებდნენ.

ხსენებული მეთოდი გამოყენებული აქვს რუს მათემატიკოსს ლ. მაგნიცკის თავის წიგნში „არითმეტიკა“, რომელიც რუსულ ენაზე პირველი სახელმძღვანელოა სასკოლო მათემატიკის ყველა ნაწილში (არითმეტიკა, ალგებრა, ნაწილობრივ გეომეტრია და ტრიგონომეტრია). მოგვყავს მაგნიცკის მიერ ორი ყალბი დაშვების მეთოდით ამოცანის ამოხსნის მაგალითი.

ა მ ო ც ა ნ ა. მოსწავლის მშობელმა ჰკითხა მასწავლებელს, რამდენ ბავშვს ასწავლიო. მასწავლებელმა უპასუხა: რომ ჰყოლოდა კიდევ ერთი იმდენი მოსწავლე, რამდენიც ახლა ჰყავს, კიდევ მისი ნახევარი, კიდევ მისი მეოთხედი და კიდევ შემკითხველის შვილი, მაშინ 100 მოსწავლე ეყოლებოდა.

ჩვენი ჩაწერის მიხედვით ამოცანა დაიყვანება

$$x + x + \frac{x}{2} + \frac{x}{4} + 1 = 100$$

განტოლების ამოხსნამდე.

მ ა გ ნ ი ც კ ი ს მ ი ხ ე დ ვ ი თ ა მ ო ხ ს ნ ა. პირველი დაშვება: ვთქვათ, 24 მოსწავლეა, მაშინ ამოცანის პირობის თანახმად გვექნებოდა: 24 + +24+12+6+1=67, რაც 100 — 67=33-ით ნაკლებია პირობის მოთხოვნაზე (პირველი გადახრა).

მეორე დაშვება: ვთქვათ, იყო 32 მოსწავლე. მაშინ 32 + 32 + 16 + 8 + 1=89, რაც 100—89= = 11-ით ნაკლებია მოთხოვნილზე (მეორე გადახრა). საუკუნეების განმავლობაში შემუშავებული წესის საფუძველზე მაგნიცკი იძლევა x უცნობის შოძებნის მზა ხერხს:

$$x = \frac{32 \cdot 33 - 24 \cdot 11}{33 - 11} = 36.$$

ეს ხერხი შემდეგში მდგომარეობს: „პირველი დაშვება გავამრავლოთ მეორე გადახრაზე და მეორე დაშვება — პირველ გადახრაზე, უდიდეს ნამრავლს გამოვაკლოთ უმცირესი და სხვაობა გავყოთ გადახრათა სხვაობაზე“.

ასევე უნდა მოვიქცეთ იმ შემთხვევაშიც, როდესაც ორივე დაშვებისას მივიღებთ მეტს, ვიდრე ამოცანაშია მოთხოვნილი. თუ ერთი დაშვებისას მივიღებთ მეტს, ხოლო მეორე დაშვებისას ნაკლებს, ვიდრე ამოცანის პირობაშია მოთხოვნილი, მაშინ x-ის გამოსათვლელ ფორმულაში „ — “ ნიშნის ნაცვლად უნდა ავიღოთ „ + “ ნიშანი. მაგალითად, ვთქვათ, პირველი დაშვება 60-ია, მაშინ 60+60+ +30+15 + 1 = 166, 166 — 100 = 66 (სიჭარბე). ვთქვათ, მეორე დაშვება 20-ია, მაშინ 20+20+10+ +5+1=56, 100 — 56=44 (ნაკლებობა). ამ შემთხვევაში:

$$x = \frac{60 \cdot 44 + 20 \cdot 66}{66 + 44} = 36.$$

უცნობი რიცხვის ცნების შემოღება

განტოლებათა მოძღვრების განვითარებაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა უცნობი რიცხვის ცნებისა და მისი აღმნიშვნელი სიმბოლოს შემოღებას. როგორც ვთქვით, მას ეგვიპტელები გამოსახავდნენ განსაკუთრებული სიმბოლოთი — „გროვით“. შესაბამისი აღნიშვნები ჰქონდათ აგრეთვე ბაბილონელებს, ინდოელებს, ძველ ბერძნებს, შუა აზიის ხალხებს. ევროპის ხალხებში უცნობის x, y, z ასოებით სისტემატური აღნიშვნა დაიწყეს შუა საუკუნეებში და იგი საბოლოოდ დამკვიდრდა XVII ს. დეკარტეს შრომებში.

საუკუნეთა მანძილზე ვითარდებოდა სხვადასხვა ხალხებში პირველი ხარისხის განტოლებათა ამოხსნის ხერხები, რომლებიც არითმეტიკულ მოქმედებათა თვისებებზე იყო დაფუძნებული. ძირითადი ხერხები იყო: განტოლების ერთი ნაწილიდან მეორეში წევრების საწინააღმდეგო ნიშნით გადატანა და მსგავს წევრთა შეერთება. ამ ხერხებიდან პირველს შეეძლო მივეყვახეთ უარყოფითი რი-

ცხვის ცნებამდე. ეს ცნება წარმოიშვა გაცილებით უფრო გვიან იმ ეპოქასთან შედარებით, როდესაც ადამიანმა დაიწყო ისეთი ამოცანების ამოხსნა, რომლებიც მიიყვანება პირველი ხარისხის განტოლებამდე. ამის გამო განტოლება დაჰყავდათ ისეთ სახემდე, რომელიც მხოლოდ დადებით წევრებს შეიცავდა, ამავე დროს იძლეოდნენ სხვადასხვა სახის დადებითწევრებიანი განტოლების ამოხსნის საგანგებო წესებს. შუააზიელმა მათემატიკოსმა მუჰამედ ალ-ჰორეზმიმ IX საუკუნეში გარკვევით დაადგინა, რომ პირველი ხარისხის განტოლების ამოხსნა ორ ოპერაციამდე დაიყვანება. ეს ოპერაციებია: განტოლების ცალკეული წევრის ტოლობის ერთი ნაწილიდან მეორეში გადატანა (ალ-ჯებრ) და მსგავსი წევრების შეერთება (ალ-მუკაბალა). სიტყვა „ალ-ჯებრ“ ნიშნავდა „აღდგენას“. მაკლები რიცხვი (უარყოფითი წევრი) განტოლების ერთი ნაწილიდან მეორეში გადატანისას დადებითად გადაიქცევა, ე. ი. მოხდება რიცხვის აღდგენა. სახელწოდება „ალ-ჯებრ“ (aljebr) გადაიქცა სიტყვა „ალგებრად“, რომელსაც ყველა ხალხი ხმარობს.

ალ-ჰორეზმი ფართოდ იყენებდა განტოლებებს სხვადასხვა სახის და ხასიათის პრაქტიკული ამოცანების ანოსახსნელად (ზოგადი ხერხით), რაც შემდეგში საფუძვლად დაედო ევროპაში დაწყებითი ალგებრის როგორც ზოგადი, ანუ უნივერსალური, არითმეტიკის ჩამოყალიბებას (ნიუტონი—XVII ს., ეილერი—XVIII ს.). დაწყებითი ალგებრისათვის, რომელიც სკოლაში ისწავლება, ეს შეხედულება დღესაც ძალაშია.

საფიქრებელია, რომ ბერძენ მათემატიკოსთა შორის პირველი ხარისხის განტოლებათა ამოხსნის ხერხებს ფლობდა დიოფანტე (III ს. ახ. წ.), მაგრამ მისი წიგნის ერთმა ნაწილმა პირველი ხარისხის განტოლებათა ამოხსნის შესახებ ჩვენამდე ვერ მოაღწია. განტოლებათა ჩაწერის ის საშუალებანი, რომლებსაც დღეს ვხმარობთ და ასე ბუნებრივად და მარტივად მიგვაჩნია, საბოლოოდ მხოლოდ XVII საუკუნეში გამომუშავდა (ვიეტი, ჰარიოტი, დეკარტე) და მათემატიკურ მეცნიერებებში მტკიცედ დამკვიდრდა XVIII ს. ლ. ეილერის მრავალრიცხოვანი ნაშრომის გავლენით.

პირველი ხარისხის განტოლებათა ამოხსნის ხერხებს თავდაპირველად იცნობდნენ ინდოელები და ჩინელები და შუა და ახლო აღმოსავლეთის ხალხები, ხოლო XIII საუკუნიდან — ევროპელები (ლეონარდო პიზელი — XIII ს., ლუკა პაჩოლი — XV ს., მიხეილ შტიფელი — XVI ს.). ჯერ წარმოიშვა შეკრება-გამოკლების და შემდეგ სხვა ხერხები (ჩასმები, შედარებები). ნიუტონს 1707 წელს გამოცემულ ლექციებში ყველა ეს ხერხი აქვს გამოყენებული.

კვადრატული განტოლებანი

მეორე ხარისხის განტოლებებს ბაბილონელები ხსნიდნენ ჯერ კიდევ მეორე ათასწლეულში ძვ. წ. მაგრამ ამას გავლენა არ მოუხდენია ევროპული მეცნიერების განვითარებაზე ისევე, როგორც აღმოსავლეთის მთელი რიგი ხალხების მიერ დაგროვილ ცოდნას, რომელიც ევროპისათვის დიდი ხნის განმავლობაში უცნობი იყო. ძველი ბერძენი მათემატიკოსები ჩვენს წელთაღრიცხვამდე კვადრატულ განტოლებებს გეომეტრიულად ხსნიდნენ: ევკლიდე, მაგალითად, მონაკვეთის საშუალო და კიდურა ფარდობით გაყოფის გზით ხსნიდა კვადრატულ განტოლებებს; ჰერონისა და დიოფანტეს ხერხები კი არსებითად თანამედროვე მეთოდებს ემთხვევა. ინდოელი და ჩინელი მათემატიკოსების ხელნაწერებში, რომლებიც დაწერილია ახ. წ. პირველ საუკუნეებში, გვხვდება კვადრატული განტოლებების უარყოფითი ფესვები. მაგრამ იხდოელი მათემატიკოსი ბჰასკარა აღნიშნავდა, რომ „ხალხი უარყოფით ფესვებს ვერ ეგუება“.

კვადრატულ განტოლებათა მოძღვრების განვითარებაში დიდი ღვაწლი მიუძღვის ზემოხსენებულ შუააზიელ მათემატიკოსს ალ-ჰორეზმის. იგი იძლევა კვადრატული განტოლების ამოხსნის წესს, რომელიც დღესაც არის მოყვანილი მთელ რიგ სახელმძღვანელოებში.

ალ-ჰორეზმი $x^2 + 10\,x = 39$ განტოლებას (მისი კრებულის მე-7 ამოცანა) შემდეგნაირად ხსნის:

საძიებელი x არის კვადრატის გვერდი. კვადრატის თითოეულ გვერდზე ავაგოთ მართკუთხედები, რომელთა სიგანე განტოლების მეორე წევრის კოეფიციენტის მეოთხედის ტოლია, ე. ი. $\frac{10}{4} = \frac{5}{2}$. ოთხივე მართკუთხედის ფართობი ტოლია

$$4 \cdot \frac{5}{2}\,x = 10x.$$

შედგენილი ჯვარისებური ნაკვთის ფართობი მოცემული განტოლების მარცხენა ნაწილის x^2+10x ტოლია. შევავსოთ ეს ნაკვთი ოთხი კვადრატით, რომელთაგან თითოეულის ფართობია $\left(\frac{5}{2}\right)^2$. მივიღებთ კვადრატს, რომლის გვერდები ტოლია $x+2\cdot\frac{5}{2}=x+5$. დიდი კვადრატის ფართობი არის $(x+5)^2$. იგი მივიღეთ $x^2+10x=39$ ფართობიანი ჯვარისებური ნაკვთისა და $\frac{5}{2}$ გვერდიანი ოთხი კვადრატის ფართობთა შეკრებით, ე. ი. $4\left(\frac{5}{2}\right)^2=25$.

ალ-ჰორეზმი ღებულობს:

$$(x+5)^2=39+25=64,\quad x+5=8,\quad x=8-5,\quad x=3.$$

$x^2+px=q$ განტოლების კოეფიციენტების ასოებით აღნიშვნებისას და ფესვების ორი მნიშვნელობის განხილვისას გვაქვს:

$$\left(x+\frac{p}{2}\right)^2=q+\frac{p^2}{4},$$

$$x+\frac{p}{2}=\pm\sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2+q},$$

$$x_{1,2}=-\frac{p}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2+q}.$$

XIII საუკუნის დასაწყისისათვის ევროპაში კვადრატულ განტოლებათა ამოსახსნელ სხვადასხვა სახის ფორმულებს კარგად ფლობდა ლეონარდო პიზელი, ასევე სხვა უფრო გვიანდელი მათემატიკოსებიც. ზოგადი შემთხვევისათვის ფორმულის გამოყვანა მოცემული აქვს ვიეტს (XVI ს.), მაგრამ ვიეტიც მხოლოდ დადებით ფესვებს აღიარებდა.

XVI საუკუნის იტალიელმა მათემატიკოსებმა (ჯ. კარდანო, ნ. ტარტალია, ლ. ფერარი, რ. ბომბელი) დადებით ფესვებთან ერთად განიხილეს არა მარტო უარყოფითი, არამედ წარმოსახვითი ფესვებიც, და სწორედ ამ დროიდან მიიღო კვადრატული განტოლების ამოხსნის ხერხმა თანამედროვე სახე.

განტოლებანი, რომელთა ხარისხი ორზე მეტია

მესამე ხარისხის განტოლებამდე მიიყვანა ბერძენი მათემატიკოსები (ჰიპოკრატე, არქიმედე და სხვ.) შემდეგ გეომეტრიულ ამოცანათა ამოხსნამ: კუბის გაორკეცება — ისეთი კუბის წიბოს პოვნა, რომელსაც მოცემული კუბის გაორკეცებული მოცულობა აქვს; კუთხის ტრისექცია — ნებისმიერი კუთხის სამ თანატოლ ნაწილად დაყოფა და სხვ. აღნიშნული ამოცანების გეომეტრიულად ამოხსნისას წააწყდნენ გადაულახავ წინააღმდეგობებს, ვინაიდან ფარგლით და სახაზავით შეუძლებელი გახდა კუბური ფესვით გამოსახული მონაკვეთის აგება. ეს ამოცანები გეომეტრიულად ჰიპერბოლური, პარაბოლური და სხვა წირების გამოყენებით ამოიხსნებოდა. კუბური განტოლების ყველა შესაძლო შემთხვევის გეომეტრიული მეთოდებით ამოხსნა XI და XII საუკუნეების მიჯნაზე განიხილა შუააზიელმა მათემატიკოსმა და სახელგანთქმულმა პოეტმა ომარ ხაიამმა. კუბური განტოლების ალგებრულად ამოხსნას ისეთი ფორმულით, რომლითაც შესაძლოა განტოლების ფესვთა გამოსახვა მისი კოეფიციენტების საშუალებით, მიაკვლიეს XVI საუკუნის იტალიელმა მათემატიკოსებმა — ს. ფერომ, ნ. ტარტალიამ და ჯ. კარდანომ. ეს ფორმულა კარდანოს სახელს ატარებს, თუმცა მისი ავტორი მარტო კარდანო არ იყო, რასაც თვითონაც აღიარებდა. აღსანიშნავია, რომ ზოგადი სახის კუბური განტოლების ამოხსნისას არსებითია ფესვების ტრიგონომეტრიული სახით ჩაწერა.

ზოგადი სახის მეოთხე ხარისხის განტოლების ალგებრულად ამოხსნას მიაგნო კარდანოს მოწაფემ ფერარიმ.

აღნიშნული განტოლების ამოსახსნელად 1732 წელს თავისი განსაკუთრებული ხერხი მოგვცა ლ. ეილერმა.

გამოჩენილ მათემატიკოსთა მთელი პლეადა ამაოდ ცდილობდა ამოეხსნა ზოგადი სახის მეხუთე ხარისხის ალგებრული განტოლება, ე. ი. ეძებდნენ ფორმულას, რომელიც განტოლებაში შემავალი კოეფიციენტების საშუალებით გამოთვლიდა განტოლების ფესვებს. მრავალმა მათემატიკოსმა (გ. ლაიბნიცი, ლ. ეილერი, კ. გაუსი) გამოთქვა აზრი, რომ ზოგადი სახის მეხუთე და მასზე მაღალი ხარისხის განტოლებებისათვის არ არსებობს განტოლების კოეფიციენტებისაგან შემდგარი ისეთი ალგებრული ფორმულა, რომელიც გამოთვლის ამ განტოლების ფესვებს. აღნიშნული დებულება 1824 წ. დაამტკიცა ნორვეგიელმა მათემატიკოსმა ნ. აბელმა.

ფრანგმა მათემატიკოსმა ე. გალუამ მიუთითა იმ მეთოდზე, რომლითაც შესაძლოა განტოლების ხარისხის მიხედვით გავიგოთ, ამოიხსნება იგი ალგებრულად, თუ არა.

ჰოლანდიელმა მათემატიკოსმა ჟირარმა (1629 წ.) გამოთქვა მოსაზრება, რომ n-ური ხარისხის განტოლებას აქვს n ფესვი, თუ ფესვებად უარყოფით და წარმოსახვით გამოსახულებებს მივიჩნევთ (თვით ჟირარს ისინი განტოლების ფესვებად არ მიაჩნდა). იგივე აზრი უფრო გაბედულად გამოთქვა დეკარტემ, ხოლო სრული დამაჯერებლობით — ნიუტონმა XVII საუკუნის დასასრულს.

1742 წელს ეილერმა განაცხადა, რომ ყოველი ალგებრული გამოსახულება შეიძლება დაიშალოს პირველ და მეორე ხარისხის ნამდვილ კოეფიციენტებიან თანამამრავლებად. ეს აზრი სხვა სიტყვებით ნიშნავს იმას, რომ ყოველ ალგებრულ განტოლებას აქვს ფესვი, რომელიც შეიძლება იყოს ნამდვილი ან კომპლექსური რიცხვი.

აღნიშნული დებულება ზედმიწევნით დაამტკიცა ოცდაორი წლის კ. გაუსმა 1799 წელს.

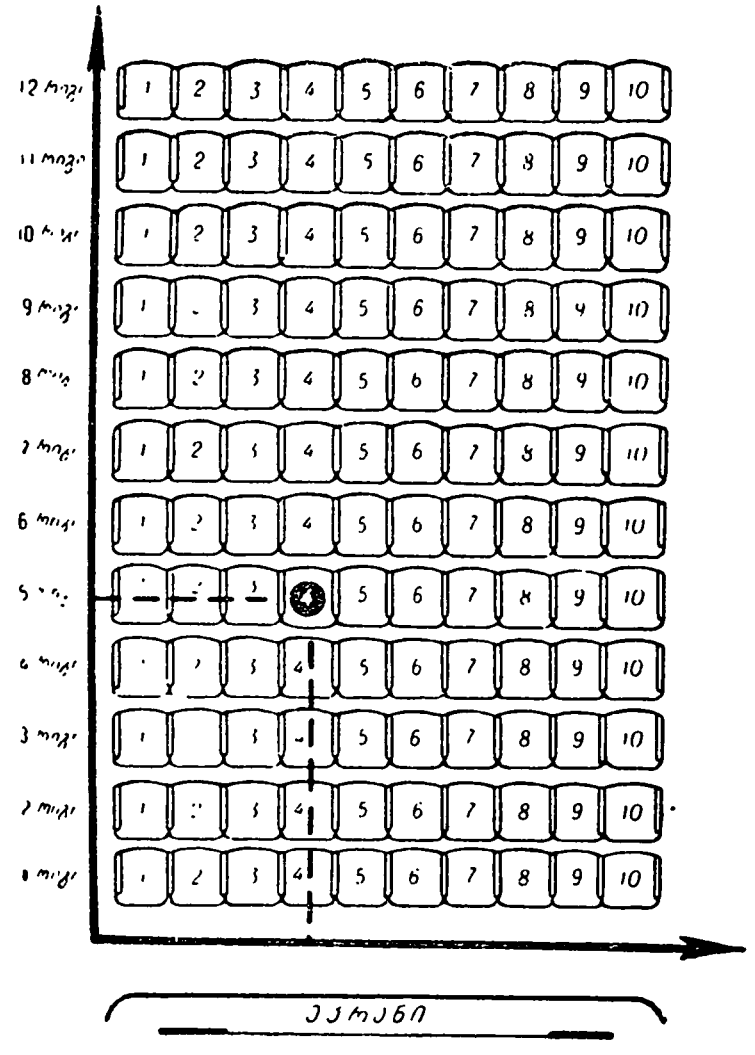
უმაღლესი ხარისხის განტოლებათა ფესვების მიახლოებითი გამოთვლისათვის არსებობს მრავალი ხერხი, რომლებსაც პრაქტიკულად ხშირად იყენებენ აგრეთვე მესამე და მეოთხე ხარისხის განტოლებათა ამოსახსნელადაც, ვინაიდან პრაქტიკაში ფესვის აბსოლუტური სიზუსტე ყოველთვის საჭირო არ არის, ფორმულის გამოყენება კი რთულია. სამარყანდელმა მათემატიკოსმა ალ-ყაშიმ შესანიშნავი მიახლოებითი ფორმულა მოგვცა მესამე ხარისხის განტოლების ფესვის მოსაძებნად, ხოლო ნიუტონმა და სხვებმა — ნებისმიერი ხარისხის განტოლებისათვის. ამ საკითხისათვის მეტად მნიშვნელოვანი მეთოდი შეიმუშავა ნ. ლობაჩევსკიმ.

რა არის და რას ემსახურება კოორდინატები

როცა საქმე საგანთა დიდ რაოდენობასთან გვაქვს (მით უმეტეს საგანთა უსასრულო სიმრავლესთან), ერთმანეთისაგან გასარჩევად საგნები შემთხვევით შერქმეული სახელებით (კახა, ნანა, ლონდონი, ამაზონი...) კი არ უნდა მოვიხსენიოთ, არამედ ისეთი „სახელები“ შევარქვათ, რომ მათი საშუალებით იოლი იყოს შესაბამისი საგნების მონახვა, და, პირიქით, ამა თუ იმ საგნის სახელი ადვილი საცნობი იყოს სახელწოდებათა მოცემულ სისტემაში. „ესა თუ ის შესახვევი, სახლი № 7, ბინა № 6“ — ასეთი მისამართით ბინის მიგნება უფრო იოლია, ვიდრე ისეთი მისამართით, როგორც ჩვენი საუკუნის დასაწყისში წერდნენ: „ჩიტაძის სახლი, ავალიანის ბინა“. ბილეთზე წერენ: „რიგი 5, ადგილი 4“, ან მოკლედ: „5, 4“. ეს სკამის სახელია (ნახ. 1). ხოლო თვით რიცხვებს 5, 4 კოორდინატები ეწოდება (ყურადღება მიაქციეთ იმას, რომ „4, 5“ სულ სხვა სკამი იქნება: მნიშვნელობა აქვს თანმიმდევრობას). ასევე უბრალოდ შეიძლება შეარქვათ „სახელი“, მაგალითად, წიგნის იმ გვერდის ყველა წერტილს, რომელსაც ახლა კითხულობთ: მანძილი ამ წერტილიდან გვერდის მარცხენა კიდემდე აღვნიშნოთ x-ით, ქვედა კიდემდე მანძილი კი — y-ით. (x, y) რიცხვთა წყვილი ამ წერტილის სახელად მივიჩნიოთ. მანძილის სანტიმეტრებით გაზომვისას გვერდის ზედა მარჯვენა კუთხეს დავარქვათ „სახელი“ (20, 26), ქვედა მარჯვენა კუთხეს—(20, 0), გვერდის ცენტრს—(10, 13). გვერდის ყველა წერტილს (ეს წერტილები კი უსასრულოდ ბევრია) თავისი „სახელი“ დაერქმევა. ამგვარადვე დაერქმევა „სახელი“ თქვენი ოთახის ყველა წერტილს (x, y, z). x იქნება მეტრებით გამოსახული მანძილი ჩრდილოეთი კედლიდან, y — მანძილი დასავლეთი კედლიდან, ხოლო z — წერტილის მანძილი იატაკიდან (თქვენ იოლად იპოვით, მაგალითად, (3, 2, 1) წერტილს). x კოორდინატი იმ წერტილისათვის, რომელიც ჩრდილოეთი კედლის იქითაა, უარყოფითად ითვლება. ასევე უარყოფითად ითვლება y დასავლეთი კედლის იქით მდებარე წერტილისათვის და z — ქვედა სართულების წერტილებისათვის. იმ სიბრტყეებს, რომელთაგანაც x, y, z მანძილები აითვლება, საკოორდინატო სიბრტყეები ეწოდება (თითოეულ მათგანზე ერთი კოორდინატი ნულის ტოლია), ამ სიბრტყეთა გადაკვეთის წირებს კი — კოორდინატთა ღერძები.

მაგალითად, წრფეს, რომლის განსწვრივაც y და z ნულის ტოლია, x ღერძი ეწოდება.

მკითხველმა ალბათ კარგად იცის, რა არის დედამიწის ზედაპირზე ადგილის განედი და გრძედი. ეს არის გეოგრაფიული კოორდინატები. მაგალითად, მოსკოვის გრძედია +37°,5 (ესე იგი, გრინვიჩის საწყისი მერიდიანის აღმოსავლეთით), განედი კი +55°,8 (ესე იგი, ეკვატორიდან ჩრდილოეთით). ამიტომ მოსკოვის კოორდინატული აღნიშვნა ასე ჩაიწერება: 37°,5; 55°,8.



ნახ. 1.

კოორდინატები გეომეტრიაში. რიცხვებს გეომეტრიაში დიდი მნიშვნელობა აქვს. რიცხვების საშუალებით განვსაზღვრავთ საგანთა ზომებს. სიგრძე, ფართობი, მოცულობა საზომი ერთეულის არჩევის შემდეგ რიცხვით გამოისახება. შეიძლება თუ არა საგანთა ფორმა, ყველაზე უცნაური ნაკვთების ფორმა, რიცხვთა საშუალებით აღვწეროთ? ჩვენ ვიცით, რომ სამკუთხედთა ფორმას მათი კუთხეები განსაზღვრავს („ორი სამკუთხედი, რომელთა კუთხეები შესაბამისად ეტოლება ერთმანეთს, მსგავსია“, ე. ი. ერთნაირი ფორმა აქვთ). მაშასადამე, ზოგ შემთხვევაში რიცხვები ფორმას ახასიათებს; მოცემულ შემთხვევაში ორი რიცხვი ორი კუთხეა. მაგრამ შეიძლება თუ არა, რიცხვთა საშუალებით ყოველი ნაკვთის ფორმა აღვწეროთ? ამაზე დადებით პასუხს გვაძლევს კოორდინატთა მეთოდი, რომელიც მათემატიკაში პ. ფერმამ და რ. დეკარტემ შემოიღეს[1]. ეს არის ნაკვთების შესწავლის ანალიზური მეთოდი, ანუ ნაკვთების შესწავლა გამოთვლების საშუალებით. გეომეტრიის ნაწილს, რომელიც ნაკვთებს ამ ხერხით შეისწავლის, ანალიზური გეომეტრია ეწოდება.

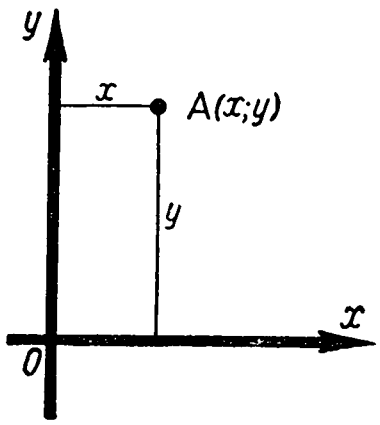
იმისათვის, რომ ნაკვთები შევისწავლოთ, უპირველეს ყოვლისა, მათი ზუსტად აღწერა უნდა შეგვეძლოს. აღწერილობა სრული უნდა იყოს: აღწერილობის წაკითხვის შემდეგ მისი მიხედვით უნდა შევძლოთ ნაკვთის აღდგენა, ანუ ზუსტად ისეთი ნაკვთის აგება, რომელიც აღწერილი იყო. ამბობენ, რომ ასეთი აღწერილობით ნაკვთი მოცემულია (ცალსახად). თვითონ აღწერილობას ნაკვთის მოცემულობას უწოდებენ. ჩვენ ვგულისხმობთ, რომ ყოველი გეომეტრიული ნაკვთი წერტილებისაგან შედგება: ნაკვთი არის წერტილთა სიმრავლე (სასრული ან უსასრულო). თუ ნაკვთი შედგება წერტილთა სასრული რაოდენობისაგან (ან წერტილების სასრული რიცხვით ცალსახად განისაზღვრება: მაგალითად, მრავალკუთხედი—თავისი წვეროებით), მაშინ მისი სრული აღწერილობისათვის საკმარისია ყველა წერტილის მოცემულობა. როცა წერტილთა უსასრულო სიმრავლეა, მაშინ საქმე უფრო რთულადაა, მაგრამ თავდაპირველად მაინც ცალკეული წერტილების მდებარეობის მოცემა უნდა შეგვეძლოს. სიმარტივისათვის განვიხილოთ წერტილები და ნაკვთები სიბრტყეზე.

---

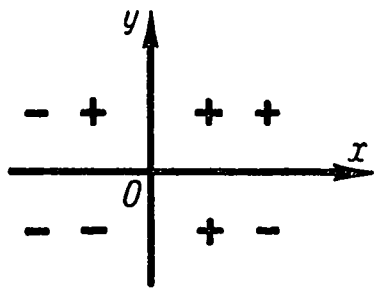
[1] კოორდინატების იდეა ფერმამდე და დეკარტემდე დიდი ხნით ადრე არსებობდა. მხატვრები კოორდინატულ ბადეს უხსოვარი დროიდან იყენებდნენ გამოსახულების სხვა სიბრტყეზე გადასატანად. ალბათ უფრო ძველია ქარგვა კანვაზე, რომელიც, ასე ვთქვათ, მატერიალიზებულ კოორდინატულ ბადეს წარმოადგენს. სფერულ კოორდინატებს (განედებსა და გრძედებს) იყენებდნენ ძველი ბაბილონისა და ეგვიპტის ასტრონომები.

წერტილთა დეკარტეს კოორდინატები

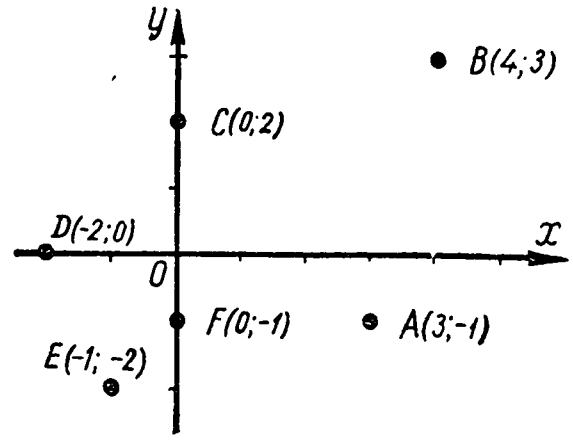
სიბრტყეზე წერტილის მდებარეობის მოცემა შეიძლება ორი რიცხვის x-ისა და y-ის საშუალებით, თუ წინასწარ: 1) ამ სიბრტყეზე ამოვირჩევთ რაიმე ორ ურთიერთმართობულ წრფეს (ერთს — ჰორიზონტალურს, მეორეს — ვერტიკალურს, მაგალითად, ქაღალდის ფურცელზე — მის ქვედა და მარცხენა კიდეებს); 2) ამ წრფეებს მივცემთ მიმართულებას (მაგალითად, მარჯვნივ და ზემოთ); 3) შევთანხმდებით სიგრძის საზომ ერთეულზე (მაგალითად, სანტიმეტრზე). წრფეების გადაკვეთის O წერტილს სათავე ჰქვია, თვითონ წრფეებს კი — კ ო ო რ დ ი ნ ა ტ თ ა ღ ე რ ძ ე ბ ი. პირველ მათგანს Ox ღერძი; ანუ ა ბ ს ც ი ს თ ა ღ ე რ ძ ი ჰქვია, მეორეს — Oy ღერძი, ანუ ო რ დ ი ნ ა ტ თ ა ღ ე რ ძ ი. ახლა წერტილის მდებარეობის მოსაცემად მხოლოდ ეს უნდა მივუთითოთ: 1) რა მანძილზეა წერტილი Oy ღერძიდან; ეს მანძილი, აღებული „+“ ან „—“ ნიშნით, აღინიშნება ასო x-ით და წ ე რ ტ ი ლ ი ს ა ბ ს ც ი ს ა ეწოდება; 2) რა მანძილზეა წერტილი Ox ღერძიდან; ეს მანძილი, აღებული „+“ ან „—“ ნიშნით, აღინიშნება y-ით და წ ე რ ტ ი ლ ი ს ო რ დ ი ნ ა ტ ა ეწოდება. თუ წერტილი Oy ღერძის იმ მხარეზეა, საითაც მიმართულია Ox ღერძი, მაშინ აბსცისასთვის იღებენ „+“ ნიშანს, საწინააღმდეგო შემთხვევაში კი „—“ ნიშანს. ამგვარადვე ირჩევენ „+“ და „—“ ნიშანს ორდინატასთვის. თვით Ox ღერძის წერტილთა ორდინატები ნულის ტოლია ($y=0$), ნულის ტოლია Oy ღერძის წერტილთა აბსცისებიც ($x=0$). თუ A წერტილის აბსცისა არის x, ორდინატა კი y, მაშინ წერენ: A $(x; y)$ (ნახ. 2). x, y რიცხვებს ეწოდება $(x; y)$ წერტილის დეკარტეს



ნახ. 2.



ნახ. 3.



ნახ. 4.

კოორდინატები. $(x; y)$ აღნიშვნაში პირველ ადგილზე აბსცისა დგას, მეორე ადგილზე კი — ორდინატა. მე-3 ნახაზზე ნაჩვენებია კოორდინატთა ნიშნები სხვადასხვა საკოორდინატო კუთხეების (მეოთხედების, ანუ კვადრანტების) წერტილებისათვის: პირველ ადგილზე აბსცისას ნიშანია, მეორეზე — ორდინატას ნიშანი. O სათავის ორივე კოორდინატი ნულის ტოლია. ეს ასე ჩაიწერება: O (0; 0).

ა მ ო ც ა ნ ა 1. შეამოწმეთ მე-4 ნახაზზე წერტილთა აღნიშვნის სისწორე.

უნდა მიეჩვიოთ ორი პირველდაწყებითი ამოცანის უშეცდომოდ ამოხსნას, როცა მოცემულია ღერძთა მდებარეობა და მიმართულება და სიგრძის ერთეული: 1) იპოვეთ ნახაზზე მითითებული ყოველი წერტილის კოორდინატები, 2) მოცემული x, y კოორდინატებით ააგეთ $(x; y)$ წერტილი.

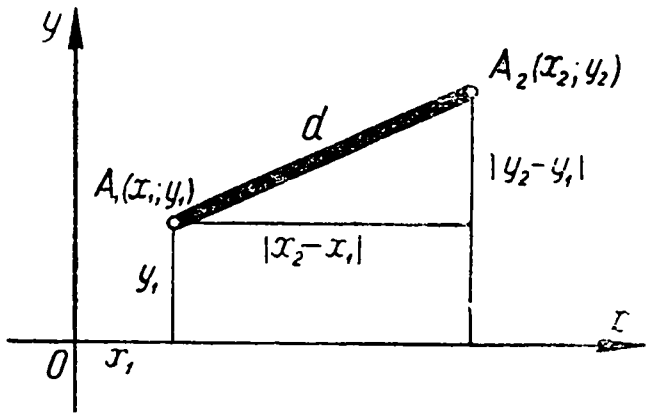
აი, უფრო რთული ამოცანის მაგალითი:

ა მ ო ც ა ნ ა 2. ააგეთ ხუთკუთხედი $ABCDE$, თუ A $(-3; 1)$, B $(2; -2)$, C $(0; 3\frac{1}{2})$, D $(-2; -2)$, E $(3; 1)$.

ა მ ო ც ა ნ ა 3. რა ნაკვთს შეადგენს ყველა წერტილი, რომელთა: 1) აბსცისა ნულის ტოლია ($x=0$); 2) ორდინატა ორზე მეტია ($y>2$); 3) აბსცისა ორდინატას ტოლია ($x=y$); 4) $x=-y$; 5) $|x| = |y|$ (სადაც $|x|$ არის x რიცხვის აბსოლუტური სიდიდის აღნიშვნა: თუ x უარყოფითია, მაშინ $|x|=-x$, წინააღმდეგ შემთხვევაში $|x|=x$); 6) $x = 0$ და $y > 2$.

უმარტივესი ამოცანები

კოორდინატთა მეთოდით გეომეტრიული ამოცანების ამოხსნისას მუდამ ვეყრდნობით რამდე-



ნახ. 5.

ნიმე უმარტივეს სტანდარტულ ამოცანას; ესენია: წერტილებს შორის მანძილის განსაზღვრა, მონაკვეთის წერტილის მონახვა და სხვა. ამასთან, მხედველობაში უნდა გვქონდეს შემდეგი: გამოთქმა „მოცემულია წერტილი“ იმას ნიშნავს, რომ მოცემულია მისი კოორდინატული აღნიშვნა $(x; y)$, ანუ მოცემულია ორი რიცხვი x, y. „წერტილის პოვნა“ იმას ნიშნავს, რომ ვიპოვოთ მისი კოორდინატული აღნიშვნა $(x; y)$.

1) ორ წერტილს შორის მანძილი.

ა მ ო ც ა ნ ა. მოცემულია ორი წერტილი $A_1\ (x_1; y_1)$ და $A_2\ (x_2; y_2)$. უნდა ვიპოვოთ მათ შორის მანძილი (ნახ. 5).

თუ დამხმარე ხაზებს გავავლებთ, ადვილად მივხვდებით, რომ საძიებელი მანძილი იმ სამკუთხედის d ჰიპოტენუზაა, რომლის კათეტებია $|x_2-x_1|$ და $|y_2-y_1|$, ამიტომ

$$d = +\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \qquad (1)$$

(კვადრატში აყვანისას აბსოლუტური სიდიდის ნიშანი გამოტოვებულია, რაც, რა თქმა უნდა, შედეგს არ ცვლის).

უნდა შევნიშნოთ, რომ (1) ფორმულა სამართლიანია A_1 და A_2 წერტილების ნებისმიერი მდებარეობისათვის. შეამოწმეთ, რომ, მაგალითად, $A_1\ (-1; -2)$, $A_2\ (3; -5)$-სათვის კათეტები ნამდვილად ტოლი იქნება $|3-(-1)|$ და $|(-5)-(-2)|$ სიდიდეებისა და (1) ფორმულა მოგვცემს:

$$d = +\sqrt{4^2 + (-3)^2} = 5.$$

ანალიზური გეომეტრიისათვის ფორმულათა ზოგადობას დიდი მნიშვნელობა აქვს. ამ ზოგადობის წყალობით ამოცანათა ანალიზური ამოხსნისას არ არის საჭირო მოცემული წერტილების ამა თუ იმ განლაგებაზე დაფიქრება. ამოცანის ამოხსნა ნახაზზე დაუხედავადაც შეიძლება. ამიტომ, ჩვეულებრივ, მიახლოებით ნახაზს ააგებენ და ისიც მხოლოდ იმისათვის არის საჭირო, რომ ჩაიწეროს მოცემულობა (წერტილთა კოორდინატული აღნიშვნა და სხვ.). შემდეგ კი ამ ნახაზზე აღნიშნავენ უკვე ნაპოვნ შუალედურ და, ბოლოს, საბოლოო შედეგებს.

2) მონაკვეთის შუა წერტილი.

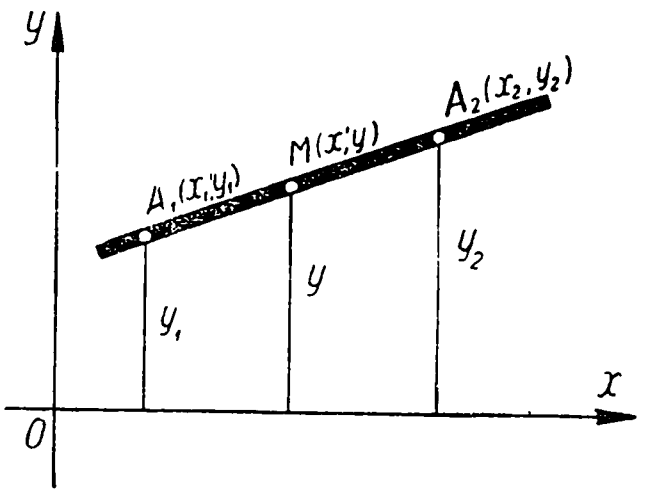
ა მ ო ც ა ნ ა. მოცემულია მონაკვეთის ბოლო წერტილები $A_1\ (x_1; y_1)$, $A_2\ (x_2; y_2)$. უნდა ვიპოვოთ ამ მონაკვეთის შუა M წერტილი. საძიებელი M შუა წერტილის კოორდინატები აღვნიშნოთ x და y-ით: $M\ (x; y)$. მე-6 ნახაზიდან ჩანს, რომ საძიებელი y ორდინატა ტრაპეციის შუა წირია, ამიტომ

$$y = \frac{y_1 + y_2}{2}; \qquad (2)$$

ზუსტად ასევე

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}. \qquad (2)$$

თუ y_1 და y_2 რიცხვების ნიშნები ერთმანეთის საწინააღმდეგოა, მაშინ ეს დამტკიცება დამაჯერებელი არ არის, მაგრამ (2) ფორმულები სამართლიანია ყველა შემთხვევაში. ეს თვითონვე შეამოწმეთ.



ნახ. 6.

ა მ ო ც ა ნ ა 4. მოცემულია ABC სამკუთხედი: $A\ (12; 6)$, $B\ (-2; 4)$, $C\ (6; -2)$. გაიგეთ სამკუთხედის გვერდებისა და მედიანების სიგრძე.

ა მ ო ც ა ნ ა 5. Ox ღერძზე ვიპოვოთ M წერტილი, რომელიც $A\ (3; -1)$ წერტილიდან 5 ერთეულითაა დაშორებული.

ა მ ო ხ ს ნ ა. საძიებელი M წერტილის კოორდინატები $(x; y)$-ით აღვნიშნოთ. ეს წერტილი x ღერძზე დევს; მაშასადამე, $y=0$. ახლა მხოლოდ x უნდა განვსაზღვროთ. ამოცანის პირობა $AM=5$ ანალიზურად ჩავწეროთ (იხ. (1) ფორმულა). მაშინ მივიღებთ განტოლებას x-ის განსასაზღვრავად.

ა მ ო ც ა ნ ა 6. ვიპოვოთ M $(x; y)$ წერტილი, რომელიც კოორდინატთა ღერძებიდან თანაბარ მანძილზე მდებარეობს და A $(-1; 6)$ წერტილიდან 5 ერთეულითაა დაშორებული.

x, y-ის განსასაზღვრავად საკმარისია ამოვხსნათ განტოლებათა სისტემა $|x| = |y|$, $(x+1)^2+(y-6)^2=5^2$. სულ 4 პასუხია.

წერტილთა უსასრულო სიმრავლისაგან შემდგარი ნაკვთების მოცემა

Φ ნაკვთის მოსაცემად ამ შემთხვევაში ასე იქცევიან: ცდილობენ მოძებნონ ისეთი პირობა, რომელსაც: 1) Φ-ის ყველა წერტილის x, y კოორდინატები აკმაყოფილებს; 2) არ აკმაყოფილებს არც ერთი გარეშე წერტილი (ე. ი. წერტილები, რომლებიც Φ-ს არ ეკუთვნის). ის, რაც აქ ითქვა, გასაგები გახდება შემდეგ მაგალითებზე:

1. მოვძებნოთ პირობა ნაკვთისათვის, რომელიც Ox ღერძის ყველა წერტილისაგან შედგება. მისი ყველა წერტილი აკმაყოფილებს განტოლებას $y=0$ და, რა თქმა უნდა, არც ერთი გარეშე წერტილი მას არ აკმაყოფილებს, რადგან დევს Ox ღერძის ან მაღლა (მაშინ $y>0$), ან დაბლა (მაშინ $y<0$). განტოლება $y=0$ არის სწორედ საძიებელი პირობა.

2. $x=y$ განტოლებას აკმაყოფილებს xOy საკოორდინატო კუთხის ბისექტრისის ყველა წერტილი და არ აკმაყოფილებს არც ერთი გარეშე წერტილი (ბისექტრისა ორივე მხარეს უსასრულოდ გაგრძელებულად ითვლება).

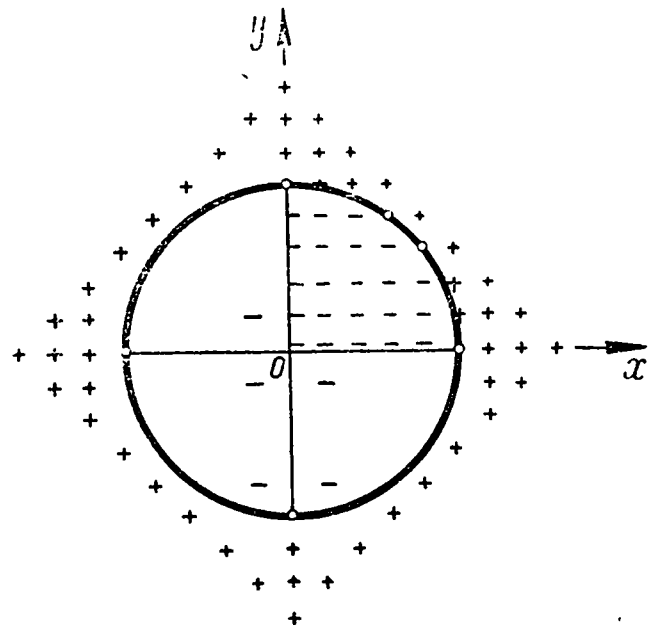
3. xOy საკოორდინატო კუთხის შიგა ნაწილის ყველა წერტილი აკმაყოფილებს $x>0$, $y>0$ უტოლობათა სისტემას. ეს სისტემა არის პირობა, რომელიც გვაძლევს Φ ნაკვთის xOy კუთხის შიგა ნაწილს.

4. იმ წრეწირის ყოველი M $(x; y)$ წერტილი, რომლის რადიუსია 5 და ცენტრი კოორდინატთა სათავეშია, აკმაყოფილებს $x^2+y^2=25$ განტოლებას, რადგან მანძილი ამ წრეწირის ნებისმიერი წერტილიდან კოორდინატთა სათავემდე არის $5: OM = 5$, ანუ, პითაგორეს თეორემის თანახმად, $\sqrt{x^2+y^2}=5$, რაც ზემოთ დაწერილი განტოლების ტოლძალოვანია. წრეწირის შიგნით მდებარე ყველა M წერტილისათვის $OM<5$, ანუ $x^2+y^2<25$; წრეწირის გარეთ მდებარე ყველა M წერტილისათვის $OM>5$, ანუ $x^2+y^2>25$. ამრიგად, ჩვენი წრეწირის ყველა წერტილისათვის, და მხოლოდ ამ წერტილებისათვის, მართებულია განტოლება

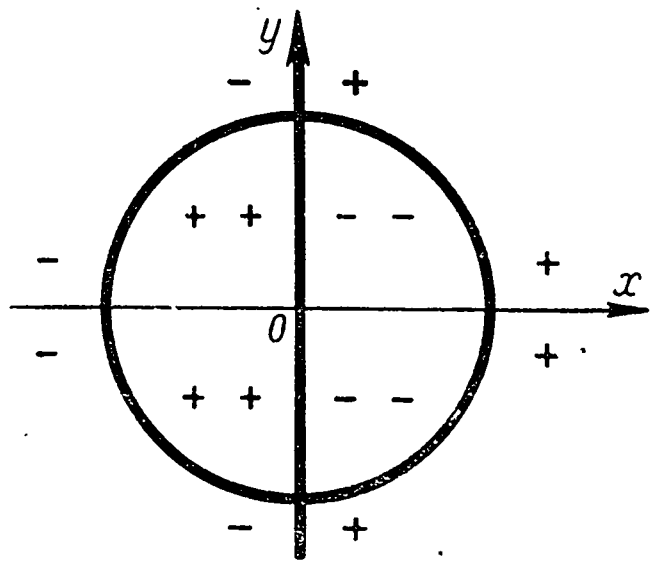
$$x^2 + y^2 - 25 = 0.$$

ისეთ განტოლებას, რომელსაც აკმაყოფილებს რაიმე წირის ყველა წერტილი და არ აკმაყოფილებს არც ერთი გარეშე წერტილი, ამ წირის განტოლება ეწოდება. წირის განტოლებაში x, y-ს მიმდინარე კოორდინატები ეწოდება.

ნახაზზე მთელრიცხვა კოორდინატებიანი წერტილები, რომელთათვისაც მარცხენა ნაწილი $x^2+y^2-25>0$, აღნიშნეთ „+“ ნიშნით; ისინი, რომელთათვისაც მარცხენა ნაწილი უარყოფითია, „ — “ ნიშნით. წერტილებს, სადაც მარცხენა მხარე ნულის ტოლია, ძალიან პატარა რგოლი შემოავლეთ. შეიძლება შემოიფარგლოთ, მაგალითად, მხოლოდ იმ მთელრიცხვა წერტილებით, რომელთათვისაც $|x|+|y|\geqslant 8$. როცა ამას გააკეთებთ, თქვენ გარკვევით დაინახავთ, რა შეესაბამება კოორდინატულ სიბრტყეზე განტოლებას და რა — უტოლობას (ნახ. 7).



ნახ. 7.



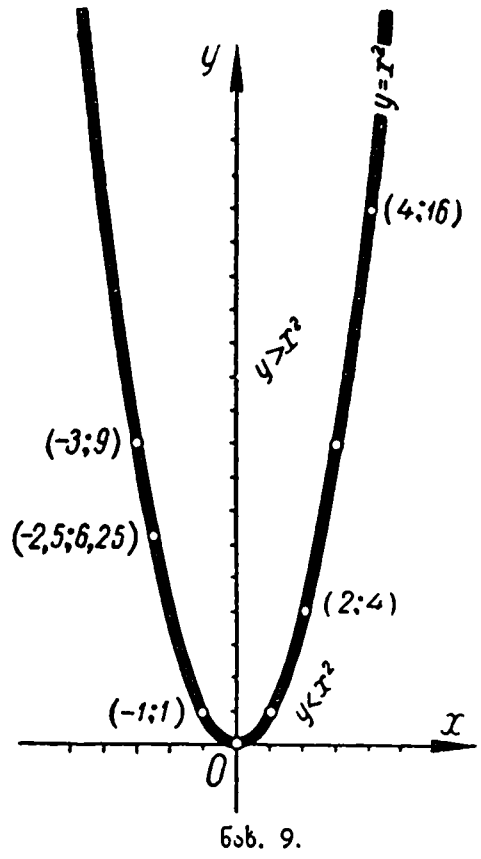
ნახ. 8.

5. $x+y=5$ განტოლება წრფის განტოლებაა. სცადეთ, თქვენ თვითონ დაამტკიცოთ ეს! (ქვემოთ ნაჩვენები იქნება, რომ ყოველი პირველი ხარისხის განტოლება x-სა და y-ს შორის რაიმე წრფის განტოლებას გვაძლევს). ასეთი წრფის აგება (როგორც ყოველი წრფისა) ძალზე ადვილია: საკმარისია, ავირჩიოთ ორი წერტილი, რომლებიც ამ განტოლებას აკმაყოფილებს, მაგალითად (0; 5) და (1; 4), შემდეგ ავაგოთ ეს წერტილები და სახაზავით შევაერთოთ. ხელახლა შევნიშნავთ: წრფე სიბრტყეს ყოფს ორ ნაწილად, რომელთაგან ერთი ნაწილისთვის (ზემო ნაწილისთვის) $x+y>5$, მეორე ნაწილისთვის $x+y<5$.

6. სცადეთ, გამოარკვიოთ $|x|+|y|<5$ უტოლობის გეომეტრიული მნიშვნელობა. ამისათვის ჯერ უნდა ააგოთ $|x|+|y|=5$ წირი. (როცა ვამბობთ: „წირი $|x|+|y|=5$“, ეს იმას ნიშნავს, რომ წირი განსაზღვრულია $|x|+|y|=5$ განტოლებით). იგი შედგება ოთხი ნაწილისაგან. წირი უნდა ავაგოთ ცალ-ცალკე თითოეულ კოორდინატულ მეოთხედში: 1) როცა $x\geqslant 0$, $y\geqslant 0$, 2) როცა $x<0$, $y\geqslant 0$, 3) როცა $x<0$, $y<0$ და 4) როცა $x\geqslant 0$, $y<0$.

7. განტოლება $x^3+xy^2-4x=0$ განსაზღვრავს ნაკვთს, რომელიც შედგება წრეწირისა და წრეწირის ცენტრში გამავალი ვერტიკალური წრფისაგან. მართლაც, მოცემული განტოლება ასე შეიძლება გადაიწეროს: $x(x^2+y^2-4)=0$, მაგრამ ნამრავლი ნულის ტოლი მხოლოდ მაშინ შეიძლება იყოს, როცა ერთ-ერთი მამრავლი მაინც ნულის ტოლია, ე. ი. $x=0$, ან $x^2+y^2-4=0$; პირველი Oy ღერძის განტოლებაა, მეორე — წრეწირისა (ნახ. 8).

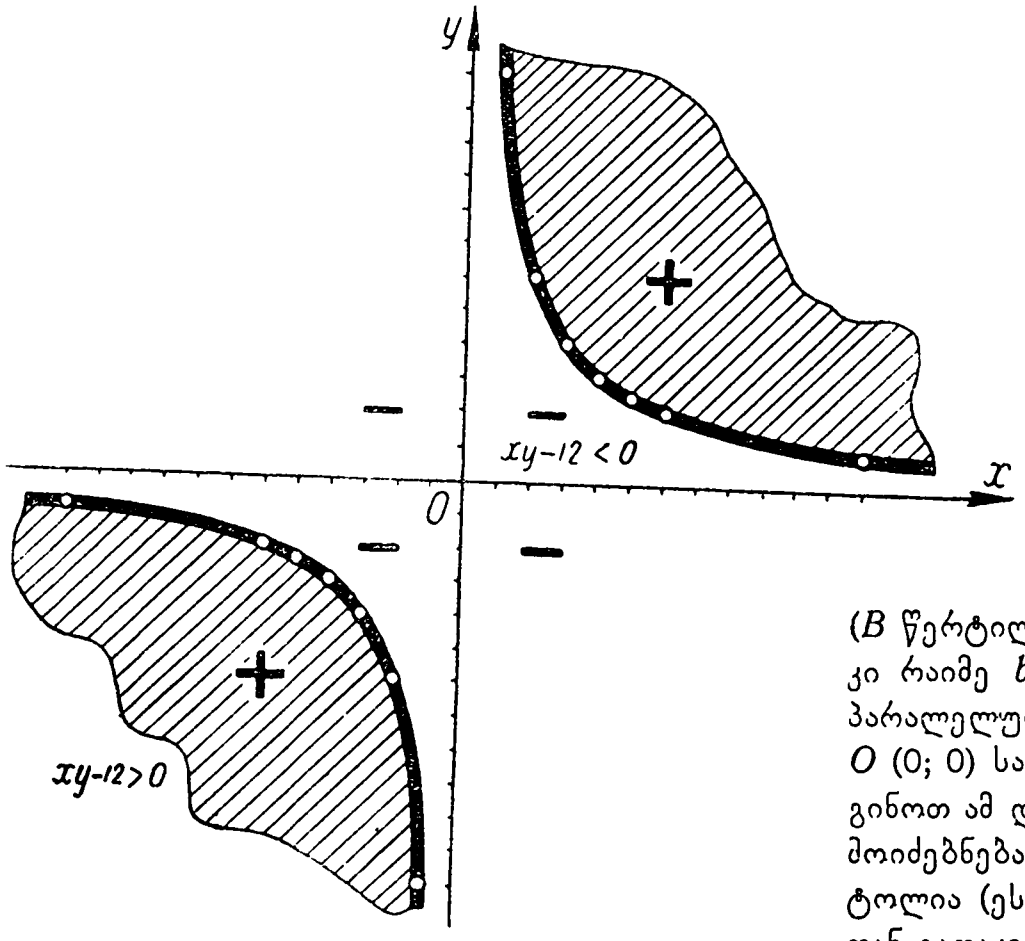
8. $y=x^2$ წარმოადგენს პარაბოლას განტოლებას. ავაგოთ პარაბოლა განტოლების მიხედვით. ამისათვის ჯერ დავწეროთ ცხრილი. ცხრილის პირველ გრაფაში მოვათავსოთ x-ის ნებისმიერი მნიშვნელობანი, მაგალითად $x=-3,\ -2\frac{1}{2},\ -1,\ 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ \ldots$, მეორე გრაფაში კი y-ის შესაბამისი მნიშვნელობანი, $y=9,\ 6\frac{1}{4},\ 1,\ 0,\ 1,\ 4,\ 9,\ 16,\ \ldots$. ჩვენ რომ შეგვეძლოს x და შესაბამის y ნამდვილ რიცხვთა უსასრულო სიმრავლისათვის ცხრილის შედგენა და შემდეგ ყველა ასეთი წერტილის $(x;\ y)$ აგება, მაშინ ეს წერტილები თავისთავად შეავსებდნენ მთელ საძიებელ მრუდს (ნახ. 9).



ნახ. 9.

ფაქტიურად ჩვენ მხოლოდ შემდეგი წერტილების კოორდინატები გამოვითვალეთ: $(-3;\ 9)$, $(-2\frac{1}{2};\ 6\frac{1}{4})$, $(-1;\ 1)$, $(0;\ 0)$, $(1;\ 1)$, $(2;\ 4)$, $(3;\ 9)$, $(4;\ 16)$. თუ ამ წერტილებს უწყვეტი მრუდით შევაერთებთ (ამით შევავსებთ ხარვეზებს, რომლებიც ცხრილში გამოტოვებულ x-ის შუალედურ მნიშვნელობებს შეესაბამება), მივიღებთ პარაბოლას ნაწილს $(-3;\ 9)$ და $(4;\ 16)$ წერტილებს შორის. რა თქმა უნდა, ეს მიახლოებითი აგებაა; აგება მით უფრო ზუსტი იქნება, რაც უფრო მეტ შუალედურ წერტილებს ავაგებთ.

შევნიშნავთ, რომ უტოლობა $y>x^2$ განსაზღვრავს სიბრტყის ნაწილს პარაბოლას ზემოთ,



ნახ. 10.

9. განტოლება $xy=12$ (ნახ. 10) სიბრტყეზე განსაზღვრავს თქვენთვის კარგად ცნობილ მრუდს — ჰიპერბოლას (გაიხსენეთ ბოილ-მარიოტის კანონის გეომეტრიული გამოსახულება). მის ასაგებად ამოვხსნათ განტოლება y-ის მიმართ: $y=\frac{12}{x}$, შემდეგ კი ეს ჰიპერბოლა ავაგოთ წერტილების მიხედვით ისე, როგორც წინა ამოცანაში კეთდებოდა.

წრფე

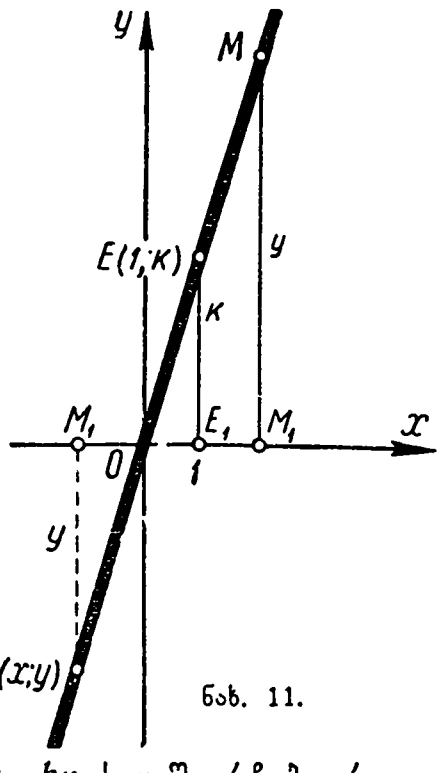
წრფე უმარტივესი წირია. პირველი ხარისხის განტოლება უმარტივესი განტოლებაა. და, აი, ირკვევა, რომ: 1) ყოველი წრფე შეიძლება მოცემულ იქნეს რაიმე პირველი ხარისხის განტოლებით და 2) ყველა წერტილი, რომელიც აკმაყოფილებს მოცემულ პირველი ხარისხის განტოლებას x-ისა და y-ის მიმართ, ავსებს რაიმე წრფეს, ე. ი. ასეთი განტოლება წრფის განტოლებაა.

დავამტკიცოთ რომ:

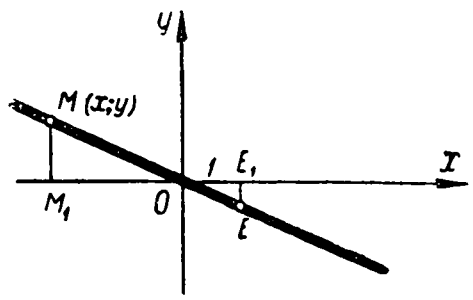
1. ყოველი წრფის განტოლება პირველი ხარისხის განტოლებაა.

უპირველეს ყოვლისა, ეს ნათელია Oy ღერძის პარალელური წრფისათვის (კერძოდ, თვით Oy ღერძისთვისაც), რადგან ასეთი წრფის ყველა წერტილს ერთი და იგივე აბსცისა აქვს, ე. ი. რომელიმე მუდმივ a-ს უდრის; $x=a$, სწორედ ეს არის განსახილველი წრფის განტოლება, მაგრამ ეს განტოლება პირველი ხარისხისაა.

ახლა განვიხილოთ ნებისმიერი წრფე n, რომელიც Oy ღერძის პარალელური არ არის. წრფე გადაკვეთს Oy ღერძს რაიმე B (0; b) წერტილში (B წერტილის აბსცისა ნულის ტოლია, ორდინატას კი რაიმე b მნიშვნელობა აქვს). n წრფე მისსავე პარალელურად გადავაადგილოთ ისე, რომ მან O (0; 0) სათავეში გაიაროს. პირველ რიგში შევადგინოთ ამ დამხმარე წრფის განტოლება. ამ წრფეზე მოიძებნება E წერტილი, რომლის აბსცისა 1-ის ტოლია (ეს იქნება დამხმარე წრფის $x=1$ წრფესთან გადაკვეთის წერტილი). ვთქვათ, ამ წერტილის ორდინატა უდრის k რიცხვს: E (1; k). მაშინ ჩვენი წრფის ნებისმიერი წერტილისათვის $y:x=k:1$. მართლაც, OM_1M და OE_1E სამკუთხედები მსგავსია, ამიტომ მათი კათეტები $|y|$, $|x|$, $|k|$, 1 პროპორციულია $|y|:|x|=|k|:1$ (ნახ. 11). ისღა გვრჩება, რომ შევამოწმოთ ნიშნები: ნახაზი გვიჩვენებს, რომ თუ k დადებითია, მაშინ OE წრფის ყოველი წერტილისათვის x და y უსათუოდ ან ორივე დადებითია, ან ორივე უარყოფითი. მაშასადამე, ტოლია $y:x$, $k:1$ ფარდობათა ნიშნებიც. თუ k უარყოფითია, მაშინ x და y ნიშნები მოპირდაპირეა (ნახ. 12) და ტოლობა $y:x=k:1$, ანუ $y=kx$ ძალაში რჩება. როცა $k=0$, მაშინ E წერტილი x ღერძზე დევს, OE წრფე ემთხვევა Ox ღერძს, ხოლო $y=kx$ განტოლება გადაიქცევა $y=0$ განტოლებად. მაშასადამე,



ნახ. 11.



ნახ. 12.

ნებისმიერი k-სთვის OE დამხმარე წრფის განტოლება იქნება $y = kx$.

ახლა დავუბრუნდეთ თავდაპირველ n წრფეს; ის შეიძლება მივიღოთ OE დამხმარე წრფისაგან, თუ მას y ღერძის მიმართულებით b მონაკვეთზე გადავწევთ. ეს იმას ნიშნავს, რომ მისი ყოველი წერტილი გადაადგილდება Oy ღერძის მიმართულებით b მონაკვეთზე (თუ $b>0$, ზემოთ, თუ $b<0$, ქვემოთ). ამასთან, ყოველი წერტილის ორდინატა შეიცვლება ერთი და იგივე b რიცხვით, ხოლო აბსცისა ისევ ის დარჩება. დამხმარე წრფის $y=kx$ განტოლების ნაცვლად ახლა მივიღებთ:

$$y = kx + b.$$

სწორედ ეს იქნება n წრფის განტოლება (გაგახსენებთ, რომ არც ერთი გარეშე წერტილი ამ განტოლებას არ აკმაყოფილებს: მოცემული წრფის ზემოთ მდებარე წერტილებისათვის $y>kx+b$, ქვემოთ მდებარე წერტილებისათვის $y<kx+b$. k-ს ეწოდება წრფის კუთხური კოეფიციენტი, b-ს—საწყისი ორდინატა). OEE_1 სამკუთხედიდან ადვილად გამოსარკვევია წრფის კუთხური კოეფიციენტის გეომეტრიული აზრი: ეს იმ კუთხის ტანგენსია, რომელსაც ჩვენი წრფე შეადგენს Ox ღერძის დადებით მიმართულებასთან. თუ კუთხე ბლაგვია, k უარყოფითია.

2. პირველი ხარისხის ყოველი განტოლება

$$Ax + By + C = 0 \qquad (3)$$

არის რაიმე წრფის განტოლება. მართლაც, A და B ორივე ერთბაშად არ შეიძლება ნულის ტოლი იყოს (რადგანაც, ჩვენი განტოლება პირველი ხარისხისა აღარ იქნება). ვთქვათ, $B \neq 0$, მაშინ განტოლება შეიძლება ამოიხსნას y-ის მიმართ. განტოლება მიიღებს ასეთ სახეს: $y = -\frac{A}{B}x - \frac{C}{B}$. თუ ახლა ავაგებთ წრფეს, რომლის კუთხური კოეფიციენტი k უდრის $-\frac{A}{B}$, საწყისი ორდინატა b კი $-\frac{C}{B}$, მაშინ, როგორც უკვე ვნახეთ, მისი განტოლება იქნება: $y=kx+b$, ანუ $y=-\frac{A}{B}x+\left(-\frac{C}{B}\right)$, ე. ი. მოცემულის ტოლძალოვანი იქნება. (შემთხვევა $B=0$; $A\neq 0$ მიგვიყვანს განტოლებამდე $x=-\frac{C}{A}$, ე. ი. x მუდმივია. ეს არის Oy ღერძის პარალელური წრფის განტოლება; როცა $C=0$, თვით Oy ღერძია).

ძირითადი ამოცანები წრფეზე

როგორც ვნახეთ, წრფე ცალსახად განისაზღვრება მისი განტოლებით. ამიტომ წრფის განტოლება წრფეს თითქოს „სახელის“ მაგივრობას უწევს. ყოველთვის ამბობენ: „$Ax+By+C=0$ წრფე“; ეს იმას ნიშნავს, რომ წრფე მოცემულია $Ax+By+C=0$ განტოლებით.

1) წ რ ფ ი ს ა გ ე ბ ა მ ი ს ი გ ა ნ ტ ო ლ ე ბ ი ს მ ი ხ ე დ ვ ი თ. იმისათვის, რომ წრფე ავაგოთ მისი განტოლების მიხედვით, ყველაზე ადვილია, ვიპოვოთ რომელიმე ორი წერტილი, რომლებიც ამ განტოლებას აკმაყოფილებს; როცა წერტილებს ავაგებთ, მათზე წრფეს ვავლებთ.

მ ა გ ა ლ ი თ ი. ავაგოთ წრფე $2x-3y+8=0$. ამ განტოლებას აკმაყოფილებს, მაგალითად, წერტილები $(-4; 0)$; $(-1; 2)$; $(5; 6)$, ... ავაგოთ რომელიმე ორი მათგანი, მაგალითად, $(-4; 0)$ და $(5; 6)$ და შევაერთოთ სახაზავით (უმჯობესია, თუ ისინი ახლოს არ იქნებიან ერთმანეთთან, თორემ მათზე სახაზავით გავლებული წრფე საკმაოდ ზუსტი არ გამოვა).

2) მოცემულია ორი სხვადასხვა წერტილი $A_1(x_1; y_1)$ და $A_2(x_2; y_2)$. ვიპოვოთ A_1A_2 წრფე (ეს იმას ნიშნავს, რომ ვიპოვოთ მისი განტოლება).

შევამოწმოთ, რომ საძიებელი განტოლება შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$(x-x_1)\cdot(y_2-y_1)-(y-y_1)\cdot(x_2-x_1)=0. \qquad (4)$$

უპირველეს ყოვლისა, ეს არის პირველი ხარისხის განტოლება x, y მიმდინარე კოორდინატების მიმართ; მაშასადამე, სწორედ ეს არის წრფის განტოლება. x და y მიმდინარე კოორდინატების

ნაცვლად ჩავსვათ ჯერ x_1 და y_1 შემდეგ x_2 და y_2. დავრწმუნდებით, რომ განტოლება გადაიქცევა იგივეობად; მაშასადამე, ეს წრფე გადის როგორც $(x_1; y_1)$ წერტილზე, ისე $(x_2; y_2)$ წერტილზეც.

ჩვეულებრივ, (4) განტოლებას დასამახსოვრებლად წერენ უფრო მოსახერხებელი ფორმით:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1}=\frac{y-y_1}{y_2-y_1}. \qquad (4')$$

მაგრამ ფორმულა არ გამოგვადგება, თუ $x_1=x_2$, ან $y_1=y_2$.

3) მოცემულია ორი წრფე: $Ax+By+C=0$ და $A'x+B'y+C'=0$. ვიპოვოთ მათი გადაკვეთის წერტილი. გადაკვეთის წერტილი ერთ წრფეზეც დევს და მეორეზეც. მაშასადამე, ამ წერტილის კოორდინატებმა ორივე განტოლება უნდა დააკმაყოფილოს. ამგვარად, მათ საპოვნელად ერთად უნდა ამოვხსნათ ეს განტოლებები (ორუცნობიანი ორი განტოლების სისტემა).

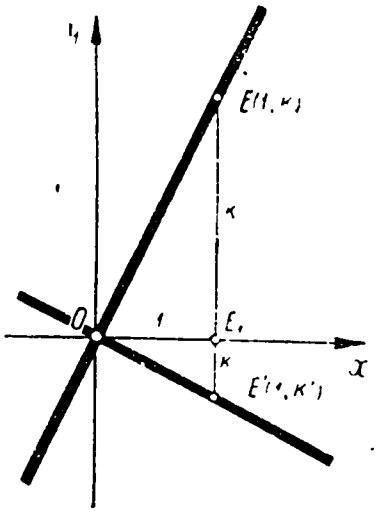
4) როგორც ადრე ნათქვამიდან გამომდინარეობს, k კუთხური კოეფიციენტი ახასიათებს წრფის მიმართულებას. ამიტომ ორი წრფის კუთხური კოეფიციენტის ტოლობა ამ წრფეების პარალელურობას ნიშნავს. რადგან $k=-\frac{A}{B}$, ამიტომ $Ax+Bx+C=0$ და $A'x+B'y+C'=0$ წრფეების პარალელურობის პირობა $k=k'$ ასე შეიძლება ჩაიწეროს:

$$A:B=A':B'. \qquad (5)$$

5) მართობულობის პირობა. თუ წრფეები ურთიერთმართობულია, მაშინ ამ წრფეებით Ox ღერძთან შექმნილი α და α' კუთხეები ერთმანეთისგან განსხვავდება 90°-ით: $\alpha'=\alpha+90°$, ამიტომ მათი კუთხური კოეფიციენტები k და k' აკმაყოფილებს $kk'=-1$ ტოლობას. ეს ყველაზე ადვილად შეიძლება დავინახოთ მე-13 ნახაზზე. ამ ნახაზზე OEE' სამკუთხედი მართკუთხაა, k და $-k'$ ჰიპოტენუზაზე კათეტების გეგმილებს წარმოადგენს, ამიტომ მათი ნამრავლი სიმაღლის კვადრატის ტოლია: $k\cdot(-k')=OE_1=1$. მართობულობის პირობას სხვანაირად ასე წერენ: $k'=-\frac{1}{k}$, ან, $k=-\frac{A}{B}$, $k'=-\frac{A}{B}$ ტოლობათა ძალით—შემდეგი სახით:

$$AA'+BB'=0. \qquad (6)$$

ამოცანა 7. (2; —3) წერტილზე $4x-3y+2=0$ წრფის მართობული წრფე გავავლოთ.



ნახ. 13.

ამოხსნა. მიმართულება რომ მართობული გახდეს, საკმარისია (6) პირობის შესრულებისას A და B კოეფიციენტებს ადგილები შევუნაცვლოთ და ერთ-ერთ მათგანს შევუცვალოთ ნიშანი: $A=4$, $B=-3$; ახლა ავიღოთ $A'=+3$, $B'=4$. უკვე შეიძლება დაიწეროს საძიებელი წრფის განტოლება: $3x+4y+C'=0$. ჯერჯერობით უცნობი წევრი C' განისაზღვრება იმ პირობიდან, რომ მოცემული წერტილი (2; — 3) უნდა მდებარეობდეს ამ წრფეზე: $3\cdot 2+4\cdot(-3)+C'=0$ ანუ $C'=6$.

პასუხი: $3x+4y+6=0$.

6) მანძილი წერტილსა და წრფეს შორის. ამოვხსნათ ამ ამოცანის კერძო შემთხვევა: ვიპოვოთ O (0; 0) სათავიდან $Ax+By+C=0$ წრფეზე დაშვებული p მართობის სიგრძე. ამოხსნა მოსახერხებელია წარიმართოს ასეთი სქემით:

1. ვიპოვოთ O (0; 0)-დან $Ax+By+C=0$ წრფეზე დაშვებული მართობის განტოლება (იხ. ამოცანა 7).

პასუხი: $Bx-Ay=0$.

2. O სათავის O' გეგმილი მოცემულ წრფეზე მიიღება განტოლებათა ერთობლივი ამოხსნით:

$$Ax+By+C=0 \text{ და } Bx-Ay=0.$$

პასუხი:

$$x=-\frac{CA}{A^2+B^2},\quad y=-\frac{CB}{A^2+B^2}.$$

3. გვრჩება მხოლოდ ვიპოვოთ p საძიებელი მანძილი როგორც მანძილი O და O'-ს შორის:

$$p=+\sqrt{(x-0)^2+(y-0)^2}=$$

$$=+\sqrt{\frac{C^2A^2}{(A^2+B^2)^2}+\frac{C^2B^2}{(A^2+B^2)^2}}=\frac{|C|}{+\sqrt{A^2+B^2}}. \qquad (7)$$

ზოგადი შემთხვევა: „ვიპოვოთ d მანძილი $P_0(x_0; y_0)$ წერტილიდან $Ax+By+C=0$ წრფე-

ძდე“ — შეიძლება იმავე გზით ამოიხსნას. ამის შედეგად მივიღებთ, რომ საძიებელი მანძილი

$$d = \frac{|C|}{+\sqrt{A^2+B^2}} = \frac{|Ax_0+By_0+C|}{+\sqrt{A^2+B^2}}, \qquad (7')$$

ე. ი. მანძილი $(x_0; y_0)$ წერტილიდან $Ax+By+C=0$ წრფემდე, უდრის წრფის განტოლების მარცხენა ნაწილში $(x_0; y_0)$ წერტილის კოორდინატების ჩასმის შედეგად მიღებული გამოსახულების აბსოლუტური მნიშვნელობის „მანორმალებელ“ $\sqrt{A^2+B^2}$ ფესვზე გაყოფის შედეგს.

წრეწირი

როგორც ცნობილია, წრეწირი ეწოდება სიბრტყის იმ წერტილთა სიმრავლეს, რომლებიც მოცემული C წერტილიდან (ცენტრიდან) მოცემული R მანძილით (რადიუსით) არის დაშორებული. ეს განმარტება დეკარტეს კოორდინატთა სისტემის მიმართ ანალიზურად ჩავწეროთ. ვთქვათ, მოცემულია C $(a; b)$. მაშინ წრეწირის ნებისმიერი P $(x; y)$ წერტილისათვის $PC=R$, ე. ი.

$$\sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2}=R,$$

ანუ

$$(x-a)^2+(y-b)^2=R^2. \qquad (8)$$

ეს არის წრეწირის (ზოგადი) განტოლება. თუ გავხსნით ფრჩხილებს: $x^2+y^2-2ax-2by+a^2+b^2-R^2=0$, დავრწმუნდებით, რომ ეს არის x-ის და y-ის მიმართ მეორე ხარისხის ზოგადი განტოლების კერძო შემთხვევა:

$$Ax^2+Bxy+Cy^2+Dx+Ey+F=0. \qquad (9)$$

ჩვენს შემთხვევაში $A=C=1$, $B=0$. ირკვევა, რომ x და y დეკარტეს კოორდინატების მიმართ ყოველი მეორე ხარისხის განტოლება, რომელშიც x^2-ის და y^2-ის კოეფიციენტები ტოლია (აბსოლუტური მნიშვნელობითაც და ნიშნითაც: $A=C$), ხოლო xy-ის კოეფიციენტი უდრის ნულს ($B=0$), არის რაიმე წრეწირის განტოლება (შესაძლებელია, ნულოვანი რადიუსის მქონე), ან მას სიბრტყის არც ერთი (ნამდვილი) წერტილი არ აკმაყოფილებს.

ა მ ო ც ა ნ ა 8. ავაგოთ წრეწირი $2x^2+2y^2+3y=0$.

განტოლება ასე გადავწეროთ:

$$x^2+y^2+\frac{3}{2}y+\frac{9}{16}=\frac{9}{16}, \text{ ან } x^2+\left(y+\frac{3}{4}\right)^2=\left(\frac{3}{4}\right)^2.$$

თუ შევადარებთ წრეწირის ზოგად განტოლებას, ვნახავთ, რომ $a=0$, $b=-\frac{3}{4}$, $R=\frac{3}{4}$. ახლა აგება ადვილია.

თუ მეორე ხარისხის ზოგად განტოლებაში $A\neq C$ ან $B\neq 0$, მაშინ ასეთი განტოლება წრეწირს არ მოგვცემს. თურმე აქ შესაძლებელია მხოლოდ შემდეგი წირები: პარაბოლა, ელიფსი, ჰიპერბოლა ან (თუ განტოლების მარცხენა ნაწილი იშლება პირველი ხარისხის მამრავლებად) წრფეთა წყვილი. ყველა ამ წირს მეორე რიგის წირი ეწოდება. სხვათა შორის ხდება ისეც, რომ სიბრტყის არც ერთი წერტილი განტოლებას არ აკმაყოფილებს, მაგალითად: $2x^2+3y^2+1=0$ (წარმოსახვითი ელიფსი).

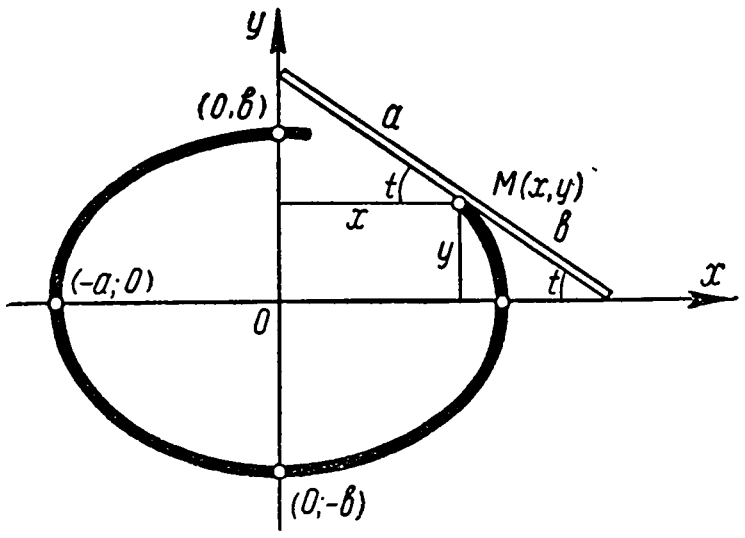
გეომეტრიული ამოცანების ანალიზური ამოხსნა

გეომეტრიული ამოცანების ანალიზური მეთოდით ამოხსნისას პირველ რიგში ირჩევენ კოორდინატთა სისტემას (მარტივი გამოთვლა სისტემის მოხერხებულად არჩევაზეა დამოკიდებული). შემდეგ ამ სისტემაში პოულობენ მოცემული წერტილების კოორდინატებს და მოცემული წრფეების, წრეწირის და სხვათა განტოლებებს. ამით ამოცანა გადადის ანალიზურ ენაზე და ანალიზური გეომეტრიის ამოცანად იქცევა.

მ ა გ ა ლ ი თ ი 1. დავამტკიცოთ, რომ ABC სამკუთხედის სამი სიმაღლე ყოველთვის ერთ წერტილში გადაიკვეთება. ერთ-ერთი სიმაღლე OC მივიჩნიოთ Oy ღერძად, ხოლო შესაბამისი AB ფუძე Ox ღერძად. წვეროების კოორდინატული აღნიშვნაა: A $(-p; 0)$, B $(q; 0)$, C $(0; h)$ (h სიმაღლეა, p, q ფუძეზე CA და CB გვერდების გეგმილები). (4) ფორმულით შევადგინოთ ფერდების განტოლებანი:

$$hx-py+ph=0 \ (CA),$$

$$hx+qy+ph=0 \ (CB).$$



ნახ. 14.

(შეამოწმეთ: $(-p;\ 0)$, აგრეთვე $(0;\ h)$ დევს CA-ზე). შევადგინოთ გვერდითი სიმაღლეების განტოლებები: $px+hy=pq$, $qx-hy=-pq$ (იხ. ამოცანა 7). მათი გადაკვეთის წერტილი $\left(0;\frac{pq}{h}\right)$, რომელიც ნაპოვნია ამ განტოლებების ერთდროული ამოხსნით, ცხადია, მესამე სიმაღლეზე დევს, რადგან მისი აბსცისა უდრის ნულს.

მაგალითი 2. ელიფსი. გამოარკვიეთ, როგორ მრუდს აღწერს წერტილი ისეთი სწორხაზოვანი ჩხირისა, რომელიც თავისი ბოლოებით ორი ურთიერთმართობული Ox და Oy წრფეების გასწვრივ სრიალებს. ეს წრფეები კოორდინატთა ღერძებად მივიჩნიოთ. წერტილის დაშორება ჩხირის ბოლოებიდან a და b-თი აღვნიშნოთ (a და b მუდმივი სიდიდეებია, რადგან წერტილი ჩხირზე არ მოძრაობს).

t-თი აღვნიშნოთ (ცვლადი) კუთხე, რომელსაც ჩხირი Ox ღერძის უარყოფით მიმართულებასთან ქმნის. მე-14 ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$x=a\cos t,\ y=b\sin t.$$

ეს ორი განტოლება შეიძლება განვიხილოთ როგორც მრუდის განტოლების განსაკუთრებული სახე. აქ x-სა და y-ს შორის კავშირი დამხმარე t ცვლადის (პარამეტრის) საშუალებითაა მოცემული. მრუდის ასეთ განტოლებებს პარამეტრული განტოლებები ეწოდება. ამ განტოლებათა საშუალებით მრუდის აგება ასე ხდება: t პარამეტრს აძლევენ ნებისმიერ მნიშვნელობებს, შემდეგ გამოთვლიან შესაბამის x და y მნიშვნელობებს, რაც მრუდის წერტილს განსაზღვრავს. ასეთი გზით შეგვიძლია ავაგოთ მრუდის ნებისმიერი რაოდენობის წერტილი. თუ გსურთ მიიღოთ მრუდის ჩვეულებრივი განტოლება, საჭიროა, პარამეტრული განტოლებებიდან გამორიცხოთ t პარამეტრი (ეს ყოველთვის ადვილი არ არის!), ე. ი. უნდა შეადგინოთ მათი შედეგი, რომელიც არ შეიცავს t-ს. მოცემულ შემთხვევაში, თუ გავყოფთ პირველ განტოლებას a-ზე, მეორეს b-ზე, ავიყვანთ კვადრატში და შევკრებთ, მივიღებთ:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2+\left(\frac{y}{b}\right)^2=\sin^2 t+\cos^2 t=1,\ \text{ანუ}$$

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1. \qquad (10)$$

ეს არის ელიფსის უმარტივესი განტოლება. ელიფსი მრუდია, რომელიც წრეწირის ერთი მიმართულებით თანაბარი გაჭიმვით ან შეკუმშვით მიიღება (იხ. სტატია „გეომეტრიული გარდაქმნები“). როგორც ცნობილია, ელიფსზე მოძრაობს პლანეტები მზის გარშემო (კეპლერის პირველი კანონი), დედამიწის გარშემო კი — ხელოვნური თანამგზავრები.

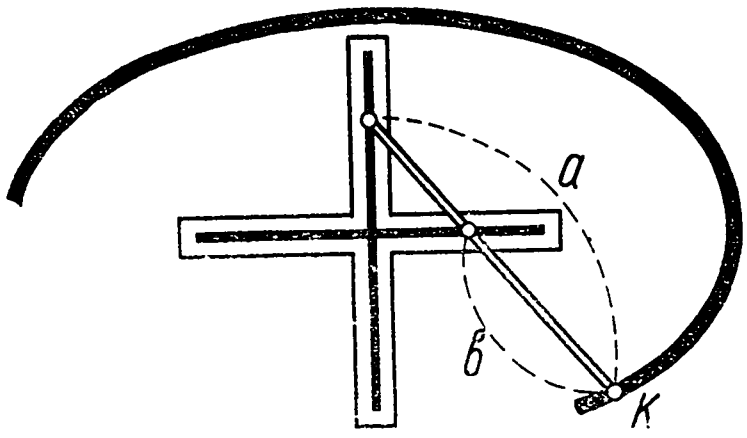
ელიფსოგრაფი. ახლახან განხილული ამოცანიდან გამომდინარეობს ელიფსის დასახაზი მოწყობილობის კონსტრუქცია (ელიფსური ფარგალი ანუ ელიფსოგრაფი). ამისათვის მოძრავ ჩხირს მივამაგროთ ფანქარი, რომელიც შეიძლება ჩხირზე ხრახნით დავამაგროთ. ეს ფანქარი ჩხირის ზემოთ აღწერილი მოძრაობით გამოხაზავს ელიფსს. მისი a, b ნახევარღერძები დამოკიდებულია იმაზე, ფანქარი ჩხირზე რომელ წერტილშია დამაგრებული. (10) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ჩხირის შუა წერტილი აღწერს წრეწირს, რადგან შუა წერტილისათვის $a=b$! მე-15 ნახაზზე ნაჩვენებია რამდენადმე სხვანაირი კონსტრუქციის ელიფსოგრაფი.

ამოუხსნადი ამოცანები აგებაზე

ერთი შეხედვით დაუჯერებელია, რომ არსებობს ამოცანები აგებაზე, რომელთა ამოხსნა ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით არ შეიძლება. მაგრამ აქ არაფერია უცნაური, რადგან ფარგალი და სახაზავი ზოგჯერ გამოუსადეგარი ხელსაწყოე-

ბია (ან, უკეთ რომ ვთქვათ, არ არის საკმაოდ ზუსტი) ზოგიერთი ამოცანის ამოსახსნელად. ასეთია, მაგალითად, ამოცანა ნებისმიერი კუთხის სამ ტოლ ნაწილად გაყოფის შესახებ (კუთხის ტრისექცია), ან კუბის გაორკეცების შესახებ („ავაგოთ მოცემულ კუბთან შედარებით ორმაგი მოცულობის კუბის წიბო“). ზოგიერთი ასეთი ამოცანა ამოიხსნება, თუ ფარგალს და სახაზავს მივუერთებთ ხელსაწყოს, რომელიც დახაზავს პარაბოლას, ან მივუერთებთ ელიფსოგრაფს, ან კიდევ რაიმე ხელსაწყოს.

იმისათვის, რომ უფრო გარკვევით გავარჩიოთ, რომელი ამოცანები ამოიხსნება ფარგლის და სახაზავის საშუალებით, ასე ვიმსჯელოთ: სახაზავი საშუალებას გვაძლევს, ავაგოთ წრფე, რომელიც გადის უკვე აგებულ ორ წერტილზე; ვიპოვოთ წრფეთა გადაკვეთის წერტილი. თუ სახაზავს მივუერთებთ ფარგალს, შეგვიძლია ავაგოთ ნებისმიერი რადიუსის წრეწირი მოცემული ცენტრით; ვიპოვოთ ორი წრეწირის გადაკვეთის წერტილი და წრეწირის წრფესთან გადაკვეთის წერტილი. მივუდგეთ საკითხს ანალიზურად. უპირველეს ყოვლისა, შევნიშნოთ, რომ ერთი სახაზავი საშუალებას გვაძლევს მხოლოდ პირველი ხარისხის ამოცანა ამოვხსნათ. მაგალითად, ორი წრფის გადაკვეთა შეესაბამება დეკარტეს კოორდინატებში ორი პირველი ხარისხის ორუცნობიან განტოლებათა სისტემის ამოხსნას. თუ სახაზავს მივუერთებთ



ნახ. 15.

ფარგალს, თურმე შეგვიძლია, ამოვხსნათ მეორე ხარისხის ყველა ამოცანა, ე. ი. ისეთი ამოცანები, რომლებიც ანალიზურად დაიყვანება მთელ რიგ ერთუცნობიან კვადრატულ განტოლებებზე. წრეწირის წრფესთან გადაკვეთა ნიშნავს წრფისა და წრეწირის განტოლებების ერთდროულად ამოხსნას. ერთი კოორდინატის გამორიცხვის შემდეგ მივიღებთ კვადრატულ განტოლებას ერთი უცნობი კოორდინატით. ორი წრეწირის გადაკვეთა შეიძლება შევცვალოთ ერთ-ერთი მათგანის გადაკვეთით ქორდასთან, რომელიც გადის გადაკვეთის ორივე წერტილზე. ანალიზურად ეს სავსებით ნათელია. დავწეროთ ამ წრეწირების განტოლება:

$$x^2 + y^2 + Dx + Ey + F = 0,$$
$$x^2 + y^2 + D'x + E'y + F' = 0.$$

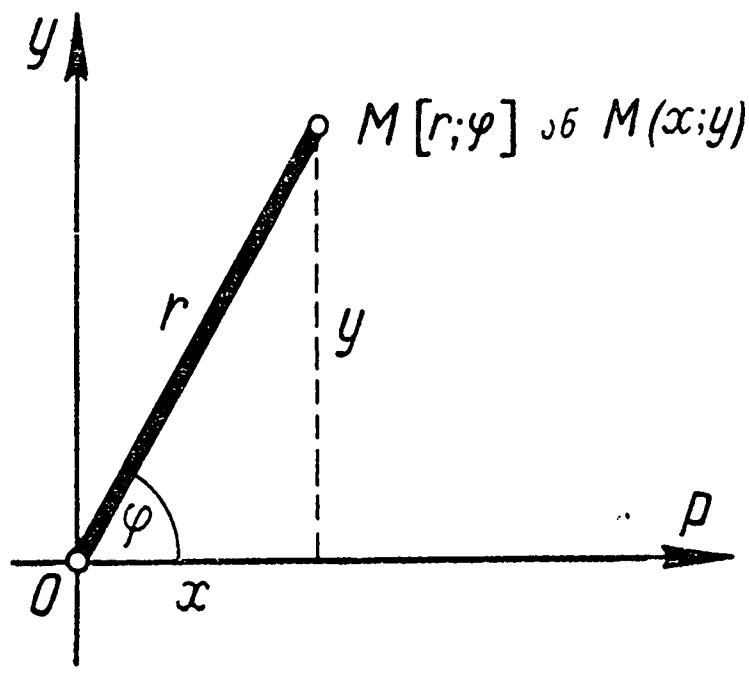
თუ ერთს გამოვაკლებთ მეორეს, მივიღებთ პირველი ხარისხის განტოლებას (ეს არის ნახსენები ქორდის განტოლება). მაშასადამე, ისევ მიიღება წრფის გადაკვეთა ერთ-ერთ წრეწირთან, რაც (როგორც იყო ნათქვამი) დაიყვანება ერთუცნობიან კვადრატულ განტოლებამდე. ამგვარად, სახაზავსა და ფარგალს შეუძლიათ ამოხსნან მხოლოდ ის ამოცანები, რომლებიც თანდათანობით დაიყვანება ერთუცნობიანი კვადრატული განტოლებების ამოხსნამდე. ამიტომ ყოველი განტოლება, რომელიც არ დაიყვანება კვადრატული განტოლების ამოხსნამდე (მაგალითად, $x^3=2$), არ შეიძლება სახაზავითა და ფარგლით გრაფიკულად ამოიხსნას. ამოცანა კუბის გაორმაგებაზე არის სწორედ ამოცანა $x^3=2$ განტოლების ამოხსნის შესახებ: თუ მოცემული კუბის წიბოა 1, მაშინ საძიებელი x წიბოსათვის ვღებულობთ სწორედ ამ განტოლებას. ამოცანა კუთხის ტრისექციის შესახებ (გარდა ზოგიერთი კერძო შემთხვევისა, მაგალითად, 90°-იანი კუთხისა) არის აგრეთვე მესამე ხარისხის ამოცანა. აქედან გამომდინარეობს მისი ამოუხსნადობა სახაზავისა და ფარგლის საშუალებით.

თუ ჩვენ ვისარგებლებთ პარაბოლას დასახაზავი ხელსაწყოთი და გამოვხაზავთ ორ პარაბოლას: $x^2=y$ და $2x=y^2$, მათი გადაკვეთის ადგილზე მივიღებთ წერტილს, რომლის აბსცისაც აკმაყოფილებს $x^3=2$ განტოლებას.

პოლარული კოორდინატები

მრავალი ამოცანის ამოხსნისას ხელსაყრელია ვისარგებლოთ ე. წ. პოლარული კოორდინატებით: სიბრტყეზე ირჩევენ უძრავ O წერტილს (პოლუსს) და მისგან გამოსულ OP სხივს (პოლარული ღერძი). M წერტილის მდებარეობა ამ შემთხვევაში

განისაზღვრება ორი რიცხვით: პოლუსიდან მისი r მანძილით და $\varphi = \angle POM$ კუთხით (ნახ. 16). r რიცხვს (პოლარულ რადიუსს) და φ (პოლარულ კუთხეს) M წერტილის პოლარული კოორდინატები ეწოდება.



ნახ. 16.

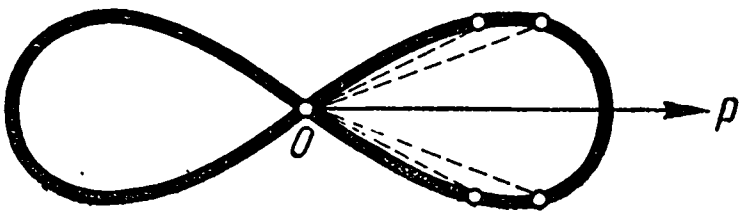
ხშირად ხელსაყრელია სიბრტყეზე პოლარულ კოორდინატებთან ერთად დეკარტეს კოორდინატების განხილვაც. განვიხილოთ ისეთი განლაგება, როცა პოლუსი მდებარეობს დეკარტეს სისტემის სათავეში, ხოლო პოლარული ღერძი ემთხვევა აბსცისთა ღერძს; მაშინ ნახაზი თვითონ გვიკარნახებს კავშირს პოლარულ და დეკარტეს კოორდინატებს შორის:

$$\begin{cases} x = r\cos\varphi, \\ y = r\sin\varphi. \end{cases} \qquad (11)$$

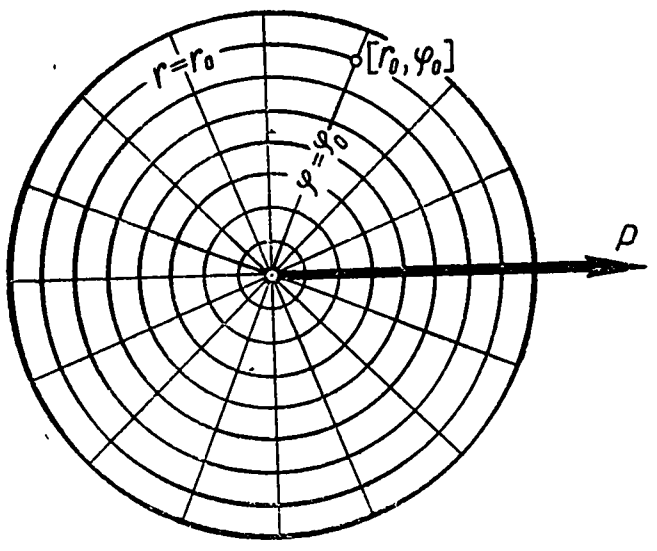
ეს ფორმულები საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ დეკარტეს კოდინატები, როცა ვიცით პოლარული კოორდინატები.

მ ა გ ა ლ ი თ ი. გამოვარკვიოთ $(x^2 + y^2)^2 = a^2(x^2 - y^2)$ მრუდის სახე (მას ჰქვია ლემნისკატა). მისი ფორმის გამოკვლევა უშუალოდ დაწერილი განტოლების მიხედვით არც ისე ადვილია. გადავიდეთ პოლარულ კოორდინატებზე. შევცვალოთ x და y (11) ფორმულების მიხედვით. მივიღებთ: $r^4 = a^2r^2(\cos^2\varphi - \sin^2\varphi)$, ან, თუ შევკვეცავთ r^2-ზე (ამით შეიძლება დაიკარგოს მრუდის მხოლოდ ერთი $r=0$ წერტილი), მივიღებთ: $r^2 = a^2\cos 2\varphi$, ანუ $r = \pm a\sqrt{\cos 2\varphi}$. ამ მარტივი განტოლებით ადვილია ჩვენი მრუდის აგება. მრუდს ვაგებთ წერტილებით (ნახ. 17). φ-ს ვაძლევთ სხვადასხვა მნიშვნელობებს, მაგალითად $\varphi = 0$, $\pm 15°$, $\pm 30°$, $\pm 45°$, $\pm 135°$,.... თუ გამოვთვლით შესაბამის r-ს, გვექნება $r = a$, $a\sqrt[4]{3/4}$, $a\sqrt{1/2}$, 0, 0. φ-ის იმ მნიშვნელობებისათვის, რომლებიც მოთავსებულია 45°-სა და 135°-ს შორის, აგრეთვე 225°-სა და 315°-ს შორის, კოსინუსი უარყოფითია და ამიტომ r წარმოსახვითია: წირს არა აქვს წერტილები პოლარული კუთხის ასეთი მნიშვნელობებისათვის.

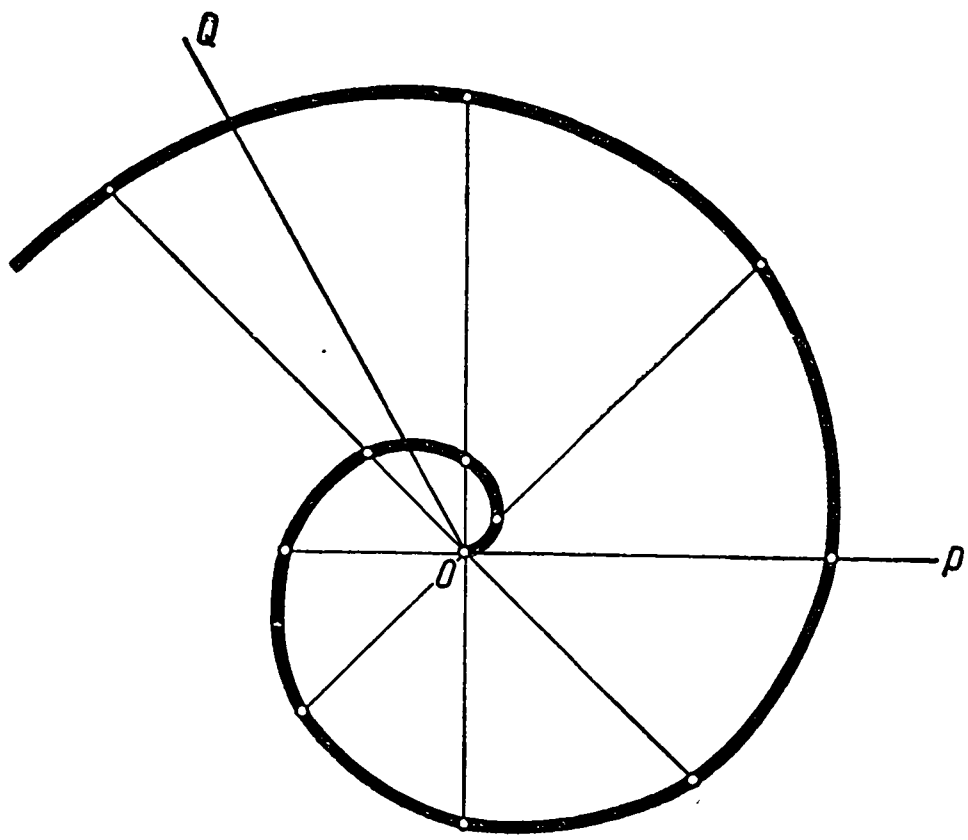
წერტილები, რომელთა პოლარულ რადიუსს მუდმივი მნიშვნელობა აქვს $r = C$, ქმნის C რადიუსიან წრეწირს, რომელიც შემოხაზულია პოლუსის გარშემო. φ-ის მუდმივი მნიშვნელობისათვის, $\varphi = \varphi_0$, მივიღებთ სხივს, რომელიც გამოდის პოლუსიდან და პოლარულ ღერძთან ადგენს φ_0 კუთხეს. ამგვარად მიღებულ (ე. ი. ერთი კოორდინატის მუდმივი მნიშვნელობისას) წირებს კოორდინატული წირები ეწოდება (ნახ. 18). დეკარტეს



ნ ხ. 17.



ნახ. 18.

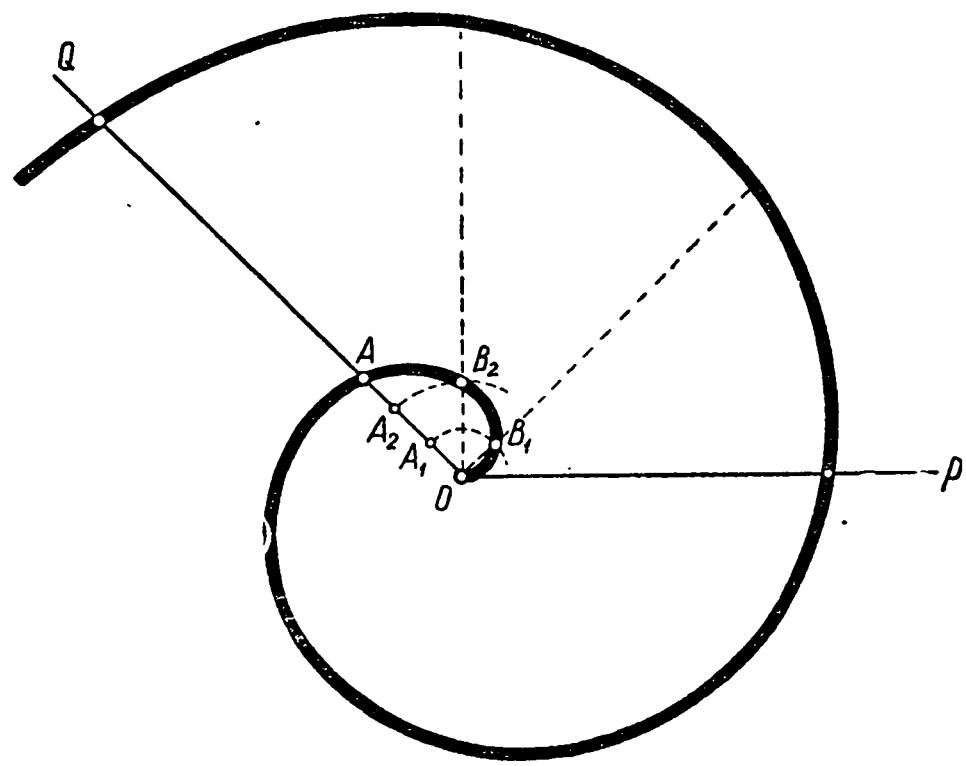


ნახ. 19.

სისტემაში კოორდინატული წირები კოორდინატთა ღერძების პარალელური წრფეებია.

არქიმედეს სპირალი. ეს არის მრუდი, რომელიც პოლარულ კოორდინატებში მოცემულია $r = C\varphi$ განტოლებით, სადაც C მუდმივია (ნახ. 19).

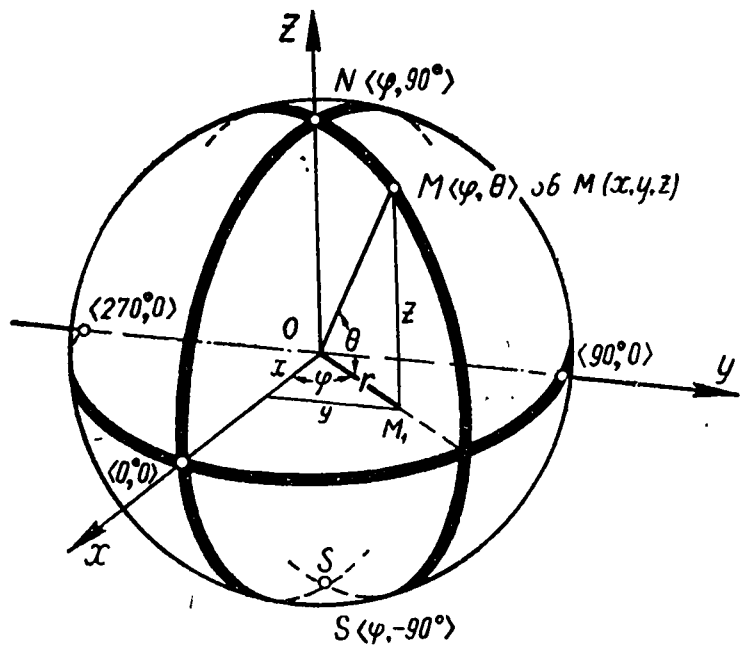
ამ წირის საშუალებით ყოველი კუთხე შეიძლება გაიყოს ნებისმიერ ტოლ ნაწილად (მაგალითად, სამად — კუთხის ტრისექცია). აი, როგორ ხდება ეს (ნახ. 20). ვთქვათ, ფურცელზე დახაზულია არქიმედეს სპირალი, რომელიც გამოდის კოორდინატთა პოლარული სისტემის O პოლუსიდან. OP პოლარული ღერძი სპირალისათვის წარმოადგენს მხებს. ამ ნახაზზე n ტოლ ნაწილად გასაყოფი მოცემული კუთხე გადავიტანოთ ისე, რომ მისი წვერო დაემთხვეს პოლუსს, ერთი გვერდი — OP პოლარულ ღერძს, ხოლო მეორე გადიოდეს პოლარული φ კუთხის ზრდის მიმართულებით (საათის ისრის საწინააღმდეგოდ). ამ მეორე გვერდის სპირალთან გადაკვეთის პირველი წერტილი (ათვლილი O-დან) A-თი აღვნიშნოთ, შემდეგ OA მონაკვეთი დავყოთ n ტოლ ნაწილად (ეს ადვილი გასაკეთებელია სახაზავითა და ფარგლით) და გავავლოთ OA მონაკვეთის დაყოფის $A_1, A_2, \ldots$ წერტილებზე წრეწირების რკალები სპირალის გადაკვეთამდე; ბოლოს, მიღებული გადაკვეთის წერტილები $B_1, B_2, \ldots$ შევაერთოთ პოლუსთან, და მოცემული POQ კუთხე დაიყოფა n ტოლ ნაწილად! ეს თქვენ თვითონ დაამტკიცეთ.



ნახ. 20.

კოორდინატები სფეროზე

სფეროზე წერტილის მდებარეობის მოცემა მოსახერხებელია ისე, როგორც ეს ხდება გეოგრაფიაში. R რადიუსიან მოცემულ სფეროზე ავარჩიოთ რაიმე ორი დიამეტრულად მოპირდაპირე წერტილი. ერთ-ერთ მათგანს N-ს პირობითად



ნახ. 21.

ვუწოდოთ ჩრდილოეთი პოლუსი, მეორეს S-ს — სამხრეთი. რომელიმე „მერიდიანს“ (უმოკლესი მანძილი სფეროზე S-დან N-მდე) საწყისი მერიდიანი ვუწოდოთ; სფეროს O ცენტრზე გამავალ და SN ღერძის მართობულ სიბრტყეს ვუწოდოთ ეკვატორული, ხოლო მის სფეროსთან გადაკვეთას — ეკვატორი. ეკვატორზე ავარჩიოთ მიმართულება, მაგალითად, საათის ისრის საწინააღმდეგო, თუ შევხედავთ N-დან. სფეროს ნებისმიერი M წერტილის გრძედი ვუწოდოთ φ კუთხეს საწყისი მერიდიანის სიბრტყესა და M წერტილსა და SN ღერძზე გამავალ სიბრტყეს შორის (კუთხე უნდა აითვალოს ეკვატორზე არჩეული მიმართულების შესაბამისი მიმართულებით). M წერტილის განედი ვუწოდოთ θ კუთხეს OM რადიუსსა და ეკვატორის სიბრტყეს შორის (θ ითვლება დადებითად ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს წერტილებისათვის, ხოლო უარყოფითად — სამხრეთ ნახევარსფეროს წერტილებისათვის). დავწეროთ: $M\langle\varphi;\ \theta\rangle$ ისე რომ პირველ ადგილზე იყოს გრძედი, მეორეზე — განედი.

მაგალითი. შეამოწმეთ 21-ე ნახაზზე კოორდინატულ აღნიშვნათა სისწორე.

ერთნაირი φ_0 გრძედის მქონე ყველა წერტილი ავსებს მთელ მერიდიანს, რომლის განტოლება ამის გამო არის $\varphi = \varphi_0$; ერთნაირი θ_0 განედის მქონე ყველა წერტილი ავსებს $\theta=\theta_0$ პარალელს. განტოლება, რომელიც აკავშირებს მიმდინარე φ და θ კოორდინატებს, ისევე როგორც ბრტყელ გეომეტრიაში, მრუდს განსაზღვრავს; უტოლობა, რომელიც შეესაბამება ამ განტოლებას, განსაზღვრავს ერთ ან რამდენიმე არეს, რაზეც ეს მრუდი სფეროს ყოფს. მაგალითად, უტოლობა $\theta<0$ განსაზღვრავს სამხრეთ ნახევარსფეროს, $\theta > 0$ — ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს. განტოლება $\theta = 0$ არის ეკვატორის განტოლება.

თუ სფეროს განვიხილავთ დეკარტეს კოორდინატებში სივრცეში და სფეროს O ცენტრს სათავედ მივიჩნევთ, ხოლო SN ღერძს z ღერძად, x ღერძს მივმართავთ $\langle 0;\ 0\rangle$ წერტილზე, ხოლო y ღერძს $\langle 90°;\ 0\rangle$-ზე, მაშინ ნებისმიერი M წერტილის დეკარტეს კოორდინატები x, y, z ადვილად გამოისახება ამ წერტილის გრძედისა და განედის საშუალებით. ამისათვის ჯერ გამოვსახოთ ამ წერტილის M_1 გეგმილის კოორდინატები Oxy სიბრტყეზე, სადაც ჩვეულებრივ განლაგებულია კოორდინატთა პოლარული სისტემა. ნახ. 21-ზე ჩანს, რომ M_1 $\langle x;\ y;\ 0\rangle$ წერტილისათვის პოლარული რადიუსი $r = R\cos\theta$, ხოლო პოლარული φ კუთხე ემთხვევა M წერტილის გრძედს. ამის გარდა, $z = R\sin\theta$. თუ გავითვალისწინებთ (11) ფორმულებს, მივიღებთ:

$$\left.\begin{aligned} x &= R\cos\theta\cos\varphi,\\ y &= R\cos\theta\sin\varphi,\\ z &= R\sin\theta. \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

ამ ფორმულებით გამოითვლება $M\ (x,\ y,\ z)$ წერტილის დეკარტეს კოორდინატები, თუ ცნობილია მისი სფერული კოორდინატები φ და θ.

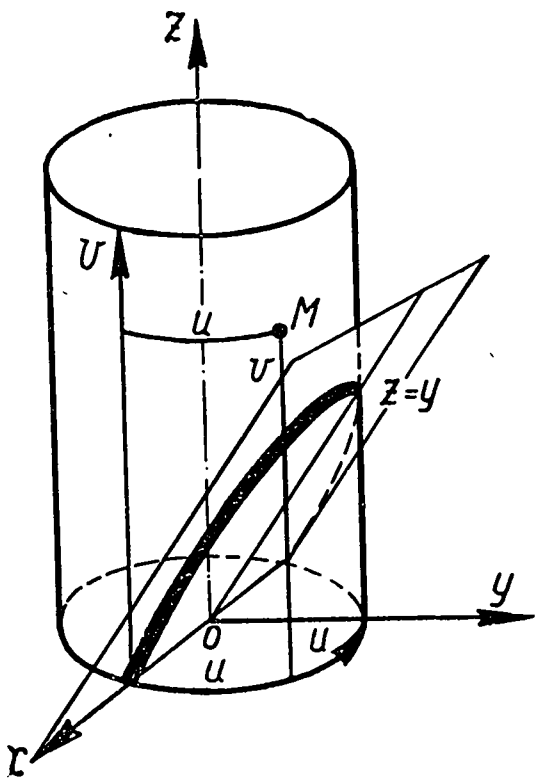
აღნიშნულ ფორმულებს შეიძლება სხვა თვალსაზრისითაც შევხედოთ. φ და θ მივიჩნიოთ ცვლადებად და მათ მივანიჭოთ ყველა შესაძლებელი მნიშვნელობა ბუნებრივ საზღვრებში $0\leqslant\varphi<360°$, $-90°\leqslant\theta\leqslant+90$; მაშინ წერტილი $M\langle\varphi;\ \theta\rangle$ გადაინაცვლებს სფეროზე და ყველა შესაძლებელ მდებარეობას მიიღებს. ეს მოგვაგონებს წირის პარამეტრულ განტოლებებს, რომლებშიც დეკარტეს x, y, z კოორდინატები გამოსახულია ერთი t ცვლადი პარამეტრით. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ ახლა x, y, z გამოისახება ორი პარამეტრით. ამიტომ წირი კი არ მიიღება (ერთგანზომილებიანი წარმონაქმნი), არამედ მიიღება ზედაპირი (ორგანზომილებიანი წარმონაქმნი). მსგავს განტოლებებს ზედაპირის პარამეტრული განტოლებები ეწოდება; ცვლად პარამეტრებს ხშირად აღნიშნავენ u და v ასოებით. ამგვარად, სფეროს განტოლებები ასე ჩავწეროთ:

$$\left.\begin{aligned} x &= R\cos v\cdot\cos u,\\ y &= R\cos v\cdot\sin u,\\ z &= R\sin v, \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} &0\leqslant u<360^\circ,\\ &-90^\circ\leqslant v\leqslant+90^\circ. \end{aligned} \qquad (13)$$

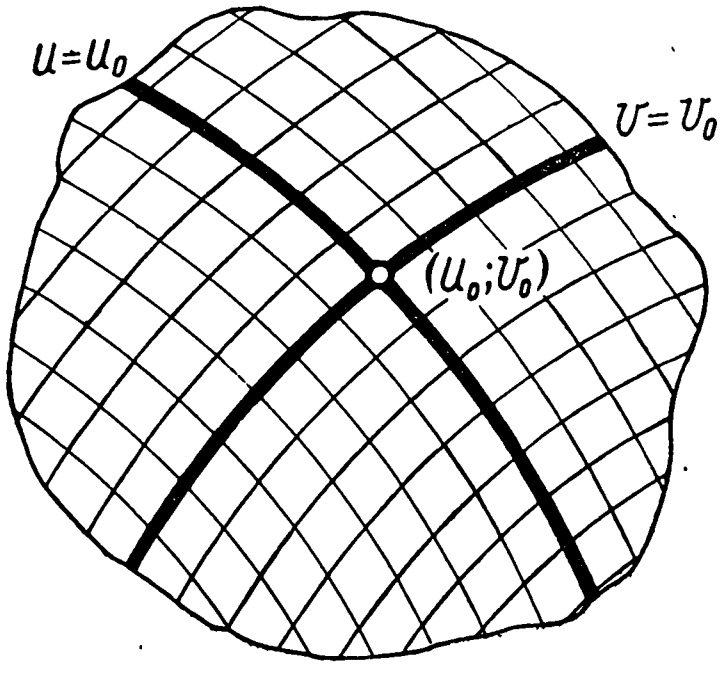
თუ ამ განტოლებებიდან გამოვრიცხავთ u და v პარამეტრებს, მივიღებთ სფეროს ჩვეულებრივ განტოლებას (ამისათვის ყველაზე მარტივია, ავიყვანოთ ისინი კვადრატში და შევკრიბოთ; სამწუხაროდ, ცვლადების გამორიცხვა ყოველთვის ადვილი როდია): $x^2+y^2+z^2=R^2$.

მრუდწირული კოორდინატები. კოორდინატთა ზოგადი იდეა

კოორდინატთა სისტემა შეიძლება დავადგინოთ ნებისმიერ ზედაპირზე, რომელზეც წერტილის მდებარეობას ისევ ორი რიცხვით განვსაზღვრავთ. ამისათვის მთელი ზედაპირი რაიმე ხერხით მრუდთა ორი ოჯახით ისე დავფაროთ, რომ მის ყოველ წერტილზე (შესაძლებელია, მცირე გამონაკლისის გარდა) ყოველი ოჯახიდან მხოლოდ ერთი წირი გადიოდეს. ახლა ისღაა საჭირო, ყოველი ოჯახის წირს დავურთოთ რიცხვითი ნიშნები რაიმე მყარი წესის შესაბამისად, რომელიც საშუალებას მოგვცემს რიცხვითი ნიშნების მიხედვით ვიპოვოთ ჩვენთვის საჭირო წირი (ნახ. 22). ზედაპირის M წერტილის კოორდინატებია u, v რიცხვები, სადაც u არის M წერტილზე გამავალი პირველი ოჯახის წირის რიცხვითი ნიშანი, ხოლო v რიცხვითი ნიშანია მეორე ოჯახის წირისა, რომელიც M წერტილზე გადის. წინანდებურად ვწერთ: M $(u; v)$; u, v რიცხვებს M წერტილის მრუდწირული კოორდინატები ეწოდება. ნათქვამი უფრო ნათელი



ნახ. 23.



ნახ. 22.

გახდება, თუ მაგალითისთვის სფეროს გამოვიყენებთ. სფერო მთლიანად შეიძლება დაიფაროს მერიდიანებით (პირველი ოჯახი); ყოველ მათგანს შეესაბამება რიცხვითი ნიშანი, სახელდობრ, გრძედის მნიშვნელობა u (ან φ). ყველა პარალელი წარმოქმნის მეორე ოჯახს; ყოველ მათგანს უპასუხებს რიცხვითი ნიშანი — განედი v (ან θ). სფეროს ყოველ წერტილზე (პოლუსების გამოკლებით) გადის მხოლოდ ერთი მერიდიანი და მხოლოდ ერთი პარალელი.

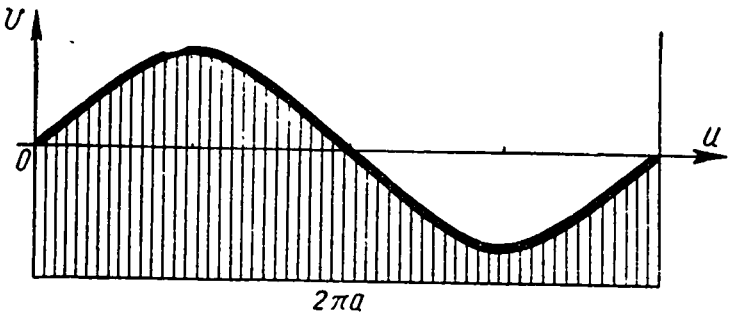
კიდევ ერთი მაგალითის სახით განვიხილოთ გვერდითი ზედაპირი წრიული ცილინდრისა, რომლის სიმაღლეა H, რადიუსი — a (ნახ. 23). პირველ ოჯახად მივიჩნიოთ მისი მსახველების სისტემა და ერთ-ერთი მსახველი მივიღოთ საწყისად. ყოველ მსახველს მივუწეროთ u ნიშანი, რომელიც ტოლია ფუძის წრეწირზე საწყის მსახველსა და მოცემულ მსახველს შორის რკალის სიგრძისა (რკალი უნდა ავიღოთ, მაგალითად, საათის ისრის საწინააღმდეგოდ). მეორე ოჯახად მივიღოთ ზედაპირის ჰორიზონტალური კვეთების სისტემა. რიცხვით v ნიშნად ჩავთვალოთ სიმაღლე, რომელზე-

დაც გავლებულია კვეთა ფუძის ზემოთ. x, y, z ღერძების სათანადო შერჩევისას სივრცეში მოცემული ზედაპირის ნებისმიერი M $(x; y; z)$ წერტილისათვის გვექნება:

$$x=a\cos\frac{u}{a},\quad y=a\sin\frac{u}{a},\quad z=v, \qquad (14)$$
$$0\leqslant u<2\pi a,\ 0\leqslant v\leqslant H.$$

(აქ კოსინუსისა და სინუსის არგუმენტები გამოსახულია არა გრადუსებში, არამედ რადიანებში.) ეს განტოლებები შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც ცილინდრის ზედაპირის პარამეტრული განტოლებები.

ამოცანა 9. როგორი მრუდის მიხედვით უნდა გამოიჭრას თუნუქის ნაჭერი წყალსადინარი მილის მუხლის დასამზადებლად, რომ სათანადო მოღუნვის შემდეგ მივიღოთ a რადიუსიანი ცილინდრი, რომელიც გადაკვეთილია ფუძისადმი 45°-ით დახრილი სიბრტყით?



ნახ. 24.

ამოხსნა. ვისარგებლოთ ცილინდრის ზედაპირის პარამეტრული განტოლებებით:

$$x=a\cos\frac{u}{a},$$
$$y=a\sin\frac{u}{a},$$
$$z=v.$$

გადამკვეთი სიბრტყე გავავლოთ Ox ღერძზე. მისი განტოლებაა $z=y$. ახლახან დაწერილ განტოლებებთან ამ განტოლების კომბინირება გვაძლევს გადაკვეთის მრუდის განტოლებას $v=a\sin\frac{u}{a}$ მრუდწირულ კოორდინატებში. ზედაპირის სიბრტყეზე გაშლის შემდეგ მრუდწირული u და v კოორდინატები გადაიქცევა დეკარტეს კოორდინატებად.

ამგვარად, თუნუქის ნაჭერი ზემოდან მოხაზული უნდა იყოს $v=a\sin\frac{u}{a}$ სინუსოიდით. აქ u და v უკვე დეკარტეს კოორდინატებია სიბრტყეზე (ნახ. 24).

როგორც სფეროს და ცილინდრული ზედაპირის შემთხვევაში, ისევე ზოგად შემთხვევაშიც ზედაპირის პარამეტრული განტოლებებით მოცემას თან მოჰყვება ზედაპირზე კოორდინატთა მრუდწირული სისტემის დადგენა. მართლაც, ზედაპირის ნებისმიერი M $(x; y; z)$ წერტილის x, y, z დეკარტეს კოორდინატების u, v ორი პარამეტრის შემწეობით გამოსახვა (ეს ზოგად შემთხვევაში ასე ჩაიწერება: $x=\varphi(u; v)$, $y=\psi(u; v)$, $z=\omega(u; v)$, φ, ψ, ω — ორი არგუმენტის ფუნქციებია) იმის საშუალებას გვაძლევს, რომ (თუ ვიცით u, v რიცხვთა წყვილი) ვიპოვოთ შესაბამისი x, y, z კოორდინატები და, მაშასადამე, M წერტილის მდებარეობა ზედაპირზე. u, v რიცხვები მისი კოორდინატებია. თუ ერთ-ერთ მათგანს მუდმივ მნიშვნელობას მივცემთ, მაგალითად, $u=u_0$, მივიღებთ x, y, z-ის გამოსახულებას ერთი v პარამეტრის საშუალებით, ე. ი. მრუდის პარამეტრულ განტოლებას. ეს არის ერთი ოჯახის კოორდინატული წირი; მისი განტოლებაა $u=u_0$. ზუსტად ასევე, წირი $v=v_0$ მეორე ოჯახის კოორდინატული წირია.

ფუნქციები გუნებასა და ტექნიკაში

მათემატიკაში ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ცნებას ფუნქციის ცნება წარმოადგენს. ყველგან, სადაც კი არის ერთმანეთთან ისე დაკავშირებული სიდიდეები, რომ ერთ სიდიდეთა (არგუმენტთა) შეცვლით იცვლება მეორე სიდიდეები (ფუნქციები), საქმე ფუნქციურ დამოკიდებულებასთან გვაქვს. ეს დამოკიდებულება შეიძლება გამოისახოს სხვადასხვანაირად: ფორმულებით, გრაფიკე-

ბით, ცხრილებით. არის შემთხვევები, როცა დამოკიდებულების ფორმულით გამოსახვა შეუძლებელია. მაგალითად, დროთა განმავლობაში ჰაერის ტემპერატურა იცვლება, მაგრამ ფორმულა, რომელიც გამოსახავს დროის მოცემულ მომენტში ჰაერის ტემპერატურას, არ არსებობს. ზოგ შემთხვევაში უნდა დავკმაყოფილდეთ ფუნქციათა გრაფიკით (მაგალითად, თვითჩამწერი ხელსაწყო თერმოგრაფი გვაძლევს ჰაერის ტემპერატურის გრაფიკს როგორც დროის ფუნქციას) ან მხოლოდ არგუმენტის ზოგიერთი მნიშვნელობისათვის ფუნქციის მნიშვნელობათა ცხრილით.

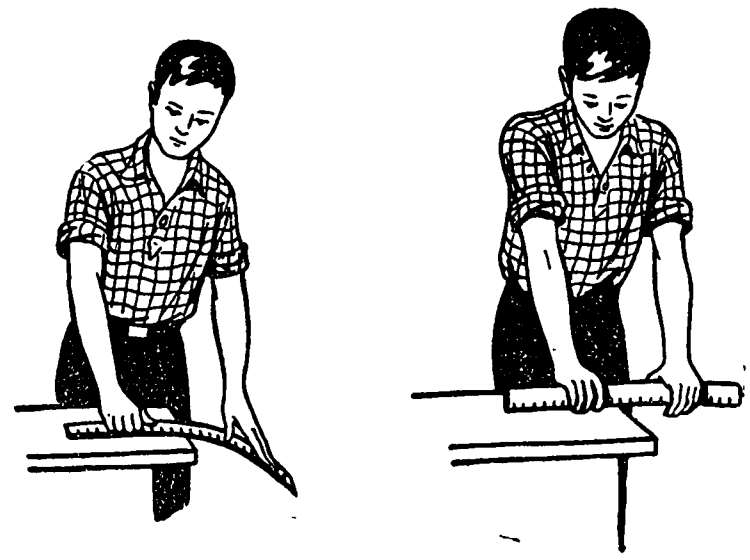
ფუნქციათა აღსაწერად ყველაზე უფრო ფორმულებით სარგებლობენ. სკოლაში ისეთ შემთხვევებს სწავლობენ, როცა ეს ფორმულები შედარებით მარტივია. მაგალითად, წრის ფართობის დამოკიდებულება თავისივე რადიუსთან გამოისახება $S=\pi r^2$ ფორმულით, დენის დამოკიდებულება წინააღმდეგობასთან $I=\frac{V_0}{R}$ ფორმულით და სხვ. იბადება კითხვა: გვხვდება თუ არა პრაქტიკაში დამოკიდებულებანი, რომლებიც გამოისახებიან უფრო რთული ფუნქციების საშუალებით, მაგალითად, მაღალი ხარისხის მრავალწევრებით, მაჩვენებლიანი, ლოგარითმული და ტრიგონომეტრიული ფუნქციებით? ჩვენ აქ მოგითხრობთ ზოგიერთ შემთხვევაზე, როცა ასეთი ფუნქციები გვხვდება ფიზიკისა და ტექნიკის ამოცანებში.

კოჭის სიხისტე

ტექნიკაში კოჭებს უწოდებენ ხის ან ლითონის ძელებს, რომლებზეც დაყრდნობილია შენობათა გადასახურავი. კოჭებმა უნდა გაუძლოს გადასახურავისა და იმ საგნების წონას, რაც შენობაში იქნება. ამ სიმძიმისაგან კოჭები იზნიქება. თუ კოჭები ძალიან ჩაიზნიქა, გადასახურავი შეიძლება ჩაინგრეს. ამიტომ შენობის აგებამდე საჭიროა გაანგარიშდეს, გაუძლებს თუ არა კოჭები დატვირთვას. ამ გაანგარიშებებს ასრულებს სპეციალური მეცნიერება — მასალათა გამძლეობა.

კოჭის ჩაღუნვა ბევრ რამეზეა დამოკიდებული. ერთი და იგივე დატვირთვისაგან ხის კოჭი უფრო მეტად ჩაიღუნება, ვიდრე ფოლადის კოჭი. გრძელი კოჭი უფრო მეტად ჩაიღუნება, ვიდრე მოკლე, წვრილი უფრო მეტად — ვიდრე მსხვილი. კოჭის ჩაღუნვის დამოკიდებულება მასალასთან, რომლისაგანაც დამზადებულია კოჭი, დაკავშირებულია განსაკუთრებულ E სიდიდესთან, რომელსაც იუნგის მოდული ეწოდება.

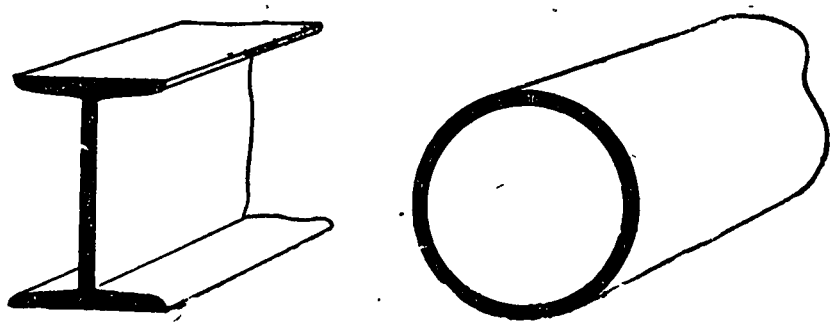
იუნგის მოდული კგ/სმ²-ით იზომება. თუ 1 მ-ის სიგრძისა და 1 სმ² კვეთის ღეროს დავამზადებთ ნივთიერებისაგან, რომლის იუნგის მოდულია E კგ/სმ² და ამ ღეროს ზედ 1 კგ საწონს ჩამოვკიდებთ, მაშინ ღერო გაიჭიმება $\frac{1}{E}$ მ-ზე. ფოლადისათვის იუნგის მოდული უდრის 2 150 000 კგ/სმ², მუხისათვის კი—105 000 კგ/სმ², ე. ი. მუხის იუნგის მოდული 20-ჯერ მცირეა.



ნახ. 1.

რაც უფრო მეტია იუნგის მოდული, მით უფრო ნაკლებია კოჭის ჩაღუნვა. ამიტომ ფოლადის კოჭები უფრო ნაკლებად ჩაიღუნება, ვიდრე ხის კოჭები.

კოჭის ჩაღუნვის იმ მასალასთან დამოკიდებულების გამოკვლევა, რომლისაგანაც კოჭია დამზადებული, ფიზიკის საქმე უფროა, ვიდრე მათემატიკისა. მათემატიკოსებს აინტერესებთ ჩაღუნვის დამოკიდებულება კოჭის სიგრძესთან და კვეთის ფორმასა და ზომასთან. ის, რომ კვეთის ფორმა გავლენას ახდენს ჩაღუნვაზე, უბრალო ცდითაც შეიძლება შევნიშნოთ. ჩვეულებრივი სასკოლო სახაზავის მოხრა იოლია, თუ ბრტყლად დავიჭერთ, მაგრამ წიბოზე მოხრა ძნელია (ნახ. 1). ეს ცდა იმასაც გვიჩვენებს, რომ ჩაღუნვა კვეთის ფართობზე არ არის დამოკიდებული (სახაზავის კვეთის ფართობი ხომ ერთი და იგივეა, სახაზავი ბრტყლად იდება თუ წიბოზე). ირკვევა, რომ მთავარი კვეთის



ნახ. 2.

ფართობი კი არა, მისი ინერციის მომენტია. კვეთის ინერციის I მომენტი ასე გამოითვლება: კოჭის კვეთს წარმოდგენით ჭრიან ძალიან თხელ ჰორიზონტალურ შრეებად და თითოეული შრის ფართობს ამრავლებენ ამ შრიდან შუა შრემდე მანძილის კვადრატზე. ამ ნამრავლთა ჯამი გვაძლევს კოჭის კვეთის ინერციის მომენტს. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ R რადიუსიანი მრგვალი კვეთის ინერციის მომენტი უდრის $\frac{\pi R^4}{4}$, კვადრატული კვეთის კი, რომელსაც a გვერდი აქვს, უდრის $\frac{a^4}{12}$.

კოჭის კვეთის ინერციის მომენტისა და იუნგის მოდულის EI ნამრავლს კოჭის სიხისტე ეწოდება. რაც უფრო მეტია კოჭის სიხისტე, მით უფრო ძნელია მისი მოღუნვა. კოჭის სიხისტე შეიძლება გავზარდოთ ისე, რომ არ შევცვალოთ მისი კვეთის ფართობი. ამისათვის კოჭის მთავარ მასას თავი უნდა მოვუყაროთ შუა შრიდან დიდ მანძილზე, მაგალითად, კვეთს მივცეთ ისეთი ფორმა, როგორც მე-2 ნახაზზეა (მარცხნივ) წარმოდგენილი (ორტესებრი კოჭი), ან მთლიანი კოჭის კვეთი მილით შევცვალოთ (ნახ. 2, მარჯვნივ). ამიტომაა, რომ, მაგალითად, ველოსიპედის კორპუსს მთლიანი ღეროსაგან კი არა, მილისაგან ამზადებენ.

კოჭის ჩაღუნვა

კოჭის ჩაღუნვა არა მარტო მის სიხისტეზეა დამოკიდებული, არამედ კოჭის სიგრძეზე, დატვირთვის განაწილებაზე, იმაზე, ორივე ბოლოა კედელში ჩამაგრებული, თუ მხოლოდ ერთი და სხვ. კოჭის უდიდესი ჩაღუნვა რომ ვიპოვოთ, საჭიროა ვიცოდეთ ფორმა, რომელსაც კოჭი ღუნვის შემდეგ მიიღებს.

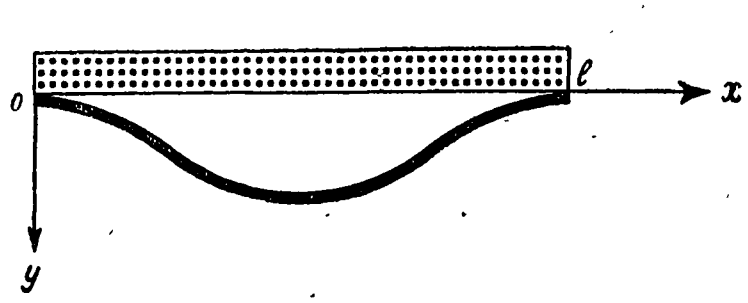
ავიღოთ l სიგრძის კოჭი, მისი ორივე ბოლო კედელში ჩავამაგროთ და მასზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვა Q მოვათავსოთ. მაშინ y ჩაღუნვა კოჭის მარცხენა თავიდან x მანძილით დაშორებულ წერტილში გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$y = \frac{Q}{24EIl}(x^4 - 2lx^3 + l^2x^2),$$

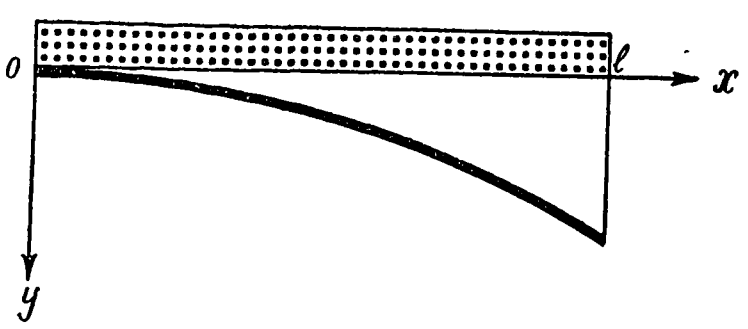
ე. ი. მეოთხე ხარისხის მრავალწევრით. ამ მრავალწევრის გრაფიკი გამოსახულია მე-3ა ნახაზზე. ცხადია, კოჭის ყველაზე დიდი ჩაღუნვა იქნება შუაში, ე. ი. როცა $x = \frac{l}{2}$. ის ტოლია $y_{max} = \frac{Ql^3}{384EI}$.

კოჭებს, რომლებზეც აივნები ეყრდნობა, კედელში დებენ მხოლოდ ერთი ბოლოთი, მეორე ბოლო თავისუფალია. ასეთ კოჭებს კონსოლური კოჭები ეწოდება. თანაბრად დატვირთული კოჭის ფორმა გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$y = \frac{Q}{24EIl}(x^4 - 4lx^3 + 6l^2x^2)$$



ნახ. 3ა.



ნახ. 3ბ.

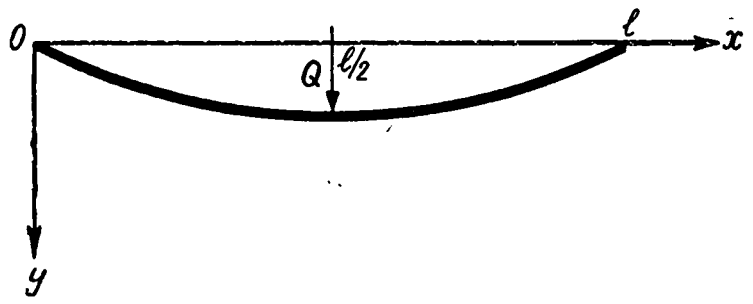
(ნახ. 3ბ). აქ უკვე უდიდესი ჩაღუნვა იქნება კოჭის თავისუფალ ბოლოზე, ე. ი. როცა $x = l$. ის უდრის:

$$y_{max} = \frac{Ql^3}{8EI},$$

ე. ი. 48-ჯერ მეტია, ვიდრე იმ კოჭზე, რომლის ორივე ბოლო კედელშია დატანებული.

ჩაწერტებული დატვირთვა

კოჭის ჩაღუნვა იმაზეცაა დამოკიდებული, როგორაა განაწილებული დატვირთვა. განვიხილოთ კოჭი, რომლის ორივე ბოლო თავისუფლად დევს საყრდენებზე, Q ტვირთს კი თავი მოვუყაროთ ერთ წერტილზე, კოჭის შუაში (ნახ. 4). ასეთ შემ-



ნახ. 4.

თხვევაში მოღუნული კოჭის ფორმა გამოისახება არა ერთი, არამედ ორი განტოლებით. კოჭის მარცხენა ნაწილის ჩაღუნვა უდრის:

$$y_{\text{მარცხ.}} = \frac{Q}{48EI}[3l^2x - 4x^3],$$

მარჯვენასი კი:

$$y_{\text{მარჯვ.}} = \frac{Q}{48EI}[3l^2(l-x) - 4(l-x)^3].$$

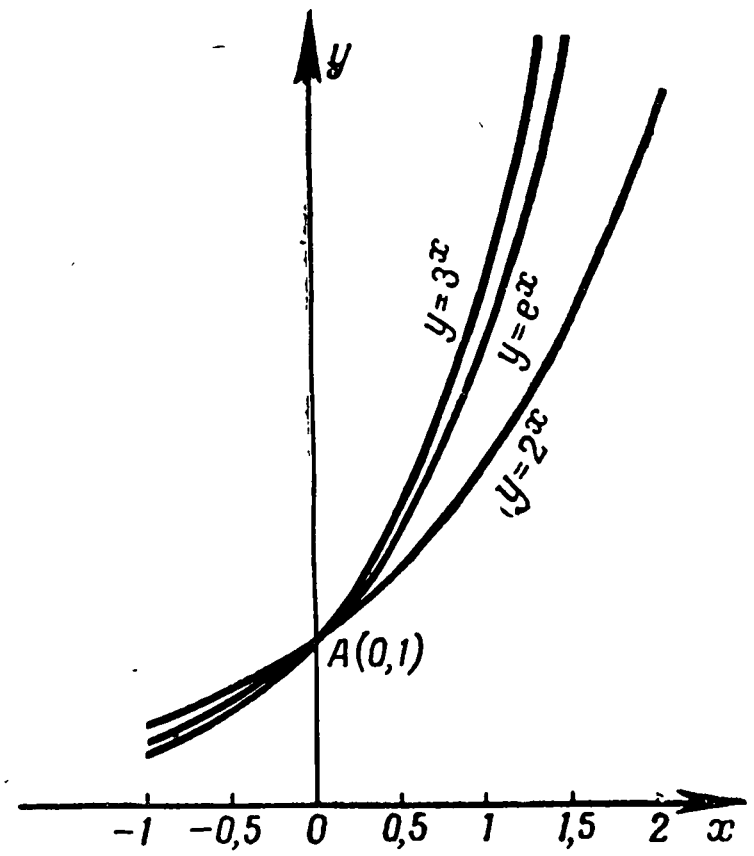
უდიდესი ჩაღუნვა ტოლია:

$$y_{max} = \frac{Ql^3}{48EI}.$$

აღსანიშნავია, რომ ამ შემთხვევაში ერთი და იგივე ფუნქცია — კოჭის ჩაღუნვა წერტილში, რომელიც მარცხენა ბოლოდან $x = \frac{2}{l}$-მანძილითაა დაშორებული, გამოისახება არა ერთი, არამედ ორი სხვადასხვა ფორმულით.

რიცხვი e. ნატურალური ლოგარითმები

ფიზიკის იმ კანონების ჩასაწერად, რომლებიც მაჩვენებლიან ფუნქციასთანაა დაკავშირებული, მოსახერხებელია ვისარგებლოთ განსაკუთრებული რიცხვით, რომელსაც e რიცხვი ეწოდება. ეს რიცხვი შეიძლება შემდეგნაირად განისაზღვროს: დავხაზოთ $y = a^x$ ფუნქციების გრაფიკები a ფუძის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. რაც უფრო დიდია ეს ფუძე, მით უფრო მკვეთრად აღიმართება გრაფიკები ზემოთ (ნახ. 5). ეს გრაფიკები



ნახ. 5.

Oy ღერძს A (0; 1) წერტილში სხვადასხვა კუთხით კვეთს. მაგალითად, კუთხე Oy ღერძსა და $y = 2^x$ წირს შორის დაახლოებით 55°15′ ტოლია, ხოლო $y = 3^x$ წირისათვის ეს კუთხე თითქმის 42°20′ უდრის. ამიტომ მოიძებნება ისეთი რიცხვი e, მოთავსებული 2-სა და 3-ს შორის, რომ $y = e^x$ წირი Oy ღერძს 45° კუთხით გადაკვეთს.

უფრო ზუსტი გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ e რიცხვი ტოლია 2,71828... e ფუძიან ლოგარითმებს ნატურალური ლოგარითმები ჰქვია. მათ აღნიშნავენ $\ln x$. თუ ვიცით რიცხვის ათობითი ლოგარითმი, შეიძლება მისი ნატურალური ლოგარითმი ვიპოვოთ $\ln x = \frac{\lg x}{M}$ ფორმულით, სადაც $M = 0{,}43429...$ — ე. წ. გადასვლის მოდული.

ერთ ადამიანს შეუძლია გემის შეჩერება

ნავსადგურთან მიახლოებული გემიდან ნაპირზე ბაგირს ისვრიან. ბაგირს რამდენჯერმე შემოახვევენ ბოძს და ამგვარად აჩერებენ გემს. როგორ ახერხებს ერთი ადამიანი გემის შეჩერებას? თურმე მას ხახუნის ძალა ეხმარება. თუ ბაგირს ერთხელ შემოვახვევთ ბოძს, ბოძთან ბაგირის F_0 ძალით

ხახუნის გამო შეიძლება გავაწონასწოროთ F ძალა, რომელიც a-ჯერ მეტია F_0-ზე. $\frac{F}{F_0}=a$ ფარდობა იმ მასალებზეა დამოკიდებული, რომელთაგანაც ბაგირი და ბოძია დამზადებული. მაგალითად, თუ ბაგირი ქერელისაა, ბოძი კი რკინისა, მაშინ $a=3{,}5$. სხვანაირად რომ ვთქვათ, 100 კბ ძალით (ხახუნის ძალის „დახმარებით“) შეიძლება 350 კბ ძალის გაწონასწორება. ბოძის გარშემო ბაგირის ყოველი ახალი ნახვევი ძალთა შეფარდებას ზრდის a-ჯერ. ამგვარად, თუ ბაგირს ორჯერ შემოვახვევთ ბოძს, ამ ძალთა შეფარდება a^2-ის ტოლი იქნება, ხოლო თუ სამჯერ, მაშინ $\frac{F}{F_0}=a^3$. საზოგადოდ, თუ ნახვევთა რიცხვი x-ის ტოლია (x შეიძლება არც იყოს მთელი რიცხვი), მაშინ $\frac{F}{F_0}=a^x$. თუ ქერელის ბაგირს რკინის ბოძს ორჯერ შემოვახვევთ, მაშინ 100 კბ ძალით შეიძლება გავაწონასწოროთ დაახლოებით 1,2 ტ, ხოლო სამჯერ შემოხვევისას — 4,2 ტ ძალა.

ნივთიერების რადიოაქტიური დაშლა

რადიოაქტიური ნივთიერების დაშლის დროს მისი რაოდენობა მცირდება. გარკვეული დროის შემდეგ ნივთიერების პირვანდელი რაოდენობის ნახევარი რჩება. დროის ამ t_0 შუალედს ნივთიერების ნახევარდაშლის პერიოდი ჰქვია. თუ კიდევ t_0 წელი გაივლის, დარჩენილი ნახევრიდან კვლავ ნივთიერების ნახევარი დაიშლება და დარჩება თავდაპირველი რაოდენობის მხოლოდ მეოთხედი. საზოგადოდ t წლის შემდეგ დარჩენილი ნივთიერების მასა ტოლი იქნება:

$$m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_0}},$$

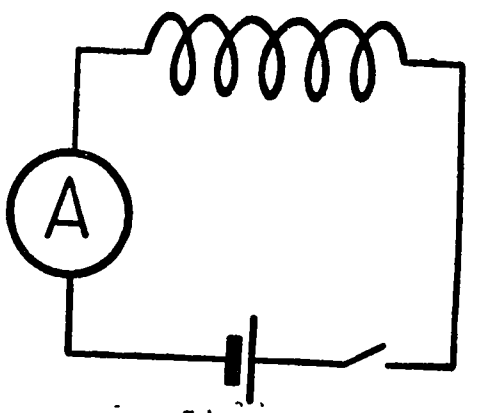
სადაც m_0 ნივთიერების თავდაპირველი მასაა. რაც უფრო დიდია ნახევარდაშლის პერიოდი, მით უფრო ნელა იშლება ნივთიერება. მაგალითად, ურანი-238 ნახევარდაშლის პერიოდი 4,5 მილიარდ წელს უდრის. მაშასადამე, დედამიწის არსებობის მთელი დროის განმავლობაში ურანის პირველადი მარაგის ნახევარიც კი არ დაშლილა. მაგრამ აი, რადიუმისათვის ნახევარდაშლის პერიოდი მხოლოდ 1590 წელია. მილიონი წლის წინათ მთელი დედამიწა რადიუმისაგან რომ ყოფილიყო შედგენილი, ახლა რადიუმის ერთი ატომიც კი არ იქნებოდა დარჩენილი. ის მხოლოდ იმიტომ არსებობს, რომ ურანის დაშლისას გამუდმებით ჩნდება რადიუმის ახალი ატომები.

მუდმივი დენის ჩართვა და გამორთვა

თუ გამომრთველს გადავაბრუნებთ, იმწამსვე აინთება ელექტრონათურა. ჩვენ ისე შევეჩვიეთ ამას, რომ არც ვუფიქრდებით, ერთბაშად ღებულობს თუ არა დენის ძალა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ავაწყოთ ელექტრული სქემა, რომელიც მე-6 ნახაზზეა ნაჩვენები, და ჩავრთოთ დენი. ამ შემთხვევაში კოჭის გამო დენის ძალა ნელა გაიზრდება, რადგანაც წრედში გაჩნდება საწინააღმდეგოდ მიმართული თვითინდუქციის დენი. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ დენის I ძალა დამოკიდებულია დროზე შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$I=\frac{V_0}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right).$$

აქ R წრედის წინააღმდეგობაა, L — კოჭის თვითინდუქცია, V_0 კი დენის დაძაბულობა. ვნახოთ, რა მოსდის დენის ძალას დროის ცვალებადობასთან ერთად. ფუნქცია $e^{-\frac{R}{L}t}$ შეიძლება ჩაიწეროს $\left(\frac{1}{e}\right)^{\frac{R}{L}t}$ სახით. მაგრამ $\frac{1}{e}$ ნაკლებია ერთზე და, როგორც ცნობილია, მაჩვენებლიანი ფუნქცია მიისწრაფის ნულისაკენ მაჩვენებლის ზრდასთან ერთად, თუ



ნახ. 6.

მისი ფუძე ერთზე ნაკლებია. ამიტომ $e^{-\frac{R}{L}t}$ საკლები დენის ძალის ფორმულაში მცირდება, უახლოვდება ნულს და რაღაც დროის შემდეგ დენის ძალა თითქმის ზუსტად გაუტოლდება $\frac{V_0}{R}$-ს. ეს არის სწორედ ის მნიშვნელობა, რომელიც ცნობილია ომის კანონიდან. განსხვავება დენის ძალასა და $\frac{V_0}{R}$ მნიშვნელობას შორის იმდენად შემცირდება, რომ იგი არც ერთ ხელსაწყოზე არ ჩანს.

ჩაიდნის გაცივება

თქვენ ალბათ შეგიმჩნევიათ, რომ ცეცხლიდან გადმოღებული ჩაიდანი თავდაპირველად ჩქარა ცივდება, ხოლო შემდეგ გაცივება საგრძნობლად ნელა მიმდინარეობს. ეს იმიტომ, რომ გაცივების სიჩქარე ჩაიდნის ტემპერატურისა და გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურის სხვაობის პროპორციულია, და რაც უფრო მცირდება ეს სხვაობა, მით უფრო ნელა ცივდება ჩაიდანი. თუ ჩაიდნის ტემპერატურა T_0 იყო, ხოლო ჰაერის ტემპერატურა T_1, მაშინ t წამის შემდეგ ჩაიდნის ტემპერატურა გამოისახება ფორმულით:

$$T=(T_0-T_1)e^{-kt}+T_1,$$

სადაც k რიცხვი დამოკიდებულია ჩაიდნის ფორმაზე, მასალაზე, რომლისაგანაც ჩაიდანია დამზადებული და ჩაიდანში მოთავსებული წყლის რაოდენობაზე.

რატომ ვარდება პარაშუტისტი თანაბრად

უჰაერო სივრცეში სხეულების ვარდნისას მათი სიჩქარე განუწყვეტლივ იზრდება. ვარდნის სიჩქარე იზრდება აგრეთვე სხეულის ჰაერში ვარდნისას, მაგრამ გარკვეულ სიდიდეს ვერ გადააჭარბებს.

განვიხილოთ პარაშუტისტის ვარდნა. თუ ვიგულისხმებთ, რომ ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა პარაშუტისტის ვარდნის სიჩქარის პროპორციულია, ე. ი. $F=kv$, მაშინ t წამის შემდეგ ვარდნის სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$v=\frac{mg}{k}\left(1-e^{-\frac{kt}{m}}\right)$$

(m პარაშუტისტის მასაა). მიაქციეთ ყურადღება ამ ფორმულის მსგავსებას დენის ძალის ფორმულასთან. დროის რაღაც მონაკვეთის შემდეგ $e^{-\frac{kt}{m}}$ ძალიან მცირე რიცხვი იქნება და ვარდნის სიჩქარე თითქმის ზუსტად გაუტოლდება $\frac{mg}{k}$, ე. ი. ვარდნა თითქმის თანაბარი გახდება. პროპორციულობის k კოეფიციენტი პარაშუტის სიდიდეზეა დამოკიდებული.

აღნიშნული ფორმულა გამოდგება არა მარტო პარაშუტისტის ვარდნის, არამედ წვიმის წვეთების, ან ბუმბულის და სხვათა ვარდნის შესასწავლადაც. ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მცირეა $\frac{mg}{k}$ ფარდობა, მით უფრო ნელა ვარდება სხეული. ამით აიხსნება, რატომ ვარდება ბუმბული ქვაზე უფრო ნელა: მას პატარა მასა აქვს, ხოლო ზედაპირის ფართობი საკმაოდ დიდი და ჰაერი მნიშვნელოვან წინააღმდეგობას უწევს მის ვარდნას.

როგორ ზომავენ სიმაღლეს ბარომეტრის საშუალებით

რაც უფრო მაღლა ადიან ალპინისტები მთაში, მით უფრო მცირდება ჰაერის წნევა. ამით შეიძლება ვისარგებლოთ და ბარომეტრის დახმარებით განვსაზღვროთ ასვლის სიმაღლე. როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს, მუდმივი ტემპერატურის დროს ორი წერტილის სიმაღლეთა სხვაობა გამოისახება ასეთი ფორმულით:

$$h_2-h_1=\frac{p_0\,(t_0+273{,}1)}{W_0}\ln\frac{p_1}{p_2},$$

აქ p_1 და p_2 ჰაერის წნევაა h_1 და h_2 სიმაღლეებზე, p_0 ჰაერის წნევაა ზღვის დონეზე, W_0 არის 1 მ³ ჰაერის წონა 0°-ტემპერატურისა და p_0 წნევისას, t_0 კი ჰაერის ტემპერატურა. ეს ფორმულა სამართლიანია არა მეტისმეტად დიდი სიმაღლეებისათვის. საბჭოთა კავშირში საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის პროგრამის მიხედვით რაკეტების

დახმარებით ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ დიდი სიმაღლეებისათვის ძალაშია წნევის სიმაღლესთან დაკავშირებული ცვალებადობის სხვა კანონები.

საზოგადოდ, ყოველ ფიზიკურ ფორმულას გამოყენების შეზღუდვის არე გააჩნია — ის სამართლიანია გარკვეულ პირობებში. საქმე ისაა, რომ ყოველი ფიზიკური ფორმულის გამოყვანისას ახდენენ გარკვეულ დაშვებებს, რომლებიც მხოლოდ მიახლოებითია. როცა ეს დაშვებები სწორი არაა, ფორმულა კარგავს ძალას.

რამდენი საწვავი უნდა წაიღოს რაკეტამ

მრავალი რთული მათემატიკური ამოცანის ამოხსნა გვიხდება საპლანეტათშორისო მოგზაურობის თეორიაში. ერთ-ერთი მათგანია საწვავის იმ რაოდენობის განსაზღვრის ამოცანა, რომელიც აუცილებელია რაკეტისათვის საჭირო v სიჩქარის მისანიჭებლად. ეს M რაოდენობა დამოკიდებულია თვით რაკეტის m მასაზე (საწვავის გარეშე) და რაკეტის ძრავიდან წვის პროდუქტების გამოდენის v_0 სიჩქარეზე.

თუ ჰაერის წინააღმდეგობასა და დედამიწის მიზიდულობას არ გავითვალისწინებთ, მაშინ საწვავის რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$M = m\left(e^{\frac{v}{v_0}} - 1\right)$$

(კ. ციოლკოვსკის ფორმულა). მაგალითად, რაკეტას, რომლის მასაა 1,5 ტ, რომ მივანიჭოთ 8 კმ/წმ სიჩქარე, გაზების გამოდენის 2 კმ/წმ სიჩქარის დროს უნდა ავიღოთ დაახლოებით 80 ტ საწვავი. გაზების გამოდენის სიჩქარის გაზრდა 4 კმ/წმ-მდე რომ მოხერხდეს, მაშინ სულ 10 ტ საწვავი დაგვჭირდება. საზოგადოდ, რაც უფრო დიდი v_0 სიჩქარით გამოედინება გაზი რაკეტიდან, მით უფრო მცირე იქნება $e^{\frac{v}{v_0}}$ და მით უფრო ნაკლები საწვავი დაგვჭირდება. საწვავის რაოდენობის შემცირების მეორე ხერხს ერთსაფეხურიანი რაკეტის მრავალსაფეხურიანი რაკეტით შეცვლა წარმოადგენს.

ჰარმონიული რხევები

ჩვენ განვიხილეთ რამდენიმე მაგალითი ფიზიკიდან და ტექნიკიდან, რომლებშიც ასე თუ ისე გვხვდება მაჩვენებლიანი ფუნქცია. ახლა განვიხილოთ ისეთი მაგალითები, რომლებიც დაკავშირებულია ტრიგონომეტრიულ ფუნქციებთან. დავიწყოთ ჰარმონიული რხევებით. ავიღოთ, მაგალითად, ზამბარაზე დაკიდებული საწონი და ვუბიძგოთ მას ქვემოთ. საწონი დაიწყებს რხევას ზევით და ქვევით.

როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს, საწონის გადახრა წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოისახება ფორმულით:

$$s = \frac{v_0}{\omega}\sin\ \omega t.$$

აქ v_0 ის სიჩქარეა, რომლითაც საწონს ვუბიძგებთ, ხოლო $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, სადაც m საწონის მასაა და k ზამბარის სიხისტე (ძალა, რომელიც საჭიროა ზამბარის 1 სმ-ით გასაჭიმავად).

რხევებს, რომლებიც

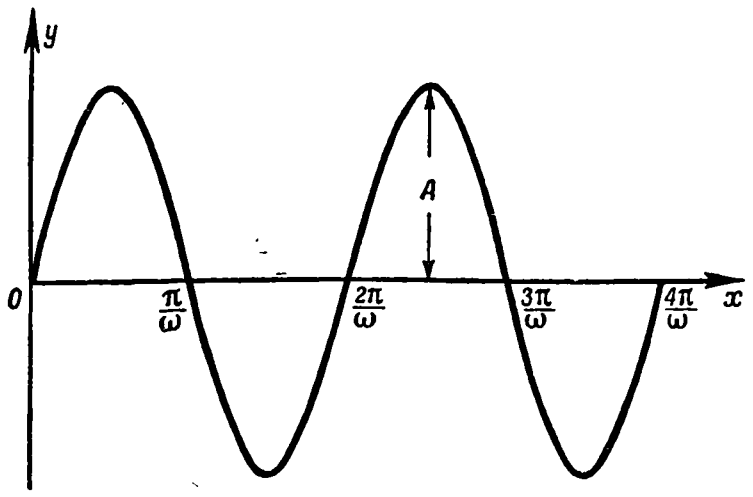
$$s = A\sin\omega t \qquad (1)$$

კანონით ხორციელდება, სინუსოიდური ანუ ჰარმონიული რხევები ჰქვია, ხოლო (1) ფუნქციის გრაფიკს ეწოდება სინუსოიდა. ასეთ რხევებზე შეგვიძლია წარმოდგენა ვიქონიოთ, თუ ცალი თვალით გვერდიდან გავხედავთ თანაბრად მბრუნავ წერტილს (ისე, რომ დამკვირვებლის თვალი ბრუნვის სიბრტყეში იყოს). მოგვეჩვენება, რომ წერტილი კი არ ბრუნავს, არამედ მოძრაობს ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს. მსგავს სურათს ამჩნევენ ასტრონომები იუპიტერის თანამგზავრთა მოძრაობაზე დაკვირვებისას, როცა დედამიწა ამ თანამგზავრთა ორბიტის სიბრტყეში იმყოფება.

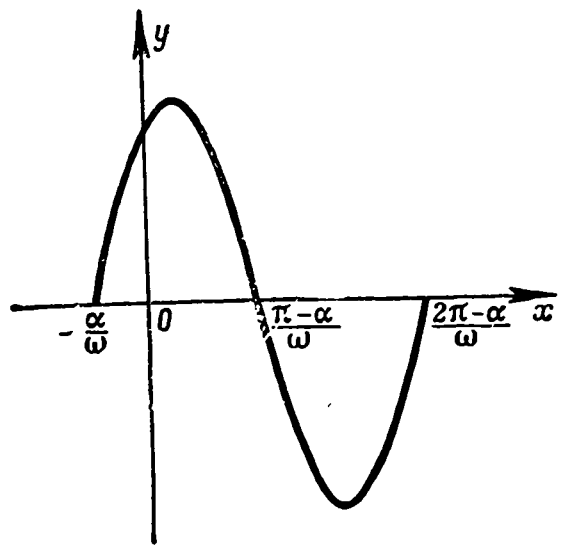
A რიცხვი, რომელსაც სინუსოიდური რხევის ამპლიტუდა ჰქვია, ამ რხევის გაქანებას გვიჩვენებს, ხოლო ω რიცხვი, რომელსაც რხევის სიხშირეს უწოდებენ, გვიჩვენებს რამდენი რხევა ხდება 2π წამში (ე. ი. დაახლოებით $\frac{44}{7}$ წამში). ყოველ $\frac{2\pi}{\omega}$ წამში საწონი უბრუნდება საწყის მდებარეობას. ამიტომ მისი რხევის პერიოდი არის $\frac{2\pi}{\omega}$.

თუ საწონს ჯერ s_0 სმ-ით გადავხრით, შემდეგ კი v_0 სიჩქარით ვუბიძგებთ, იგი უფრო რთული კანონის მიხედვით დაიწყებს რხევას:

$$s = A \sin (\omega t + \alpha). \qquad (2)$$



ნახ. 7. ჰარმონიული რხევის გრაფიკი.



ნახ 8. საწყისფაზიანი რხევითი მოძრაობის გრაფიკი.

გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ ამ რხევის A ამპლიტუდა ტოლია $\sqrt{s_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}$, ხოლო α რიცხვი ისეთია, რომ $\operatorname{tg}\alpha = \frac{s_0\omega}{v_0}$. ეს რხევა α შესაკრების გამო განსხვავდება $s = A \sin \omega t$ რხევისაგან. მე-7 და მე-8 ნახაზებზე გამოსახულია ორივე რხევის გრაფიკი. (2) რხევის გრაფიკი მიიღება (1) რხევის გრაფიკის $\frac{\alpha}{\omega}$ სიდიდით მარცხნივ გადანაცვლების შედეგად. α რიცხვს საწყის ფაზას უწოდებენ.

ქანქარის რხევა

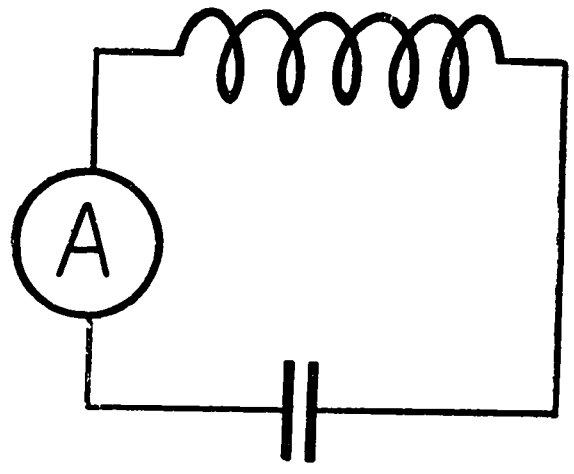
ქანქარის რხევაც დაახლოებით სინუსოიდური კანონით ხდება. თუ ეს რხევა მცირეა, ქანქარის გადახრის კუთხე გამოითვლება მიახლოებითი ფორმულით:

$$\varphi = \varphi_0 \sin\left(t\sqrt{\frac{g}{l}}\right),$$

სადაც l ქანქარის სიგრძეა, ხოლო φ_0 გადახრის უდიდესი კუთხე. რაც უფრო გრძელია ქანქარა, მით უფრო ნელა ქანაობს იგი. ცნობილი სიგრძის ქანქარის რხევის პერიოდის გაზომვით შეიძლება გამოვითვალოთ სიმძიმის ძალის აჩქარება დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილში.

კონდენსატორის განმუხტვა

სინუსოიდური კანონით მარტო მრავალი მექანიკური რხევა როდი ხდება. სინუსოიდური რხევები წარმოიშვება ელექტრულ წრედშიაც. ჩავკეტოთ, მაგალითად, მე-9 ნახაზზე გამოსახული წრედი.



ნახ. 9.

დენის ძალა ამ წრედში იცვლება სინუსოიდური კანონის მიხედვით:

$$I = I_0 \sin (\omega t + \alpha).$$

დენის ძალის რხევათა ω სიხშირე არის $\frac{1}{\sqrt{LC}}$, სადაც C კონდენსატორის ტევადობაა, ხოლო L — წრედის თვითინდუქცია. ეს კანონი ძალიან ჰგავს საწონის რხევის კანონს, მხოლოდ ზამბარის სიხისტის ნაცვლად უნდა ავიღოთ კონდენსატორის ტევადობის შებრუნებული სიდიდე, საწონის მასის ნაცვლად კი — კოჭის თვითინდუქცია.

როგორ შევაერთოთ ორი მილი

მოყვანილი მაგალითებიდან შეიძლება შეგვექმნას ისეთი შთაბეჭდილება, თითქოს სინუსოიდები მხოლოდ რხევებთან დაკავშირებით გვხვდება. მაგრამ ეს ასე არ არის. მაგალითად, სინუსოიდებს იყენებენ ორი ცილინდრული მილის ერთმანეთთან რაიმე კუთხით შეერთებისას. იმისათვის, რომ ამგვარად შევაერთოთ ორი მილი, საჭიროა მათი ირიბად გადაჭრა. თუ ასე გადაჭრილ მილს გავშლით, იგი ზემოდან სინუსოიდით აღმოჩნდება შემოსაზღვრული. ამაში რომ დავრწმუნდეთ, საკმარისია სანთელს ქაღალდი შემოვახვიოთ, გადავჭრათ იგი ირიბად და შემდეგ ქაღალდი გავშალოთ. ამიტომ მილის სწორი ჩამონაჭრის მისაღებად შეიძლება ჯერ ლითონის ფურცლის ზემოთა ნაწილი სინუსოიდის მიხედვით ჩამოვჭრათ, ხოლო შემდეგ ეს ფურცელი დავახვიოთ მილივით.

სვეტის ღუნვა

სინუსოიდა გვხვდება ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებით სვეტის ღუნვის განხილვისას. თუ დატვირთვა ძალიან მცირეა, სვეტი სრულებით არ იღუნება. მაგრამ თუ დატვირთვა მიაღწევს გარკვეულ, ე. წ. კ რ ი ტ ი კ უ ლ მნიშვნელობას, სვეტი იწყებს გაღუნვას, ამასთან, მისი ღერძი მიიღებს სინუსოიდურ ფორმას. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ სვეტის ნაცვლად ლითონის სახაზავს გავღუნავთ. კრიტიკული ძალა ტოლია:

$$F=\frac{\pi^2 EI}{l^2},$$

სადაც l სვეტის სიმაღლეა, ხოლო E და I რიცხვები დამოკიდებულია სვეტის მასალასა და მისი კვეთის ზომებზე. ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც უფრო გრძელია სვეტი, მით უფრო ნაკლები ძალაა საჭირო მის გასაღუნად. ესეც შეიძლება შევამოწმოთ სახაზავის დახმარებით.

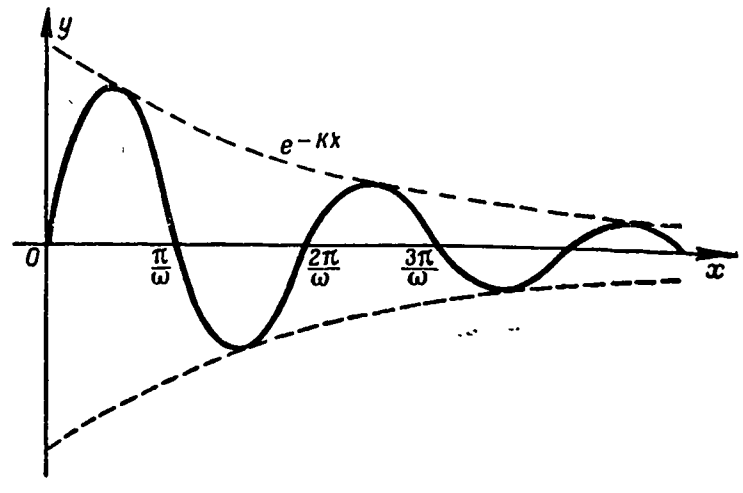
კრიტიკული ძალის ფორმულა აღმოაჩინა დიდმა მათემატიკოსმა ლ. ეილერმა.

მილევადი რხევები

აქამდე, როცა ქანქარის ან ზამბარაზე დაკიდებული საწონის და სხვათა რხევებზე ვლაპარაკობდით, მხედველობაში არ ვიღებდით ჰაერის წინააღმდეგობას. ნამდვილად კი ჰაერის წინააღმდეგობის გამო რხევათა ამპლიტუდა თანდათან მცირდება და რხევები ქრება. იმ წერტილის გადახრა, რომელიც მილევად რხევებს ასრულებს, გამოისახება ფორმულით:

$$s=Ae^{-kt}\sin(\omega t+\alpha).$$

რადგანაც დროთა განმავლობაში e^{-kt} მამრავლი ეცირდება, ამიტომ რხევათა ამპლიტუდა სულ უფრო მცირდება. ყოველი სრული რხევის შემდეგ ამპლიტუდა $e^{\frac{2\pi k}{\omega}}$-ჯერ იკლებს. $\frac{2\pi k}{\omega}$ რიცხვს მილევადი რხევის ლ ო გ ა რ ი თ მ უ ლ ი დ ე კ რ ე მ ე ნ ტ ი ჰქვია რაც უფრო დიდია ლოგარითმული დეკრემენტი, მით უფრო ჩქარა იკლებს რხევა. რამდენიმე ხნის შემდეგ რხევა იმდენად მცირე გახდება, რომ ხელსაწყოები სხეულის სრულ გაჩერებას გვიჩვენებენ. მილევადი რხევის გრაფიკი გამოსახულია მე-10 ნახაზზე.



ნახ. 10. მილევადი რხევის გრაფიკი.

თუ გარემოს წინააღმდეგობა ძალიან დიდია (ვთქვათ, ქანქარა ჰაერში კი არა, ზეთში ირხევა), რხევები სულაც არ გვექნება — წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოყვანილი ქანქარა ნელა დაეშვება და მიუახლოვდება წონასწორობის მდგომარეობას. ამ შემთხვევაში მისი მოძრაობის კანონი გამოისახება შემდეგი სახის ფორმულით:

$$s=A_1e^{-k_1t}+A_2e^{-k_2t},$$

სადაც A_1 და A_2 რიცხვები ქანქარის საწყის მდებარეობაზე და მის საწყის სიჩქარეზეა დამოკიდებული.

მილევადი რხევები ელექტრული რხევების დროსაც წარმოიშვება ელექტრული წრედის წინააღმდეგობის გამო.

იძულებითი რხევები

კვლავ განვიხილოთ ზამბარაზე მოქანავე საწონი. თუ მის ქანაობას არ დავაბრკოლებთ, ის რხევას გარკვეული ω სიხშირით შეასრულებს. ამ სიხშირეს საწონის საკუთარი რხევის სიხშირე ეწოდება. სულ სხვაგვარად გამოიყურება საწონის რხევა, თუ მას გავაქანებთ. ვთქვათ, გაქანების ძალა თვითონ იცვლება სინუსოიდური კანონით, ე. ი. საწონს ხან ზემოთ ეწევა და ხან ქვემოთ. მაშინ საწონი ასრულებს ორი რხევის შეკრებით მიღებულ რხევას. ერთი მათგანი საწონის საკუთარი რხევების სიხშირით მიმდინარეობს, ხოლო მეორე — გაქანავების ძალის სიხშირით. თუ რხევების დაწყებისას საწონი უძრავია, ხოლო გაქანავების ძალა $F = A\sin\beta t$ კანონით იცვლება, მაშინ საწონის მოძრაობის კანონი გამოისახება ფორმულით:

$$s = \frac{A}{\omega^2 - \beta^2}\left[\sin\beta t - \frac{\beta}{\omega}\sin\omega t\right], \qquad (3)$$

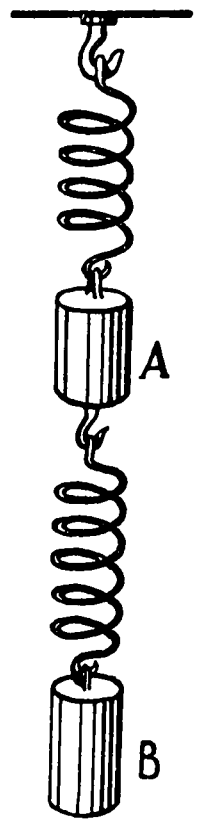
სადაც ω საწონის საკუთარი რხევების სიხშირეა. საწონის ტრაექტორიას უკვე საკმარისად რთული სახე აქვს. საქმე ისაა, რომ $\sin\beta t$ და $\sin\omega t$ ფუნქციები სხვადასხვა სიხშირეებით იცვლება. ამიტომ ხანდახან ის ორი რხევა, რომლებშიც საწონი მონაწილეობს, სხვადასხვა მხარესაა მიმართული (ასე იქნება, მაგალითად, რხევების დაწყების დროს). ამ შემთხვევაში რხევები ერთმანეთს ახშობენ. ხანდახან კი ისინი მიმართულია ერთსა და იმავე მხარეს, და მაშინ ერთმანეთს აძლიერებენ.

რხევათა უდიდესი ამპლიტუდა დაახლოებით ტოლია $\left|\frac{A}{\omega(\omega-\beta)}\right|$. აქედან ჩანს, რომ თუ β მცირედ განსხვავდება ω-საგან (ე. ი. თუ გაქანავების ძალის სიხშირე მცირედ განსხვავდება საწონის საკუთარი რხევის სიხშირისაგან), მაშინ რხევათა ამპლიტუდა შესაძლებელია ძალიან დიდი გახდეს $\left(\left|\frac{A}{\omega(\omega-\beta)}\right|$ წილადის მნიშვნელი მცირე იქნება$\right)$. თუ $\omega = \beta$ (ე. ი. თუ ჩვენ საწონს მის საკუთარ რხევებთან შეთანხმებით გავაქანებთ), მაშინ (3) ფორმულა უკვე არ გამოგვადგება. ამ შემთხვევაში საწონის მოძრაობის კანონი ასეთია:

$$s = \frac{A}{2\omega^2}[\sin\omega t - \omega t\cos\omega t].$$

დროთა განმავლობაში რხევათა ამპლიტუდა იზრდება და საწონს შეუძლია ზამბარის გაწყვეტა. ამ მოვლენას რ ე ზ ო ნ ა ნ ს ი ეწოდება.

რხევათა შეკრება



ნახ. 11.

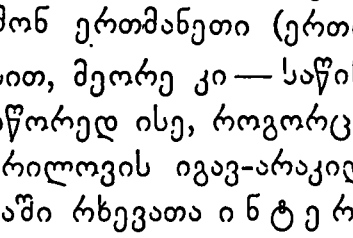
ზოგჯერ ერთი და იგივე სხეული მონაწილეობს არა ერთ, არამედ რამდენიმე რხევით მოძრაობაში. ჩამოვკიდოთ, მაგალითად, A საწონი ზამბარაზე, ხოლო მასზე აგრეთვე ზამბარის საშუალებით ჩამოვკიდოთ მეორე B საწონი (ნახ. 11). თუ ორივე ზამბარას გავჭიმავთ და შემდეგ ხელს გავუშვებთ, მაშინ A და B საწონების რხევები საკმაოდ რთული იქნება. მაგალითად, B საწონის რხევები გამოწვეულია, უპირველეს ყოვლისა, იმით, რომ A საწონი ხან ზევით ადის, ხან ქვემოთ ეშვება, ხოლო მეორეს მხრივ, იმით, რომ AB ზამბარა ხან იჭიმება, ხან იკუმშება. ასეთ შემთხვევაში ვამბობთ, რომ B საწონის რხევები წარმოადგენს ორი რხევის ჯამს — A საწონის მოძრაობისა და B საწონის რხევისა A საწონის მიმართ.

შეიძლება რხევათა შეკრების სხვა მაგალითებიც მოვიყვანოთ. როცა ორკესტრი უკრავს, მაშინ ყოველი მუსიკალური ინსტრუმენტი იწვევს ჰაერის თავისებურ რხევას. ეს რხევები ჯამდება და ჩვენამდე ერთიანი აკორდის სახით აღწევს.

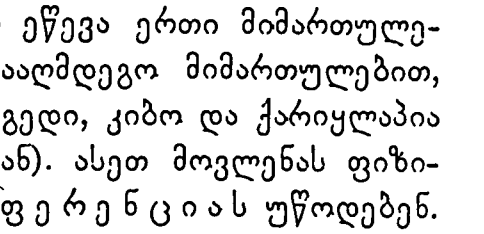
ყველაზე ხშირად იკრიბება ჰარმონიული რხევები. თუ ამ რხევებს ერთნაირი სიხშირეები აქვთ, მაშინ მათი ჯამიც ასეთივე სიხშირის ჰარმონიული რხევა იქნება.

რხევათა შეკრებისას შეიძლება ვისარგებლოთ მარტივი გეომეტრიული წესით. აქ ჩვენ გვეხმარება ვექტორები (ვექტორთა შესახებ დაწვრილებით წაიკითხავთ სტატიაში „ვექტორთა ალგებრა“).

თურმე არა მარტო ძალა, სიჩქარე და აჩქარება გამოისახება ვექტორებით, არამედ ჰარმონიული რხევებიც. A ამპლიტუდისა და α საწყისი ფაზის ჰარმონიული რხევა გამოისახება A სიგრძის ვექტორით, რომელიც Ox ღერძთან α კუთხითაა დახრილი (ნახ. 12). რხევათა შეკრებისას მათი გამომ-



ნახ. 12.



ნახ. 13.

სახველი ვექტორები პარალელოგრამის წესით იკრიბება. მე-13 ნახაზზე ნაჩვენებია შეკრება რხევებისა:

$$s_1 = 10 \sin \omega t \text{ და } s_2 = 6 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right).$$

$OABC$ პარალელოგრამის OB დიაგონალის გაზომვით ვადგენთ, რომ ამ რხევათა ჯამის ამპლიტუდა დაახლოებით არის 14. ამ რხევის საწყისი ფაზა კი უდრის AOB კუთხეს, ე. ი. დაახლოებით 22°-ს, ანუ 0,37 რადიანს. ამიტომ

$$s = 10 \sin \omega t + 6 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) \approx 14 \sin (\omega t + 0{,}37).$$

განსაკუთრებით მარტივია ერთნაირი საწყისი ფაზების მქონე რხევების შეკრება: ამ შემთხვევაში ორივე ვექტორი ერთსა და იმავე მხარესაა მიმართული და ჯამში მიიღება იმავე საწყისი ფაზის რხევა, რომლის ამპლიტუდა შესაკრებთა ამპლიტუდების ჯამის ტოლია. თუ α_1 და α_2 ერთმანეთისაგან π რადიანით (ე. ი. 180°-ით) განსხვავდება, მაშინ შეკრების შედეგად მივიღებთ რხევას, რომლის ამპლიტუდა შესაკრებთა ამპლიტუდების სხვაობის ტოლია. შეიძლება რხევებმა კიდეც ჩაახშონ ერთმანეთი (ერთი ეწევა ერთი მიმართულებით, მეორე კი — საწინააღმდეგო მიმართულებით, სწორედ ისე, როგორც გედი, კიბო და ქარიყლაპია კრილოვის იგავ-არაკიდან). ასეთ მოვლენას ფიზიკაში რხევათა ი ნ ტ ე რ ფ ე რ ე ნ ც ი ა ს უწოდებენ. ინტერფერენციის გამო ორი სინათლის წყაროთი გაშუქებული წერტილი შეიძლება გაუშუქებელი აღმოჩნდეს — ორი სინათლე ჯამში სიბნელეს მოგვცემს.

ცემა

საკმაოდ რთული სურათი წარმოიქმნება, როცა იკრიბება სხვადასხვა სიხშირის რხევები. ამასთან მიიღება არასინუსოიდური რხევები. თუ შესაკრებ რხევათა ω_1 და ω_2 სიხშირეები ახლოსაა ერთმანეთთან, მაშინ მიღებულ რხევას თითქოს აქვს $\frac{\omega_1+\omega_2}{2}$ სიხშირის სინუსოიდური რხევის სახე, რომლის ამპლიტუდა ნელა იცვლება $\left|\frac{\omega_1-\omega_2}{2}\right|$ სიხშირით. ამ მოვლენას ც ე მ ა ეწოდება. შეიძლება შეკრებილი რხევები ვერ აღვიქვათ იმის გამო, რომ მათი სიხშირე ძალზე დიდია, მაგრამ შეგვიძლია აღვიქვათ ამ რხევათა ჯამის ამპლიტუდის ნელი ცვლილება. მაგალითად, თუ ელექტრული ნათურა შეერთებულია დინამომანქანასთან, რომელიც $T = {}^1/_{50}$ წმ პერიოდიან ცვლად დენს გვაძლევს, მაშინ ნათურის შუქის ცვლა შეუმჩნეველი იქნება. მაგრამ თუ ამ ნათურას შევუერთებთ ორ დინამომანქანას, რომელთა პერიოდები ერთიმეორისაგან ოდნავ განსხვავდება, მაშინ წარმოიშვება ცემა და ნათურა ბჟუტვას დაიწყებს.

ცემა წარმოიქმნება ორხრახნიან ხომალდზეც, თუ ხრახნებს აქვთ ერთმანეთთან მიახლოებული, მაგრამ განსხვავებული ბრუნვის პერიოდი. ცემის გათვალისწინება კომპოზიტორებსაც უხდებათ.

პერიოდულად ცვალებად ამპლიტუდიან რხევებს რადიოტექნიკაში იყენებენ. რადიოსადგურები სივრცეში გზავნიან ძალიან დიდი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ რხევებს (150 ათასიდან 15 მილიონამდე რხევა წმ). ამ რხევათა ამპლიტუდა კი დაახლოებით ბგერის სიხშირით იცვლება (რამდენიმე ასეული ან რამდენიმე ათასეული რხევა წამში). ამპლიტუდის ასეთი ცვლილების მიღწევა შეიძლება, თუ ცემას წარმოვქმნით. რხევის ამპლიტუდის ცვლილებას მუდმივი სიხშირისა და ფაზის დროს ს ი ხ შ ი რ უ ლ მ ო დ უ ლ ა ც ი ა ს უწოდებენ.

მოქცევა და მიქცევა

ცემათა მეტად საინტერესო მაგალითია ოკეანის მოქცევა და მიქცევა. მთვარისა და მზის მიზიდულობის გამო წყლის დონე ოკეანეში მუდამ იცვლება. დაახლოებით ყოველ 12 საათში წყლის დო-

ნე აღწევს თავის უმაღლეს მნიშვნელობას, ხოლო 6 საათის შემდეგ — უდაბლეს მნიშვნელობას. მაგრამ იმის გამო, რომ მთვარე დედამიწის გარშემო ბრუნავს, წყლის დონის მზის მიზიდულობით გამოწვეული რხევის პერიოდი ზუსტად არ ემთხვევა წყლის დონის მთვარის მიზიდულობით გამოწვეულ რხევის პერიოდს. პირველი პერიოდი 12 საათს უდრის, ხოლო მეორე — 12 საათსა და 25 წუთს. ამ ორი ერთმანეთთან მიახლოებული პერიოდის მქონე რხევათა შეკრების შედეგად წარმოიშვება ცემა. მოქცევის უდიდესი სიმაღლე დაახლოებით $2^1/_3$-ჯერ აღემატება უმცირეს სიმაღლეს.

ᲡᲞᲔᲥᲢᲠᲣᲚᲘ ᲐᲜᲐᲚᲘᲖᲘ

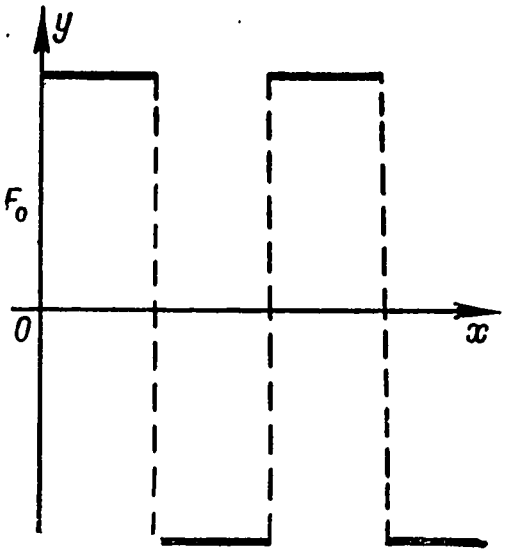
როგორც ვნახეთ, ჰარმონიული რხევებისაგან შედგება უფრო რთული რხევები. ამ დროს შეიძლება წარმოიშვას მეტად რთული სახის რხევები. თურმე ნებისმიერი რთული პერიოდული რხევები შეიძლება გამოვსახოთ, როგორც ჯამი სინუსოიდური რხევებისა (ე. ი. ისეთი რხევებისა, რომელთა გრაფიკებს სინუსოიდების ფორმა აქვთ). ამ სინუსოიდური რხევების სიხშირეებს უწოდებენ რთული რხევების სპექტრს, თვით დაშლას კი რხევების სპექტრულ ანალიზს. ეს სახელწოდება შემთხვევითი როდია. სპექტროსკოპში სინათლის სხივის დაშლა დაკავშირებულია რთული ელექტრომაგნიტური რხევის მარტივ სინუსოიდურ მდგენელებად დაშლასთან.

სპექტრულ ანალიზს იყენებენ აგრეთვე ბგერებისა და სხვა რხევების შესწავლის დროს. სპექტრული ანალიზის საშუალებით ხერხდება მომღერლის ხმის ტემბრის თავისებურებათა დადგენა და სხვა.

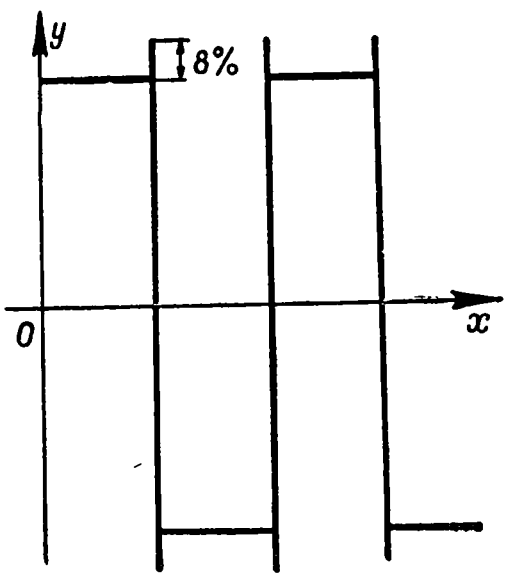
ტექნიკაში სპექტრულ ანალიზს სხვადასხვა კონსტრუქციების წესიერად გაანგარიშების მიზნით იყენებენ. მაგალითად, შეიძლება თვითმფრინავის ძრავას მუშაობით გამოწვეული რხევების ერთერთი სინუსოიდური მდგენელის სიხშირე დაემთხვეს თვითმფრინავის რომელიმე დეტალის საკუთარი რხევების სიხშირეს. ასეთ შემთხვევაში ძრავას მუშაობისას რეზონანსის გამო მოსალოდნელია ამ დეტალის ძლიერი რხევების წარმოშობა, რამაც შეიძლება ავარია გამოიწვიოს.

ᲠᲝᲒᲝᲠ ᲐᲦᲛᲝᲐᲩᲘᲜᲐ ᲛᲐᲜᲥᲐᲜᲐᲛ ᲗᲔᲝᲠᲔᲛᲐ

პერიოდული რხევების სინუსოიდურ მდგენელებად დაშლისათვის სხვადასხვა მანქანები გამოიყენება. არსებობს მანქანები, რომლებიც შებრუნებულ ამოცანასაც ხსნიან — საშუალებას იძლევიან, რხევები სინუსოიდური მდგენელებისაგან შეიკრიბოს. ერთხელ ასეთი მანქანის მუშაობის შემოწმების მიზნით მას სინუსოიდურ შესაკრებებად დაასაშლელად და შემდეგ მათ შესაჯამებლად მისცეს მე-14 ნახაზზე გამოსახული რხევა. მანქანამ შეჯამების შემდეგ ისეთი გრაფიკი კი არ დახაზა, როგორიც მე-14 ნახაზზეა ნაჩვენები, არამედ ისეთი, როგორიცაა მე-15 ნახაზზე, ე. ი. დამატებითი კუდებით ვერტიკალურ მონაკვეთებზე. თავდაპირველად ამ



ნახ. 14.



ნახ. 15.

კუდების გაჩენა მანქანის ნაკლოვანებას მიაწერეს და ფიქრობდნენ, როგორ შეესწორებინათ იგი. მაგრამ შემდეგ ამერიკელმა ფიზიკოსმა ჯ. გიბსმა დაამტკიცა, რომ ეს კუდები უნდა ჩნდებოდეს ყოველთვის, როცა რხევის გრაფიკში წყვეტა არის. თეორემას მისი სახელი დაარქვეს, თუმცა ის მანქანამ „აღმოაჩინა“.

რატომ არ მუშაობდა ტრანსატლანტიკური კაბელი

როცა ატლანტის ოკეანეში სატელეგრაფო კაბელი გაიყვანეს, აღმოჩნდა, რომ მისი საშუალებით დეპეშების გადაცემა შეუძლებელი იყო. ტირეებისა და წერტილების ნაცვლად კაბელის მეორე ბოლოზე სავსებით გაუგებარ სიგნალებს ღებულობდნენ. კაბელის მუშაობის გამოკვლევას ხელი მოჰკიდა ცნობილმა ინგლისელმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა კელვინმა. მან ჯერ დაშალა სიგნალები სინუსოიდურ მდგენელებად და შეისწავლა, როგორ გადაეცემოდა კაბელში ეს მდგენელები. აღმოჩნდა, რომ სხვადასხვა სიხშირის რხევები სხვადასხვანაირად გადაეცემოდა. ზოგი მათგანი უფრო სწრაფად გადაეცემოდა, ზოგი უფრო ნელა, ზოგი ძლიერ სუსტდებოდა, ზოგი ნაკლებად. ამიტომ, როცა ეს მდგენელები კაბელის მეორე ბოლოს აღწევდა, მათი ჯამი სრულებით არა ჰგავდა გადაცემულ სიგნალებს. კელვინმა იპოვა, რაზე იყო დამოკიდებული სინუსოიდური რხევების სიჩქარისა და ძალის ცვალებადობა და უჩვენა, როგორ უნდა გაკეთებულიყო კაბელი, რომ მასში ნებისმიერი სიხშირის რხევებს ერთნაირი სიჩქარით გაევლო და თანაბრად დასუსტებულიყო. როდესაც კაბელი მისი მითითებით გააკეთეს, სიგნალების ზუსტად გადაცემა მოხერხდა და ტრანსატლანტიკური კავშირიც დამყარდა.

რადიომიმღები და კამერტონი

ხანდახან რხევის სინუსოიდურ მდგენელებად დაშლის მაგივრად მთელი რხევიდან ერთი გარკვეული სიხშირის მდგენელის გამოყოფას ცდილობენ. ამას რადიომიმღების გარკვეულ სიხშირეზე აწყობისას მიმართავენ: ყველა რადიოსადგურის მუშაობით გამოწვეული რთული ელექტრომაგნიტური რხევებიდან იჭერენ საჭირო რადიოსადგურით გამოწვეულ რხევებს. ასევე, კამერტონიც მხოლოდ იმ ნოტს გამოეხმაურება, რომელზედაცაა ის აწყობილი.

დასკვნა

ჭეშმარიტად უსაზღვროა მაჩვენებლიანი და ტრიგონომეტრიული ფუნქციების გამოყენების არე ბუნებასა და ტექნიკაში! ალბათ საბავშვო ენციკლოპედიის მთელი ამ ტომის გავსება შეიძლებოდა ამის მაგალითებით. იბადება ბუნებრივი კითხვები: რა აქვთ საერთო ისეთ მოვლენებს, როგორიცაა ბაგირის ხახუნი ბოძზე, რადიოაქტიური დაშლა, და ა. შ.? რატომ ჰგავს ასე ელექტრომაგნიტური რხევები მექანიკურ რხევებს? რატომ გვხვდება მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა საკითხებში ასე ხშირად სწორედ ეს ფუნქციები?

ამ საკითხებზე გვექნება საუბარი უმაღლესი მათემატიკის ერთ-ერთი დარგისადმი მიძღვნილ შემდეგ წერილში.

ინტეგრალი და წარმოებული

კეპლერის ამოცანა

კასრებს რომ ლაპარაკი შეეძლოთ, ეჭვგარეშეა, ბევრი მათგანი მოგვითხრობდა საინტერესო ამბავს იმის შესახებ, თუ რა დიდი დამსახურება მიუძღვით მათ უმაღლესი მათემატიკის შექმნაში.

ალბათ თქვენც დაგაინტერესებთ ეს ამბავი.

1613 წელს ავსტრიის სამეფო კარის მათემატიკოსსა და ასტროლოგს იოჰან კეპლერს ქორწილი ჰქონდა და რამდენიმე კასრი ღვინო შეიძინა. ღვინის ყიდვისას მეტად გააოცა იმ გარემოებამ, რომ გამყიდველი კასრის ტევადობის გასაგებად მხოლოდ მანძილს ზომავდა ღვინის ჩასასხმელი ჭრილიდან კასრის ძირის უშორეს წერტილამდე

(ნახ. 1). ასეთი გაზომვა ხომ სავსებით არ ითვალისწინებდა კასრის ფორმას! კეპლერი უცებ მიხვდა,

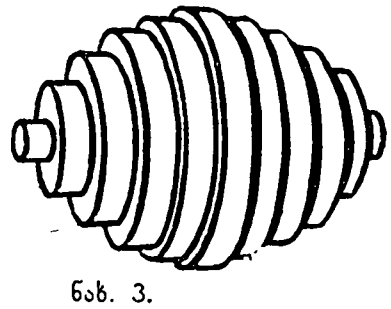


ნახ. 1.

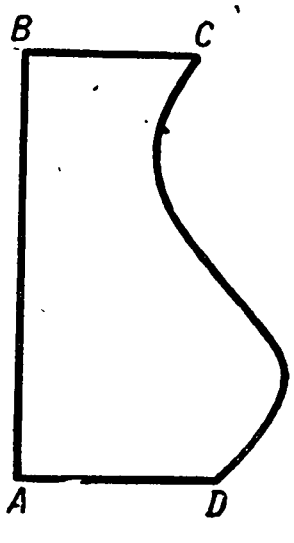
რომ ეს იყო მეტად საინტერესო მათემატიკური ამოცანა: კასრის მოცულობის გამოანგარიშება რამდენიმე გაზომვით. ამ ამოცანაზე ფიქრის დროს მან იპოვა არა მარტო კასრის მოცულობის გამოსათვლელი ფორმულა, არამედ აგრეთვე ფორმულები ერთმანეთისაგან ისეთი განსხვავებული სხეულების მოცულობისა, როგორიცაა ლიმონი, ვაშლი, კომში და თვით თურქული ჩალმაც კი. თითოეული ამ სხეულისათვის კეპლერს უხდებოდა ახალი, ხშირად ძალზე გონებამახვილური მეთოდების გამოგონება.



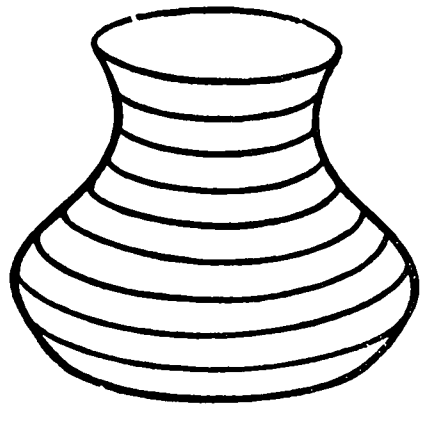
ნახ. 2.



ნახ. 3.



ნახ. 4.



ნახ. 5.

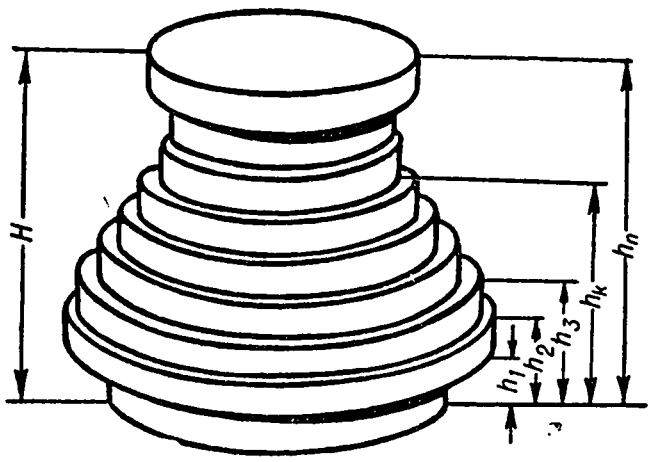
ჩვენს დროში გაცილებით უფრო რთული სხეულების მოცულობის გამოთვლაა აუცილებელი მრავალი ტექნიკური ამოცანის გადაწყვეტისას, მაგალითად, გემის კორპუსის, რთული ფორმის აირსაცავის, წყალსაცავისა და სხვათა მოცულობების დადგენისას. ასეთი ამოცანების ამოხსნა თითქმის ყოველ ინჟინერსა და ტექნიკოსს უხდება. მსგავსი ამოცანების ამოხსნის მარტივ და ზოგად მეთოდებს უმაღლესი მათემატიკა იძლევა.

მათემატიკა ჩაის მაგიდასთან

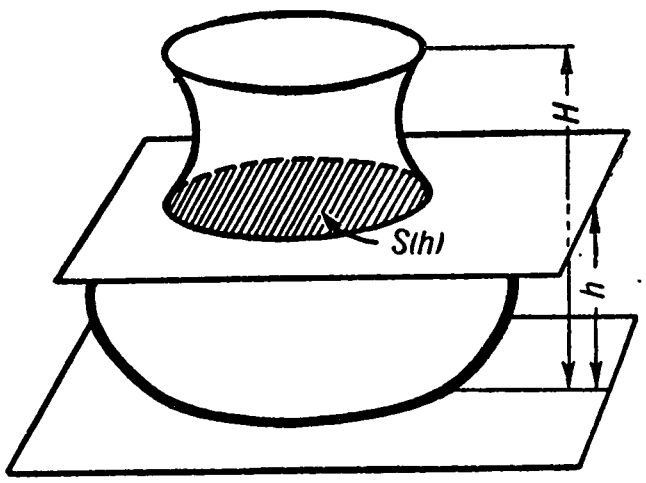
ზემოხსენებული ზოგადი მეთოდების წარმოსადგენად ვცადოთ ვიპოვოთ მაგიდაზე მორთმეული ლიმონის მოცულობა. ლიმონი არ ჰგავს სკოლაში შესწავლილ არც ერთ სხეულს (სფეროს, ცილინდრს, კონუსს და ა. შ.). დიასახლისი ლიმონს თხელ ნაჭრებად ჭრის და ამით გვეხმარება ჩვენი ამოცანის გადაწყვეტაში: ყოველი ნაჭერი ნაპირების შემოსწორების შედეგად შეგვიძლია ვაქციოთ დაბალ ცილინდრად (ნახ. 2), რომლის მოცულობაც ადვილი გამოსათვლელია. ამ ცილინდრების ერთმანეთზე დალაგებით ჩვენ მივიღებთ „საფეხუროვან სხეულს“ (ნახ. 3), რომლის მოცულობა ცილინდრების მოცულობათა ჯამის ტოლია. თუ ნაჭრები თხელია, მაშინ საფეხუროვანი სხეულის მოცულობა მცირედ განსხვავდება ლიმონის მოცულობისაგან და, რაც უფრო თხელი იქნება ნაჭრები, მით უფრო მცირე იქნება ეს განსხვავებაც.

სხეულის მოცულობა

ჩვენს მიერ ლიმონის მოცულობის გამოსათვლელად გამოყენებული ხერხი გამოდგება ნებისმიერი ბრუნვითი სხეულის მოცულობის გამოსათვლელადაც. ვთქვათ, $ABCD$ ნაკვთი (ნახ. 4) ბრუნავს AB გვერდის ირგვლივ. მიღებული ბრუნვითი სხეული (ნახ. 5) დავჭრათ თხელ ნაჭრებად და თითოეული ნაჭერი შევცვალოთ ცილინდრით. მაშინ ადვილად შევძლებთ ვიპოვოთ მიღებული საფეხუროვანი სხეულის (ნახ. 6) მოცულობა. ამისათვის უნდა ვიცოდეთ, სიმაღლესთან ერთად როგორ იცვლება კვეთის ფართობი (ნახ. 7). ვთქვათ, h სიმაღლეზე გავლებული კვეთის ფართობი არის $S(h)$. გარდა ამისა, ვივარაუდოთ, რომ სხეული დაჭრილია n



ნახ. 6.



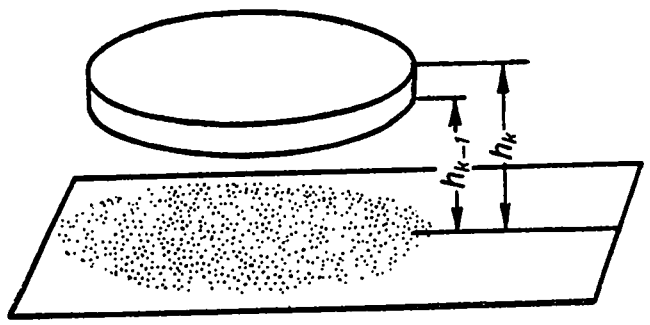
ნახ. 7.

ნაჭრებად კვეთებით, რომლებიც ქვედა ფუძიდან გავლებულია $h_0, h_1, \ldots, h_n$ სიმაღლეებზე (ქვედა ფუძის სიბრტყე ემთხვევა h_0 სიმაღლეზე გავლებულ კვეთს, ხოლო ზედა ფუძის სიბრტყე h_n სიმაღლეზე გავლებულ კვეთს, ე. ი. $h_0 = 0, h_n = H$ (იხ. ნახ. 6). h_k სიმაღლეზე გავლებული კვეთის ფართობი არის $S(h_k)$. ამიტომ იმ ცილინდრის მოცულობა, რომლითაც ჩვენ k-ური ნაჭერი შევცვალეთ (ნახ. 8), ტოლი იქნება $S(h_k)(h_k - h_{k-1})$ (რადგანაც $h_k - h_{k-1}$ არის მისი სიმაღლე). ამ პატარა ცილინდრთა მოცულობების შეკრებით მივიღებთ მთელი საფეხუროვანი სხეულის მოცულობას:

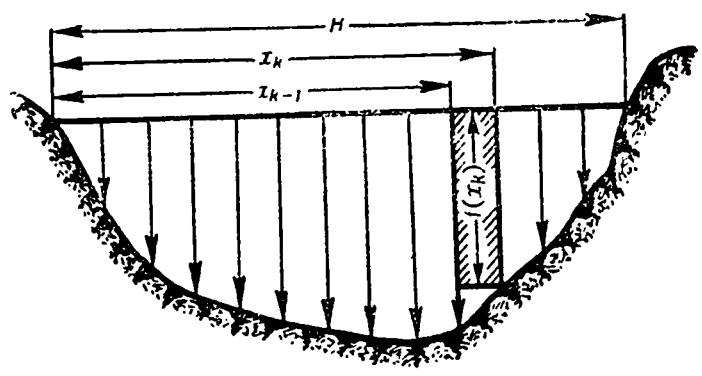
$$V_{\text{საფ. სხ.}} = S(h_1)(h_1 - h_0) + S(h_2)(h_2 - h_1) + \\ + \cdots + S(h_n)(h_n - h_{n-1}).$$

რაც უფრო თხელი იქნება ნაჭრები, მით უფრო ახლო იქნება საფეხუროვანი სხეულის მოცულობა ბრუნვითი სხეულის მოცულობასთან.

ასევე შეიძლება მოვნახოთ ნებისმიერი სხეულის მოცულობა, თუ ცნობილია, როგორ იცვლება მისი კვეთის ფართობი სიმაღლესთან შეფარდებით.



ნახ. 8.

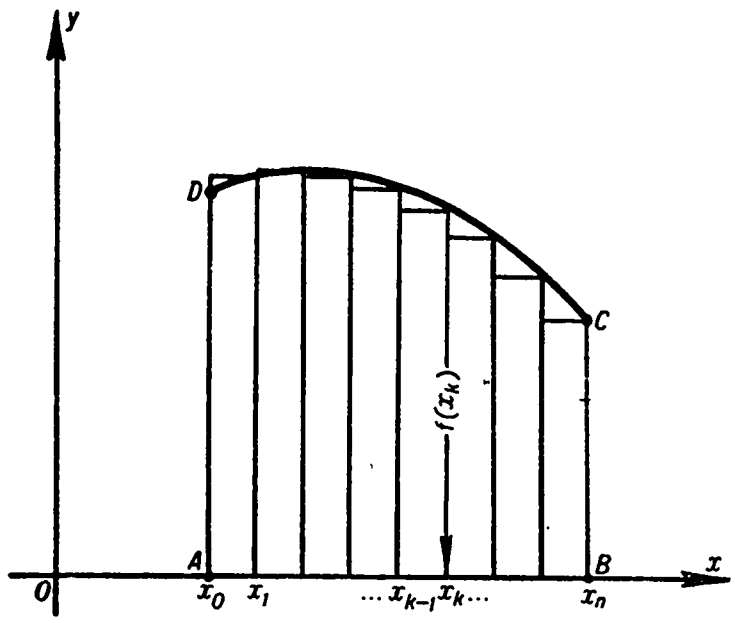


ნახ. 9.

მაგალითად, დასაგეგმარებელი გემის მოცულობა რომ განვსაზღვროთ, საკმარისია გვქონდეს მისი განივი კვეთების ნახაზები (შესრულებული გარკვეული მასშტაბით). ამ ნახაზებით უნდა განისაზღვროს ყოველი კვეთის ფართობი (თუ როგორ გამოითვლება რთული ნაკვეთების ფართობები, ამაზე ქვემოთ შევჩერდებით); ამის შემდეგ ზემოთ მოყვანილი ფორმულა მოგვცემს გემის მოცულობის მიახლოებით მნიშვნელობას. ცხადია, ამავე ხერხით შეიძლება მოვნახოთ აირსაცავის, წყალსაცავისა და სხვა სხეულთა მოცულობები.

მდინარის გაზომვა

ჰიდროელსადგურის დაგეგმარების დროს საჭიროა ვიცოდეთ მდინარის წყლის ხარჯი, ე. ი. წყლის ის რაოდენობა, რომელიც მოცემულ ადგილას 1 წამში გაივლის. ცხადია, წყლის ხარჯი უდრის მდინარის განივი კვეთის ფართობის ნამრავლს დინების სიჩქარეზე. დინების სიჩქარის განსაზღვრა ერთობ მარტივია; მასზე გაცილებით უფრო რთულია განივი კვეთის ფართობის პოვნა. მაგრამ აქაც „ნაჭრებად“ გაყოფა გვშველის. ყოველი „ნაჭერი“ შეიძლება მიახლოებით მართკუთხედით შევცვალოთ. შემდეგ შევკრებთ მართკუთხედთა ფართობებს და მივიღებთ კვეთის ფართობის მიახ-



ნახ. 10.

ლოებით მნიშვნელობას. რაც უფრო ვიწრო იქნება „ნაჭრები“, ფართობის მით უფრო ზუსტ მნიშვნელობას მივიღებთ. მდინარის სიღრმე გავზომოთ წერტილებში, რომლებიც ნაპირიდან დაშორებულია x_0, x_1, ..., x_n მანძილებით ($x_0 = 0$; $x_n = H$ — მდინარის სიგანეა). ვთქვათ, ნაპირიდან x_k მანძილზე მდინარის სიღრმე არის $f(x_k)$ (ნახ. 9). მაშინ განივი კვეთის ფართობი დაახლოებით ტოლი იქნება

$$S_{\text{განივ. კვ.}} \approx f(x_1)(x_1 - x_0) + f(x_2)(x_2 - x_1) + \cdots + f(x_n)(x_n - x_{n-1}).$$

საერთოდ, თუ გეომეტრიულ ნაკვთს მე-10 ნახაზზე გამოსახული სახე აქვს (ასეთი ნაკვთი მრუდწირულ ტრაპეციად იწოდება) და, თუ სიმაღლე x აბსცისის მქონე წერტილში $f(x)$ გამოსახულების ტოლია, მაშინ ამ ნაკვთის ფართობის გამოსათვლელად შეგვიძლია იმავე ფორმულით ვისარგებლოთ. რაც უფრო „მჭიდროდ“ იქნება განლაგებული AB მონაკვეთზე x_0, x_1, ..., x_n წერტილები, ამ ფორმულით ფართობის მით უფრო ზუსტ მნიშვნელობას მივიღებთ.

ავტომობილი

ავტომობილის მიერ გავლილი მანძილის გასაზომად მასზე დგამენ განსაკუთრებულ მრიცხველს. მაგრამ მაშინაც კი, როცა მრიცხველი გაფუჭებულია. ავტომობილის მიერ გავლილი მანძილი შეიძლება გამოითვალოს სპიდომეტრით (ხელსაწყოთი, რომელიც უჩვენებს ავტომობილის სიჩქარეს).

ამისათვის საჭიროა ჩავიწეროთ სპიდომეტრის ჩვენება დროის $t_0=0$, t_1, t_2, ..., $t_n=T$ მომენტებში. ავტომობილის მოძრაობა დროის t_{k-1} მომენტიდან t_k მომენტამდე თანაბარი რომ ყოფილიყო ისეთი $v(t_k)$ სიჩქარით, რომელიც მას სინამდვილეში ამ შუალედის ბოლოს, ე. ი. t_k მომენტში ჰქონდა, მაშინ დროის $t_k - t_{k-1}$ შუალედში იგი გაივლიდა $v(t_k)(t_k - t_{k-1})$ მანძილს. ამიტომ T დროში გავლილი მანძილი იქნება

$$v(t_1)(t_1 - t_0) + v(t_2)(t_2 - t_1) + \cdots + v(t_n)(t_n - t_{n-1}).$$

ამ ფორმულით შეიძლება ვისარგებლოთ ავტომობილის მიერ გავლილი მანძილის მიახლოებითი გამოთვლისათვის. ფორმულა, ცხადია, მიახლოებითია, რადგან ავტომობილი ყოველთვის თანაბრად არ მოძრაობს და დროის მცირე მონაკვეთშიც კი მისი სიჩქარე რამდენიმეჯერ იცვლება. მაგრამ, რაც უფრო ხშირად ჩავწერთ სპიდომეტრის ჩვენებებს, ე. ი. რაც უფრო მცირე იქნება დროის მონაკვეთი სიჩქარის ცალკეულ გაზომვებს შორის, მით უფრო მეტი სიზუსტით გვიჩვენებს მიღებული ფორმულა ავტომობილის მიერ გავლილ მანძილს.

ინტეგრალი

ჩვენ გავარჩიეთ ამოცანები ფიზიკის, ტექნიკისა და გეომეტრიის სხვადასხვა საკითხზე. ამ ამოცანებს, გარეგნული განსხვავების მიუხედავად, ბევრი რამ ჰქონდათ საერთო. რომელიმე სიდიდის (ფართობის, მოცულობის, გავლილი გზის და ა. შ.) მიახლოებითი გამოთვლისათვის ყოველთვის ვიღებდით

$$f(x_1)(x_1 - x_0) + f(x_2)(x_2 - x_1) + \cdots + f(x_n)(x_n - x_{n-1})$$

სახის ჯამს. აქ $f(x)$ რაღაც ფუნქციაა, მოცემული $[a, b]$ მონაკვეთზე, $x_0=a$, $x_1, \cdots, x_{n-1}$, $x_n=b$ კი ამ მონაკვეთის წერტილებია. მაგალითად, გავლილი გზის გამოთვლის დროს $f(x)$ ფუნქცია იყო სიჩქარე დროის x მომენტში (ადრე დრო ჩვენ აღნიშნული გვქონდა t და არა x ასოთი, რაც, ცხადია, არაარსებითია), a უდრიდა ნულს, ხოლო b ტოლი იყო ავტომობილის მოძრაობის T დროისა.

ამ სახის ჯამები მათემატიკაში ძალიან ხშირად გვხვდება. მათ ინტეგრალურ ჯამებს

უწოდებენ. ასეთი ჯამები საძიებელი სიდიდის მხოლოდ მიახლოებით მნიშვნელობას იძლევა. მაგრამ თუ $[a, b]$ მონაკვეთზე $x_0, x_1, x_2, \ldots, x_n$ წერტილებს სულ უფრო და უფრო „მჭიდროდ“ ავიღებთ, მაშინ ინტეგრალური ჯამი მიუახლოვდება რაღაც რიცხვს, სახელდობრ, საძიებელი სიდიდის ზუსტ მნიშვნელობას. ეს რიცხვი იწოდება $f(x)$ ფუნქციის ინტეგრალად $[a, b]$ მონაკვეთზე (a-დან b-მდე)

და აღინიშნება $\int_a^b f(x)\,dx$ სიმბოლოთი. ამრიგად,

$$\int_a^b f(x)dx=\lim[f(x_1)(x_1-x_0)+\cdots+f(x_n)(x_n-x_{n-1})],$$

სადაც ზღვარი lim აღებულია იმ პირობით, რომ შუალედთა რიცხვი უსასრულოდ დიდდება, ხოლო მათი სიგრძეები ნულისაკენ მიისწრაფვის. $\int_a^b f(x)\,dx$ აღნიშვნაში შემონახულია მოგონება ინტეგრალურ ჯამზე, რომლისგანაც ინტეგრალი მიიღება. იტალიაში S ასოს ხშირად წერენ $\int$ სახით. ამიტომ თვით ინტეგრალის ნიშანი არის პირველი ასო ლათინური სიტყვისა Summa (ჯამი). $\int$ ნიშნის შემდეგ მითითებულია, რომ იკრიბება $f(x_k)\,(x_k-x_{k-1})$ სახის გამოსახულებები, მხოლოდ $x_k - x_{k-1}$ სხვაობის ნაცვლად წერენ dx, სადაც d არის პირველი ასო ლათინური სიტყვისა differentia (სხვაობა). ინტეგრალის ცნება უმაღლესი მათემატიკის ერთ-ერთი ძირითადი ცნებაა. მისი გამოყენებით წინათ მიღებული ფორმულები შეიძლება ჩავწეროთ გაცილებით მოკლედ და ამასთანავე არა მიახლოებით, არამედ ზუსტად. მაგალითად, ნებისმიერი სხეულის მოცულობის ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს:

$$V=\int_0^H S(h)\,dh, \qquad (1)$$

სადაც H არის სხეულის სიმაღლე, ხოლო $S(h)$ ფუძის პარალელურად h სიმაღლეზე გავლებული კვეთის ფართობი (ნახ. 7).

მე-10 ნახაზზე გამოსახული ნაკვთის ფართობის ფორმულა ჩაიწერება ასე:

$$S=\int_a^b f(x)dx, \qquad (2)$$

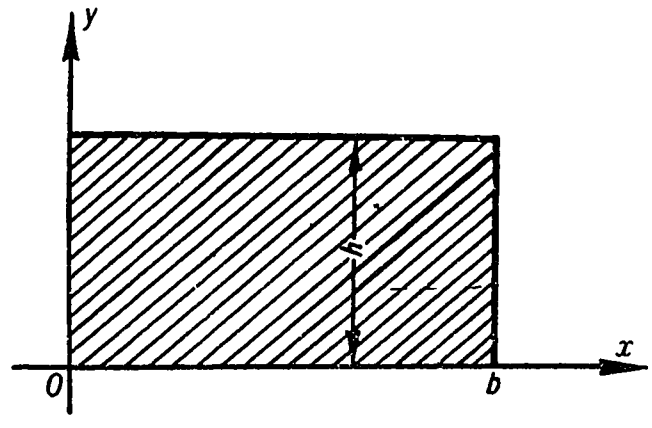
სადაც $f(x)$ არის CD მრუდის სიმაღლე იმ წერტილში, რომლის აბსცისაა x.

T დროში $v(t)$ სიჩქარით გავლილი მანძილი გამოისახება ფორმულით:

$$s=\int_0^T v(t)\,dt. \qquad (3)$$

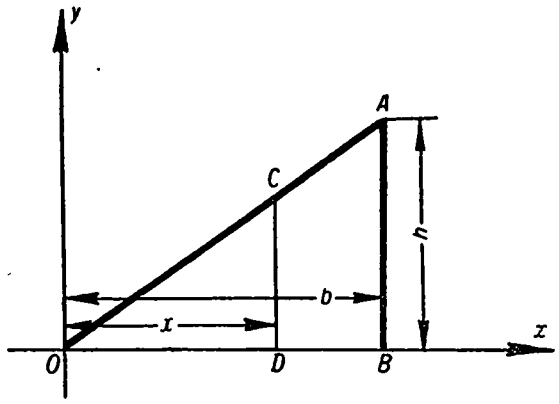
ინტეგრალების გეომეტრიული გამოთვლა

(1) და (2) ფორმულები შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა სხეულების ფართობებისა და მოცულობათა გამოსათვლელად, მაგრამ რადგან მარტივ სხეულთა ფართობები და მოცულობები უკვე ვიცით, პირიქით, ამ ფორმულების დახმარებით ზოგიერთი მარტივი ინტეგრალის გამოთვლაც შეიძლება. (შემდეგში ჩვენ ვაჩვენებთ, როგორ გამოითვლება ეს ინტეგრალები უშუალოდ გეომეტრიის გამოყენებლად.)



ნახ. 11.

ფართობის გამოსათვლელი ყველაზე მარტივი გეომეტრიული ფორმულა არის მართკუთხედის ფართობის ფორმულა $S=hb$. მართკუთხედი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ისეთი მრუდწირული ტრაპეცია, რომლის სიმაღლე ყველა წერტილში ერთნაირია და უდრის h (ნახ. 11), ასე რომ, მისი ფართობი შეიძლება ჩაიწეროს $S=\int_0^b h\,dx$ ინტეგრალის სახით, სადაც h მუდმივი სიდიდეა. ამრიგად, ჩვენ დავამტკიცეთ ფორმულა:



ნახ. 12.

$$\int_0^b h\,dx = hb \qquad (4)$$

(h მუდმივია). კერძოდ, როცა $h = 1$, მივიღებთ:

$$\int_0^b dx = b. \qquad (5)$$

ახლა გავიხსენოთ მართკუთხა სამკუთხედის ფართობის ფორმულა $S=\frac{1}{2}\,hb$, სადაც h და b კათეტებია. მე-12 ნახაზიდან ჩანს, რომ სამკუთხედი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ისეთი მრუდწირული ტრაპეცია, რომლის y სიმაღლე x აბსცისიან წერტილში ტოლია $\frac{hx}{b}$ (ეს გამომდინარეობს OAB და OCD სამკუთხედების მსგავსებიდან). ამიტომაც სამკუთხედის ფართობი შეიძლება ჩავწეროთ $S=\int_0^b \frac{hx}{b}\,dx$ ინტეგრალის სახით. ამრიგად, ჩვენ დავამტკიცეთ, რომ

$$\int_0^b \frac{hx}{b}\,dx = \frac{1}{2}\,hb.$$

კერძოდ, თუ OAB სამკუთხედი ტოლფერდაა, ე. ი. თუ $h=b$, მაშინ მივიღებთ ფორმულას:

$$\int_0^b x\,dx = \frac{1}{2}\,b^2. \qquad (6)$$

დასასრულ, განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი. ავიღოთ წესიერი ოთხკუთხა პირამიდა, რომლის წიბო ფუძეშია და უდრის b, ხოლო სიმაღლე წიბოს ტოლია (ნახ. 13). პირამიდა დავაყენოთ წვეროზე (ისე, რომ მისი ღერძი იყოს ვერტიკალური) და წვეროდან x მანძილის დაშორებით გავავლოთ პირამიდის ფუძის პარალელური სიბრტყე. მაშინ კვეთში მივიღებთ კვადრატს, რომლის გვერდია ისევ x, ხოლო $S(x)$ ფართობი უდრის x^2. ამიტომ (1) ფორმულის თანახმად პირამიდის მოცულობა გამოისახება ინტეგრალით:

$$V=\int_0^b x^2\,dx.$$

თუ ამ ფორმულას შევადარებთ სკოლაში ცნობილ პირამიდის მოცულობის ფორმულას, მივიღებთ:

$$\int_0^b x^2\,dx = \frac{1}{3}\,b^2\cdot b,$$

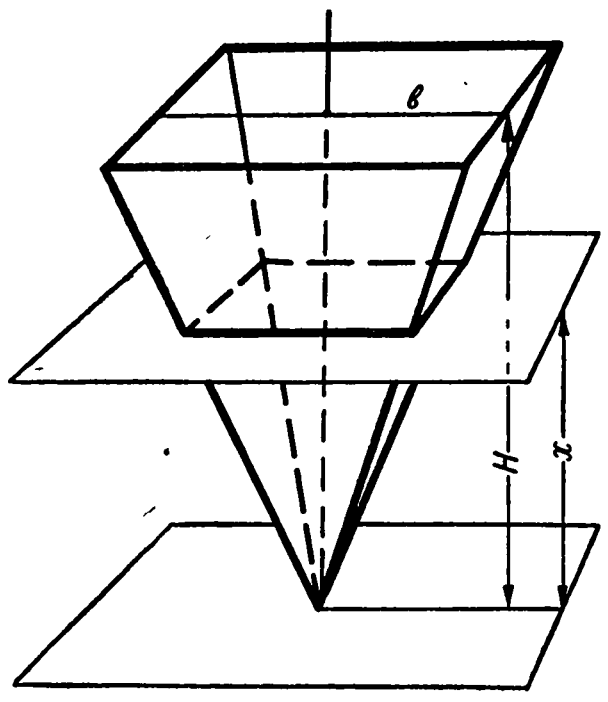
ანუ

$$\int_0^b x^2\,dx = \frac{1}{3}\,b^3. \qquad (7)$$

ზემოთ მიღებული (5), (6), (7) ფორმულები, ცხადია, შეგვიძლია გავაერთიანოთ ერთ ზოგად ფორმულაში:

$$\int_0^b x^n\,dx = \frac{b^{n+1}}{n+1}, \qquad (8)$$

როცა $n=0$, 1, 2. ეს ფორმულა, როგორც უმაღლეს მათემატიკაში მტკიცდება, სამართლიანია არა



ნახ. 13.

მარტო როცა $n=0, 1, 2$, არამედ n-ის ნებისმიერი დადებითი მნიშვნელობებისათვისაც. მაგალითად:

$$\int_0^b x^{10}dx=\frac{b^{11}}{11};\quad \int_0^b \sqrt{x}\,dx=\int_0^b x^{\frac{1}{2}}dx=\frac{2}{3}b^{\frac{3}{2}}.$$

მრავალწევრების ინტეგრება

ახლა უკვე ძნელი არ არის ნებისმიერი მრავალწევრიდან ინტეგრალის გამოთვლა. წინასწარ გავითვალისწინოთ ორი მარტივი, მაგრამ მეტად მნიშვნელოვანი შენიშვნა.

პირველი შენიშვნა. ვთქვათ, M_1 და M_2 სხეულები მოძრაობენ ერთი და იმავე მიმართულებით ისე, რომ M_2 სხეულის სიჩქარე დროის ყოველ მომენტში k-ჯერ მეტია M_1 სხეულის სიჩქარეზე. მაშინ ცხადია, რომ M_2 სხეულის მიერ გავლილი გზაც k-ჯერ მეტი იქნება M_1 სხეულის მიერ იმავე დროში გავლილ გზაზე. ჩავწეროთ ეს ცხადი ფაქტი ფორმულის სახით. M_1 სხეულის სიჩქარე t მომენტში აღვნიშნოთ $v(t)$ სიმბოლოთი, მაშინ M_2 სხეულის სიჩქარე იქნება $kv(t)$. გავლილი გზები s_1 და s_2, რომლებიც M_1 და M_2 სხეულებმა დროის $t=0$-დან $t=T$ მონაკვეთში გაიარეს, ტოლი იქნება შემდეგი ინტეგრალებისა:

$$s_1=\int_0^T v(t)dt,\quad s_2=\int_0^T kv(t)dt.$$

მაგრამ, რადგან მეორე სხეულის მიერ გავლილი გზა k-ჯერ მეტია პირველი სხეულის მიერ გავლილ გზაზე (ე. ი. $s_2=ks_1$), ამიტომ

$$\int_0^T kv(t)dt=k\int_0^T v(t)\,dt.$$

სხვანაირად რომ ვთქვათ, რიცხვითი თანამამრავლი შეიძლება გამოვიტანოთ ინტეგრალის ნიშნის გარეთ.

მეორე შენიშვნა. ვთქვათ, M_1 სხეული მოძრაობს რაიმე მიმართულებით, მის ზედაპირზე კი იმავე მიმართულებით მოძრაობს M_2 სხეული. მაგალითად, ტივი მიცურავს მდინარეზე, ტივზე კი კაცი მიდის. M_1 სხეულის მოძრაობის სიჩქარე აღვნიშნოთ $v_1(t)$ სიმბოლოთი, M_1 სხეულის ზედაპირზე M_2 სხეულის გადაადგილების სიჩქარე კი $v_2(t)$-თი. მაშინ გზა, რომელიც M_1 სხეულმა დროის $t=0$-დან $t=T$ შუალედში გაიარა, უდრის

$$\int_0^T v_1(t)\,dt,$$

ხოლო M_2 სხეულის მიერ M_1 სხეულის ზედაპირზე გავლილი გზა ტოლი იქნება

$$\int_0^T v_2(t)\,dt.$$

საერთო გზა კი, რომელიც M_2 სხეულმა სივრცეში გაიარა (როგორც საკუთარი მოძრაობის, ისე M_1 სხეულის მოძრაობის ხარჯზე, რომელსაც ის მიჰყავდა) ტოლია:

$$\int_0^T v_1(t)dt+\int_0^T v_2(t)dt.$$

მაგრამ ცხადია, რომ M_2 სხეულის სივრცეში გადაადგილების სიჩქარე უდრის $v_1(t)+v_2(t)$, ასე რომ ამ სხეულის მიერ გავლილი გზა გამოისახება ასე:

$$\int_0^T [v_1(t)+v_2(t)]dt.$$

გზის ორივე მიღებული მნიშვნელობის გატოლებით გვექნება:

$$\int_0^T [v_1(t)+v_2(t)]dt=\int_0^T v_1(t)\,dt+\int_0^T v_2(t)\,dt,$$

ე. ი. ორი (ან რამდენიმე) ფუნქციის ჯამის ინტეგრალი უდრის შესაკრებთა ინტეგრალების ჯამს.

გადავიდეთ მრავალწევრების ინტეგრებაზე. ვთქვათ, გამოსათვლელია ინტეგრალი

$$\int_0^b (x^2-3x+5)\,dx.$$

რადგანაც ინტეგრალქვეშა გამოსახულება არის $x^2+(-3x)+5$ ჯამი, ამიტომ ჩვენი ინტეგრალი შეიძლება დავშალოთ სამ ინტეგრალად:

$$\int_0^b x^2dx+\int_0^b (-3x)dx+\int_0^b 5dx.$$

მეორე და მესამე ინტეგრალებში შეგვიძლია რიცხვითი თანამამრავლები ინტეგრალების ნიშნის გარეთ გამოვიტანოთ, რის შემდეგ ადვილად მივიღებთ პასუხს:

$$\int_0^b (x^2-3x+5)dx=\int_0^b x^2dx-3\int_0^b xdx+$$

$$+5\int_0^b dx=\frac{b^3}{3}-3\frac{b^2}{2}+5b.$$

სხვანაირად რომ ვთქვათ, მრავალწევრის ინტეგრება შეიძლება წევრ-წევრად. საზოგადოდ, თუ

$$f(x)=a_0x^n+a_1x^{n-1}+\ldots+a_{n-1}x+a_n$$

არის n ხარისხის რაიმე მრავალწევრი, მაშინ

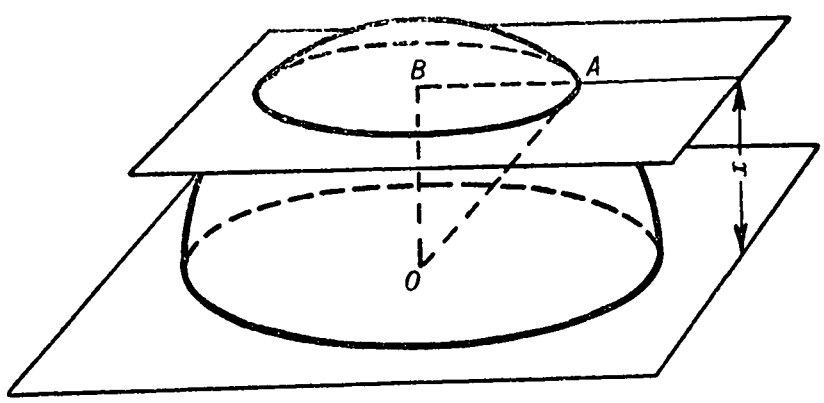
$$\int_0^b f(x)dx=a_0\frac{b^{n+1}}{n+1}+a_1\frac{b^n}{n}+\ldots+a_{n-1}\frac{b^2}{2}+a_nb.$$

ინტეგრალების გამოყენება

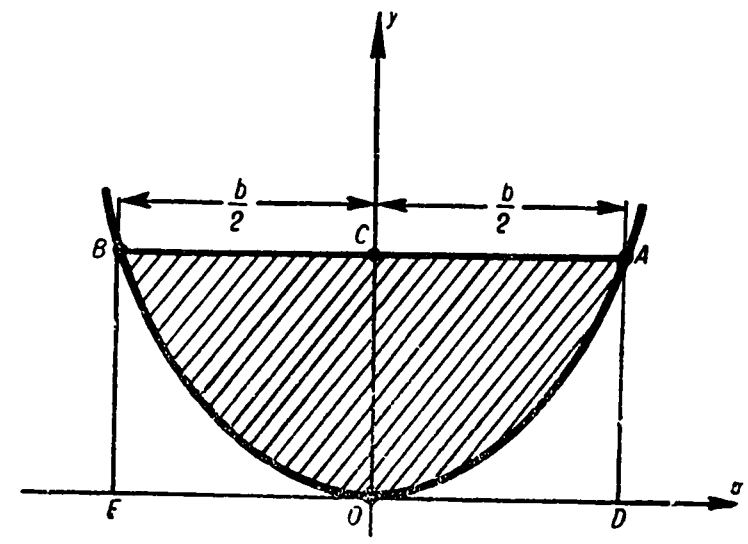
ჩვენ შევისწავლეთ მრავალწევრიდან ინტეგრალის გამოთვლა. ეს უკვე საკმარისია, რომ შეგვძლოთ მათემატიკისა და ფიზიკის მრავალი ამოცანის გადაწყვეტა. თავდაპირველად ვნახოთ, რა მარტივად მიიღება სკოლაში ნასწავლი ზოგიერთი ფორმულა ინტეგრალების გამოყენებით.

გამოვიყვანოთ თანაბარაჩქარებული მოძრაობის გზის ფორმულა. თუ სხეულის საწყისი სიჩქარე $t=0$ მომენტში არის v_0, ხოლო მოძრაობის აჩქარება a, მაშინ დროის t მომენტში სხეულის სიჩქარე იქნება $v(t)=v_0+at$. ამიტომ (3) ფორმულით მოძრაობის დაწყებიდან T მომენტამდე სხეულის მიერ გავლილი s გზა გამოისახება ფორმულით:

$$s=\int_o^T v\ t)\ dt=\int_0^T (v_0+at)dt=v_0T+\frac{aT^2}{2}.$$



ნახ. 14.



ნახ. 15.

ახლა გამოვიყვანოთ ზოგიერთი გეომეტრიული ფორმულა. პირველად ვიპოვოთ, რას უდრის R რადიუსიანი სფეროს მოცულობა. ცხადია, საკმარისია ვიპოვოთ ნახევარსფეროს მოცულობა და შემდეგ გავაორკეცოთ იგი. ნახევარსფერო გადავკვეთოთ სიბრტყით, რომელიც მისი ფუძის პარალელურია და ფუძიდან x მანძილით არის დაშორებული (ნახ. 14). კვეთაში გვექნება წრე $AB=\sqrt{R^2-x^2}$ რადიუსით (ამის დასამტკიცებლად უნდა გამოვიყენოთ პითაგორეს თეორემა OAB სამკუთხედისათვის). ამიტომ მიღებული კვეთის ფართობი ტოლი იქნება

$$\pi\left(\sqrt{R^2-x^2}\right)^2=\pi R^2-\pi x^2.$$

მაგრამ მაშინ ნახევარსფეროს (მისი სიმაღლეა R) მოცულობა გამოისახება ფორმულით:

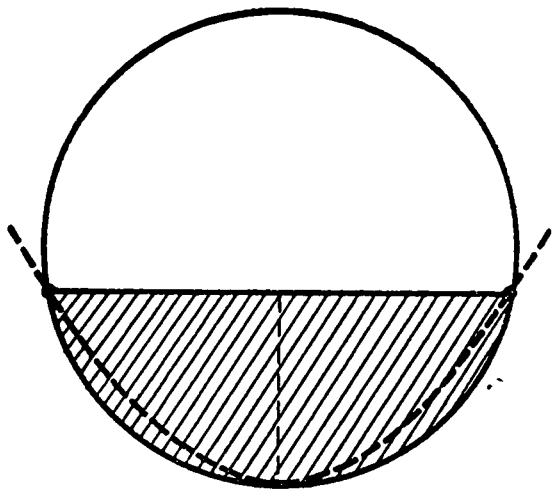
$$V_{\text{ნახევარსფერო}}=\int_0^R(\pi R^2-\pi x^2)dx=\pi R^2R-\pi\frac{R^3}{3}=$$

$$=\frac{2}{3}\pi R^3.$$

მაშასადამე, მთელი სფეროს მოცულობა იქნება $\frac{4}{3}\pi R^3$.

მაგრამ ინტეგრალური აღრიცხვის საშუალებით შეიძლება მოვძებნოთ ისეთი ფართობები და მოცულობებიც, რომლებიც სკოლაში არ ისწავლება.

ვიპოვოთ, მაგალითად, $AOBA$ პარაბოლური სეგმენტის ფართობი, თუ სეგმენტის AB ჭორდის სიგრძეა b, ხოლო OC ისარი უდრის h-ს (ნახ. 15).



ნახ. 16.

პარაბოლის განტოლებას აქვს $y=ax^2$ სახე. $x=\frac{b}{2}$ აბსცისიან წერტილში AD ორდინატა ტოლი უნდა იყოს h ისრის სიგრძისა. ამიტომაც $h=\frac{ab^2}{4}$, აქედან $a=\frac{4h}{b^2}$. ამრიგად, ჩვენი პარაბოლური სეგმენტი ქვემოდან შემოსაზღვრულია პარაბოლით, რომელსაც x აბსცისიან წერტილში აქვს $y=\frac{4hx^2}{b^2}$ ორდინატა. ახლა უკვე იოლად ვიპოვით OAD მრუდწირული სამკუთხედის ფართობს. (2) ფორმულის თანახმად, ამ სამკუთხედის S ფართობი იქნება:

$$S=\int_0^{\frac{b}{2}}\frac{4hx^2}{b^2}\,dx=\frac{4h}{3b^2}\left(\frac{b}{2}\right)^3=\frac{hb}{6}.$$

$ABED$ მართკუთხედის ფართობი კი უდრის bh. მაგრამ პარაბოლური სეგმენტის ფართობს მივიღებთ, თუკი მართკუთხედის ფართობს გამოვაკლებთ OAD სამკუთხედის გაორკეცებულ ფართობს. ე. ი. საძიებელი ფართობია $\frac{2bh}{3}$.

წრიული სეგმენტი, რომელსაც მცირე ცენტრალური კუთხე აქვს, მიახლოებით შეიძლება შევცვალოთ იმავე ქორდისა და იმავე ისრის მქონე პარაბოლური სეგმენტით (ნახ. 16). ამიტომ წრიული სეგმენტის ფართობისათვის გვექნება შემდეგი მიახლოებითი ფორმულა:

$$S_{\text{წრ. სეგ.}}\approx\frac{2}{3}bh.$$

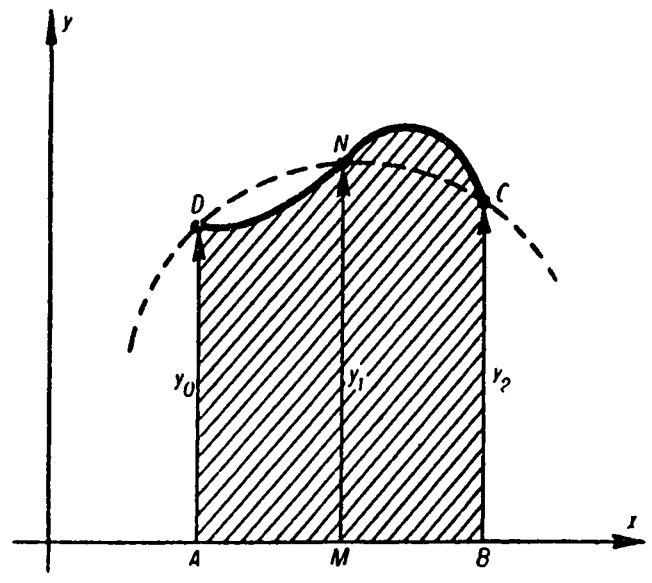
მაგალითად, თუ ცენტრალური კუთხე 60°, მაშინ მიახლოებითი ფორმულა იძლევა 0,0893... R^2, ხოლო ზუსტია 0,0906... R^2. ამრიგად, ისეთი შედარებით დიდი ცენტრალური კუთხისათვისაც კი, როგორიც 60°-იანი კუთხეა, მოყვანილი ფორმულა იძლევა სიზუსტეს 1,5%-მდე.

შესანიშნავი ფორმულა

იგივე ხერხი, რომელიც გამოვიყენეთ წრიული სეგმენტის ფართობის მიახლოებითი გამოთვლისათვის, ცხადია, შეიძლება გამოვიყენოთ იმ მრუდწირული ტრაპეციის შემთხვევაშიც, რომელიც ზემოდან შემოსაზღვრულია CD მრუდით, და რომლის განტოლებაა $y=f(x)$ (ნახ. 17). M იყოს AB მონაკვეთის შუა წერტილი და A, M და B წერტილებიდან აღვმართოთ CD მრუდის AD, MN, BC ორდინატები. ამ ორდინატების სიგრძეები აღვნიშნოთ y_0, y_1, y_2. ახლა C, N და D წერტილებზე გავავლოთ პარაბოლის რკალი, რომელსაც ვერტიკალური ღერძი აქვს (ასეთი რკალის გავლება შეიძლება ყოველთვის, ამასთან ის ერთადერთია; ზოგჯერ ის წრფის მონაკვეთად იქცევა).

თუ ვისარგებლებთ (5), (6) და (7) ფორმულებით, საკმაოდ მარტივი გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ ამ პარაბოლის რკალის ქვემოთ მოთავსებული ფართობი ტოლია

$$\frac{b-a}{6}(y_0+4y_1+y_2),$$



ნახ. 17.

სადაც b და a არის B და A წერტილების აბსცისები. დიდი შეცდომა არ იქნება, თუ ვიტყვით, რომ ამასვე უდრის $ABCD$ მრუდწირული ტრაპეციის ფართობიც, ე. ი. რომ

$$S_{ABCD} \approx \frac{b-a}{6}(y_0+4y_1+y_2).$$

რადგანაც მრუდწირული ტრაპეციის ფართობი გამოისახება ინტეგრალით $\int_a^b f(x)dx$, ამიტომ მიღებული ფორმულა შეიძლება ამ ინტეგრალის მიახლოებით მნიშვნელობად ჩავთვალოთ, ე. ი.

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6}(y_0+4y_1+y_2),$$

სადაც y_0, y_1, y_2 არის $f(x)$ ფუნქციის მნიშვნელობები a, $\frac{a+b}{2}$, b აბსცისიან წერტილებში.

ასეთივე ფორმულით შეიძლება გამოვთვალოთ ნებისმიერი სხეულის მოცულობა:

$$V=\int_0^H S(x)dx \approx \frac{H}{6}(S_0+4S_1+S_2),$$

სადაც H სხეულის სიმაღლეა, S_0 — ქვედა კვეთის ფართობი, S_2 — ზედა კვეთის ფართობი, S_1 კი — შუა კვეთის ფართობი. ამ ფორმულით სარგებლობენ ხის, ზვინის, კასრის და სხვა უფრო რთული ფორმის სხეულების მოცულობათა გამოსათვლელად. საყურადღებოა, რომ ყველა იმ ნაკვთისათვის, რომლებიც სკოლაში შეისწავლება (პრიზმა, ცილინდრი, პირამიდა, კონუსი, წაკვეთილი პირამიდა, წაკვეთილი კონუსი, სფერო, სფერული შრე, სფერული სეგმენტი), ეს ფორმულა იძლევა არა მიახლოებით, არამედ სავსებით ზუსტ შედეგს. მკითხველს ვურჩევთ შეამოწმოს ეს დებულება.

ᲠᲝᲒᲝᲠ ᲒᲐᲕᲖᲝᲛᲝᲗ ᲢᲧᲕᲘᲘᲡ ᲤᲠᲔᲜᲘᲡ ᲡᲘᲩᲥᲐᲠᲔ

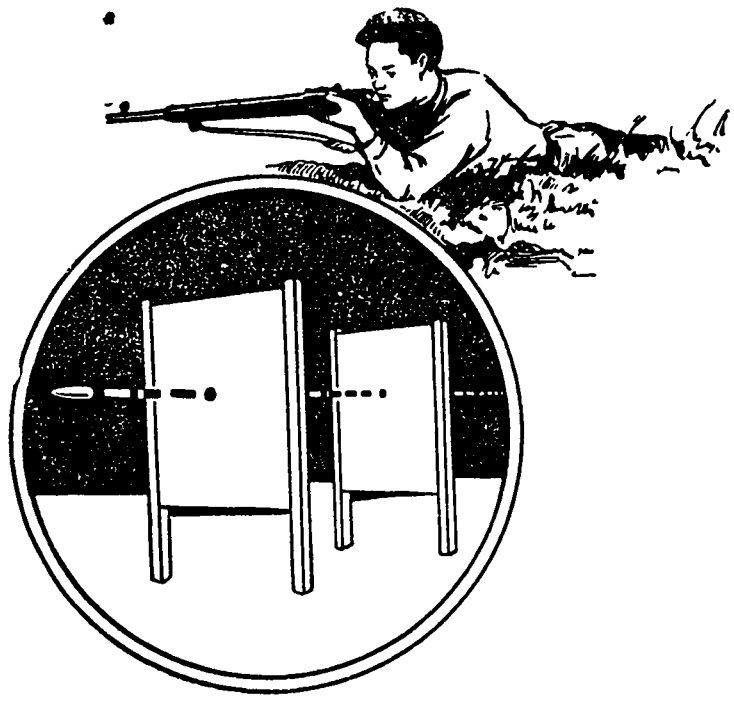
ზემოთ ხშირად ვლაპარაკობდით მოძრაობის სიჩქარეზე (მაგალითად, ავტომობილის სიჩქარეზე). ჩვენ გვქონდა ფორმულა:

$$s=\int_0^T v(t)\,dt,$$

სადაც $v(t)$ აღნიშნავდა სხეულის მოძრაობის სიჩქარეს დროის t მომენტში. ასეთ სიჩქარეს ფიზიკაში მყისი სიჩქარე ეწოდება. როგორღა შეიძლება გაიზომოს მოძრაობის მყისი სიჩქარე? თუ ლაპარაკია იმ ავტომობილის მოძრაობის სიჩქარის გაზომვაზე, რომლის კაბინაშიც ჩვენ ვსხედვართ, მაშინ ყველაფერი ძალზე მარტივად იქნება. საკმარისია შევხედოთ სპიდომეტრის ისარს და მოძრაობის სიჩქარეც გვეცოდინება. მაგრამ როგორ გავიგოთ იმ მანქანის მოძრაობის სიჩქარე, რომელმაც ქუჩაში გვერდზე ჩაგვიქროლა, ან როგორ განვსაზღვროთ ტყვიის ფრენის სიჩქარე? ჩვენ ვიცით, რომ არსებობს მანძილის გასაზომი ხელსაწყოები (სახაზავები, რულეტები და სხვა), მივუყენებთ ასეთ ხელსაწყოს გასაზომ მანძილს და პასუხი იმწამსვე ცხადი გახდება. არის აგრეთვე დროის გასაზომი ხელსაწყოებიც (საათები, ქრონომეტრები). ბევრია სხვა მრავალი სასარგებლო ხელსაწყოც. მაგრამ „სიჩქარის მზომები“, ისეთი ხელსაწყოები, რომლებიც შეგვეძლო „მიგვეყენებინა“ ჩვენს მახლობლად მოძრავი სხეულებისათვის და უშუალოდ მათი ჩვენებების მიხედვით გაგვეგო სხეულის მოძრაობის სიჩქარე, არ არსებობს. ანდა როგორ უნდა „მივუყენოთ“ ხელსაწყო ჩვენს მახლობლად ჩაქროლილ ავტომობილს ან მფრინავ ტყვიას?!

ასეთ შემთხვევაში შეიძლება რამდენადმე გამოგვადგეს ხელსაწყოები, რომლებიც მანძილსა და დროს ზომავენ. ეს ხელსაწყოები საშუალებას იძლევიან გავზომოთ ტყვიის მიერ გავლილი მანძილი და დრო, რომელიც ამ მანძილის გავლისას დაიხარჯა. თუ მანძილს გავყოფთ დროზე, გავიგებთ ტყვიის ფრენის სიჩქარეს. მაგრამ ამით გამოვთვლით ტყვიის ფრენის მხოლოდ საშუალო სიჩქარეს, რომელიც ბევრს არაფერს იძლევა. ჰაერის წინააღმდეგობა ხომ განუწყვეტლივ ამცირებს ტყვიის მოძრაობის სიჩქარეს და გზის ბოლოს მას უფრო ნაკლები სიჩქარე ექნება, ვიდრე დასაწყისში. ამიტომაც გზის რომელიმე წერტილში ტყვიის სიჩქარის განსაზღვრისათვის სხვაგვარად იქცევიან. ამ წერტილში დგამენ თხელ ფურცელს და აერთებენ საათთან იმგვარად, რომ საათი აღნიშნავს დროის იმ t_1 მომენტს, როდესაც ტყვია

ფურცელს კვეთს. ამ წერტილიდან ცოტა დაშორებით ათავსებენ მეორე ფურცელს, რომელიც აგრეთვე შეერთებულია საათთან ისე, რომ აღინიშ-



ნახ. 18.

ნება დროის t_2 მომენტი, როცა ტყვია მეორე ფურცელს კვეთს. ვთქვათ, პირველი ფურცელი ცეცხლის ხაზიდან დაშორებულია s_1 მანძილით, ხოლო მეორე s_2 მანძილით (ნახ. 18). მაშინ $s_2 - s_1$ მანძილს ტყვია გაივლის $t_2 - t_1$ დროში. მაშასადამე, ტყვიის საშუალო სიჩქარე დროის ამ შუალედში ტოლი იქნება:

$$v_{\text{საშ.}} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}.$$

მაგრამ არც ეს გაზომვა არ იძლევა მყისი სიჩქარის ზუსტ მნიშვნელობას t_1 მომენტში. ფურცლებს შორის ტყვიას ამუხრუჭებდა ჰაერი. მეორე ფურცელთან ტყვიას უფრო ნაკლები სიჩქარე ჰქონდა, ვიდრე პირველთან. რომ შევამციროთ ტყვიის სიჩქარეზე ჰაერის გავლენა, ფურცლები ერთმანეთთან ახლოს უნდა განვალაგოთ. რაც უფრო ახლოს იქნება მეორე ფურცელი პირველთან, მით უფრო ზუსტად გავზომავთ მყის სიჩქარეს t_1 მომენტში (ცხადია, ჩვენ მიგვაჩნია, რომ გვაქვს საკმაოდ ზუსტი საათები და უნაკლო სახაზავები). ამასთან, რაც უფრო ახლოსაა ერთმანეთთან ფურცლები, მით უფრო მცირეა დროის $t_2 - t_1$ შუალედი, რომელსაც ტყვია მოანდომებს ფურცლებს შორის მანძილის დაფარვას. ამგვარად, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ტყვიის ფრენის მყისი სიჩქარე

$$v(t_1) = \lim \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1},$$

სადაც ზღვარი აღებულია იმ პირობით, რომ s_2 მნიშვნელობა უახლოვდება s_1 მნიშვნელობას (ანდა, რაც იგივეა, t_2 მნიშვნელობა უახლოვდება t_1 მნიშვნელობას).

რადიოაქტიური დაშლის სიჩქარე

სხვადასხვა რადიოაქტიური ნივთიერება სხვადასხვა სიჩქარით იშლება. მაშ, რა გაგებით შეიძლება ლაპარაკი იმაზე, რომ დაშლა „სწრაფად“ ან „ნელა“ ხდება? როგორ შეიძლება გავზომოთ რადიოაქტიური ნივთიერების „დაშლის სიჩქარე“ დროის მოცემულ მომენტში? ადვილად იზომება დაშლის საშუალო სიჩქარე ერთ წელიწადში: უნდა ავიღოთ ერთი წლის მანძილზე დაშლილი ნივთიერების რაოდენობა და გავყოთ წელიწადის წამების რიცხვზე. ეს მოგვცემს დაშლის საშუალო სიჩქარეს, გამოსახულს გ/წმ-ში. მაგრამ აღნიშნული მეთოდი არ გამოდგება დაშლის მყისი სიჩქარის განსასაზღვრავად, რადგანაც წლის განმავლობაში რადიოაქტიური ნივთიერება თანდათანობით მცირდებოდა, და ამიტომაც ის თანდათანობით ნელა და ნელა იშლებოდა. იმისათვის, რომ უფრო ზუსტად განვსაზღვროთ დროის მოცემულ მომენტში დაშლის სიჩქარე, დაშლის საშუალო სიჩქარე უნდა გავზომოთ არა წლის, არამედ თვის მიხედვით, უკეთესია, თუ განვსაზღვრავთ დღე-ღამის, საათის, წუთის და ა. შ. მიხედვით.

დროის აღებული შუალედის მიხედვით დაშლის სიჩქარის გაზომვისას ამ დროის განმავლობაში დაშლილი ნივთიერების რაოდენობა უნდა შევუფარდოთ მოცემული დროის მონაკვეთის წამების რიცხვს.

ამგვარად, თუ თანდათანობით შევამცირებთ დროის მონაკვეთს ნივთიერების მასის ორ მიმდევრობით გაზომვას შორის, მივუახლოვდებით რომელიღაც რიცხვს. სწორედ ეს რიცხვი იქნება დაშლის სიჩქარე მოცემულ მომენტში.

ფორმულებით ეს შეიძლება შემდეგნაირად ჩავწეროთ: ვთქვათ, დროის t_1 მომენტში სინჯა-

რაშია ჯერ კიდევ დაუშლელი რადიოაქტიური ნივთიერება m_1 მასის ოდენობით, ხოლო რამდენიმე ხნის შემდეგ, t_2 მომენტში, მისი მასა შემცირდა (რადგანაც ნივთიერების ნაწილი იქცა დაშლის პროდუქტებად) და გახდა m_2. ამგვარად, t_2-t_1 დროში სინჯარაში არსებული რადიოაქტიური ნივთიერება შეიცვალა m_2-m_1 გრამით (ეს რიცხვი უარყოფითია, რადგანაც დაუშლელი რადიოაქტიური ნივთიერების მასა დროის მიხედვით მცირდება).

$$\frac{m_2-m_1}{t_2-t_1}$$

ფარდობა წარმოადგენს სინჯარაში მოთავსებული რადიოაქტიური ნივთიერების მასის ცვლილების საშუალო სიჩქარეს დროის განხილულ შუალედში, ე. ი. წარმოადგენს დაშლის საშუალო სიჩქარეს. რაც უფრო მცირეა დროის t_2-t_1 შუალედი, მით უფრო ზუსტად გამოხატავს ეს ფარდობა დაშლის მყის სიჩქარეს.

ამგვარად, ჩვენ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ t_1 მომენტში დაშლის მყისი სიჩქარე $u(t_1)$ ტოლია;

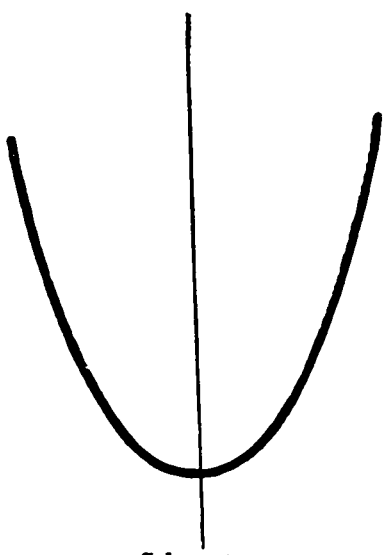
$$u(t_1)=\lim\frac{m_2-m_1}{t_2-t_1},$$

სადაც ზღვარი აღებულია იმ პირობით, რომ t_2 უახლოვდება t_1 მნიშვნელობას.

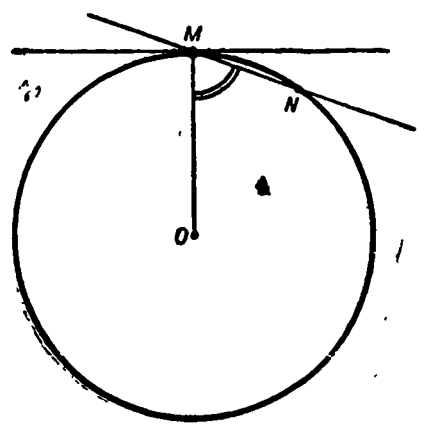
სავსებით ანალოგიურად შეიძლება განისაზღვროს ქიმიური რეაქციის მყისი სიჩქარეც.

ᲘᲪᲘᲗ ᲗᲣ ᲐᲠᲐ ᲛᲮᲔᲑᲘᲡ ᲒᲐᲕᲚᲔᲑᲐ?

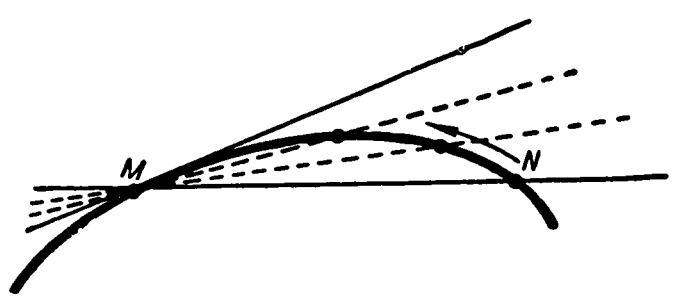
ამ კითხვაზე ალბათ მოიგონებთ, როგორ ავლებენ წრეწირისადმი მხებს და კითხვაზე დადებით პასუხს გასცემთ. მაგრამ აქ ლაპარაკია არა მარტო წრეწირის, არამედ საერთოდ ნებისმიერი მრუდის მხებზე. სასკოლო სახელმძღვანელოებში კი არაფერია ნათქვამი ნებისმიერი მრუდისადმი მხების გავლებაზე. საზოგადოდ, იქ მხები განსაზღვრულიც არ არის. ცხადია, არ შეიძლება მხები განისაზღვროს როგორც წრფე, რომელსაც მრუდთან მხოლოდ ერთი საერთო წერტილი აქვს: პარაბოლას ღერძი პარაბოლასთან მხოლოდ ერთ წერტილში გადაიკვეთება (ნახ. 19), მაგრამ ალბათ არავის მოუვა აზრად, რომ ეს ღერძი პარაბოლას მხებად მიიჩნიოს.



ნახ. 19.



ნახ. 21.

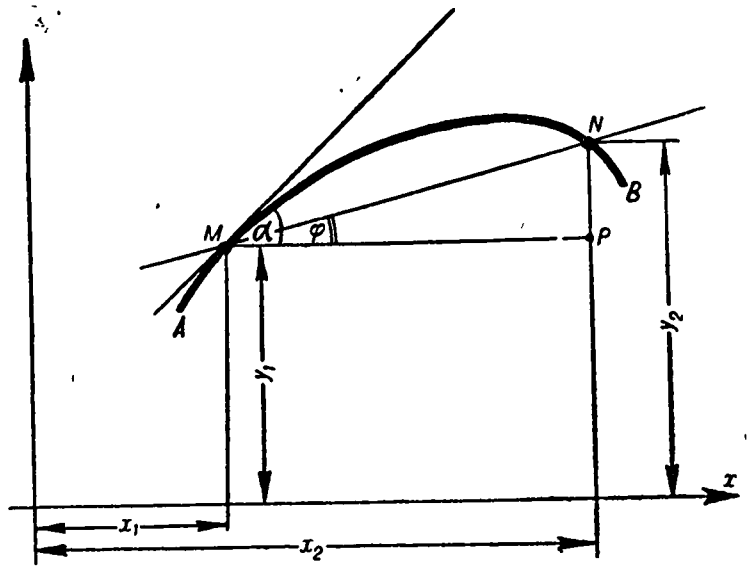


ნახ. 20.

მაშ, რას ეწოდება მრუდის მხები და როგორ გავავლოთ იგი? შევეცადოთ ვუპასუხოთ ამ კითხვაზე. მრუდზე მდებარე M წერტილზე გავავლოთ MN მკვეთი (ნახ. 20). თუ ახლა N წერტილს მრუდის გასწვრივ M წერტილს მივუახლოვებთ, მაშინ მკვეთი დაიწყებს M წერტილის ირგვლივ ბრუნვას, ამასთან სულ უფრო და უფრო მიუახლოვდება წრფეს. სწორედ ეს წრფე იქნება მრუდის მხები M წერტილში. წრეწირისათვის ეს განსაზღვრა ემთხვევა ჩვეულებრივ განსაზღვრას (ნახ. 21): N წერტილის M წერტილისაკენ მისწრაფების დროს OMN კუთხეც უახლოვდება მართ კუთხეს და ამიტომ წრეწირის მხები რადიუსის მართობულია.

ამრიგად, მხები არის წრფე, რომლისკენაც მიისწრაფვის MN მკვეთი, როცა N წერტილი უახლოვდება M წერტილს (აღებული მრუდის გასწვრივ).

ახლა უკვე არ გაგვიძნელდება რაიმე ფორმულის საშუალებით მხების მდებარეობის აღწერა. ამისათვის დავუშვათ, რომ AB მრუდი არის რაიმე $y=f(x)$ ფუნქციის გრაფიკი. M და N წერტილების ორდინატები აღვნიშნოთ y_1, და y_2-ით, ხოლო აბსცისები x_1 და x_2-ით.



ნახ. 22.

თუ განვიხილავთ MNP მართკუთხა სამკუთხედს MN ჰიპოტენუზითა და კოორდინატთა ღერძების პარალელური კათეტებით (ნახ. 22), ადვილად შეგვიძლია განვსაზღვროთ φ კუთხე, რომლითაც MN მკვეთი დახრილია x ღერძთან:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{PN}{MP}.$$

მაგრამ 22-ე ნახაზიდან ცხადია, რომ $PN = y_2 - y_1$, $MP = x_2 - x_1$. ამრიგად,

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

თუ ახლა N წერტილი დაიწყებს AB მრუდზე M წერტილთან მიახლოებას, მაშინ MN მკვეთი დაიწყებს ბრუნვას და ისე მიუახლოვდება მხების მდებარეობას, რომ ზღვარში მივიღებთ იმ კუთხის ტანგენსს, რომლითაც მხები დახრილია x ღერძთან:

$$\operatorname{tg}\alpha = \lim \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

ზღვარი აღებულია იმ პირობით, რომ N წერტილი უახლოვდება M წერტილს, ე. ი. x_2 მნიშვნელობა უახლოვდება x_1-ს.

წარმოებული

ჩვენ განვიხილეთ რამდენიმე ამოცანა ფიზიკიდან და გეომეტრიიდან. მიუხედავად ამ ამოცანების გარეგნული განსხვავებისა, მათ ბევრი საერთო ჰქონდათ. პირველ ორ ამოცანაში (მოძრაობის სიჩქარე, დაშლის სიჩქარე) საერთო იყო ის, რომ ორივე შემთხვევაში გვქონდა რაღაც სიდიდის ცვლილების სიჩქარე: მოძრაობის სიჩქარე არის გზის ცვლილების სიჩქარე დროის განმავლობაში, დაშლის სიჩქარე არის რადიოაქტიური ნივთიერების მასის ცვლილების სიჩქარე. მაგრამ მესამე მაგალითშიც გვქონდა რაღაც ცვლილების სიჩქარე: მხების დახრის კუთხის ტანგენსი არის ორდინატის ცვლილების სიჩქარე. მართლაც, $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ ფარდობა წარმოადგენს ორდინატის ზრდის საშუალო სიჩქარეს x_1 წერტილიდან x_2 წერტილში გადაადგილების დროს, ხოლო ამ ფარდობის ზღვრული მნიშვნელობა (რომელიც უდრის $\operatorname{tg}\alpha$) იძლევა ორდინატის ცვლილების მყის სიჩქარეს.

ამრიგად, ყველა განხილულ ამოცანაში გვქონდა რაღაც სიდიდის ცვლილების მყისი სიჩქარე; სწორედ ამით აიხსნება, რომ ერთი შეხედვით ამ ერთმანეთისაგან ძალზე განსხვავებული სიდიდეების განსაზღვრისას ვღებულობდით ძალზე მსგავს ფორმულებს. წმინდა მათემატიკურად ცვლილების სიჩქარე შეიძლება შემდეგნაირად განისაზღვროს; ვთქვათ, გვაქვს $y = f(x)$ ფუნქცია. ამ ფუნქციის მნიშვნელობები x_1 და x_2 წერტილებში აღვნიშნოთ y_1 და y_2-ით. მაშინ $y_2 - y_1$ გვიჩვენებს, თუ რამდენად შეიცვალა განხილული ფუნქციის მნიშვნელობა x_1-დან x_2 მნიშვნელობაზე გადასვლისას, ხოლო $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ ფარდობა წარმოადგენს $y = f(x)$ ფუნქციის ცვლილების საშუალო სიჩქარეს $[x_1, x_2]$ შუალედში. ახლა, თუ x_2 მნიშვნელობა უახლოვდება x_1 მნიშვნელობას, მაშინ ზღვარში მივიღებთ აღებული ფუნქციის ცვლილების მყის სიჩქარეს x_1 წერტილში; იგი ტოლია

$$\lim \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

სადაც ზღვარი აიღება იმ პირობით, რომ x_2 უახლოვდება x_1 მნიშვნელობას. ცვლილების ეს მყისი სიჩქარე იწოდება $y = f(x)$ ფუნქციის წარმოებულად x_1 წერტილში x არგუმენტის მიმართ; იგი აღინიშნება $f'(x_1)$ სიმბოლოთი.

ამ აღნიშვნებში ნათლად არის მითითებული, რომელ წერტილშია აღებული ცვლილების მყისი სიჩქარე (ე. ი. წარმოებული). არსებობს წარმოებულის სხვა აღნიშვნებიც, მაგრამ ჩვენ მათ არ განვიხილავთ. ცხადია, წარმოებული შეიძლება

სხვადასხვა წერტილებში განისაზღვროს. ასე რომ, წარმოებული $f'(x)$ თავისთავად არის აგრეთვე x-ის გარკვეული ფუნქცია. ახლა ცხადია, რომ ფიზიკიდან და გეომეტრიიდან აღებული ზემოთ განხილული ამოცანები შეიძლება წარმოებულის საშუალებით ჩამოვაყალიბოთ.

მოძრაობის $v(t)$ სიჩქარე არის $s(t)$ გზის წარმოებული დროით:

$$v(t)=s'(t). \tag{9}$$

რადიოაქტიური დაშლის $u(t)$ სიჩქარე რადიოაქტიური ნივთიერების $m(t)$ მასის დროით წარმოებულის ტოლია:

$$u(t)=m'(t). \tag{10}$$

დასასრულ, $y=f(x)$ ფუნქციის გრაფიკისადმი x აბსცისიან წერტილში გავლებული მხების დახრის ტანგენსი არის $f(x)$ ფუნქციის წარმოებული:

$$\operatorname{tg}\alpha|_{x\ \text{წერტილში}}=f'(x). \tag{11}$$

მრავალწევრების წარმოებულები

ზემოთქმულიდან ცხადია, რომ სხვადასხვა ფუნქციის გაწარმოებას (წარმოებულის პოვნას გაწარმოება ეწოდება) ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ფიზიკის, გეომეტრიისა და სხვა მეცნიერებათა მთელი რიგი ამოცანების გადასაწყვეტად. ახლა განვიხილოთ მაგალითი წარმოებულის უშუალო გამოთვლაზე.

ავიღოთ ფუნქცია $y=x^3$. ფარდობას, რომელიც წარმოებულის გამოთვლისათვის უნდა განვიხილოთ, შემდეგი სახე ექნება:

$$\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}=\frac{x_2^3-x_1^3}{x_2-x_1}=\frac{(x_2-x_1)(x_2^2+x_2x_1+x_1^2)}{x_2-x_1}=x_2^2+x_2x_1+x_1^2.$$

თუ ახლა x_2 მიისწრაფვის x_1-საკენ, მაშინ ზემოთ მოყვანილი გამოსახულება, ცხადია, მიუახლოვდება $x_1^2+x_1^2+x_1^2=3x_1^2$ მნიშვნელობას. ამრიგად, $y=x^3$ ფუნქციის წარმოებულს $x=x_1$ წერტილში ექნება $3x_1^2$ მნიშვნელობა, ე. ი. $(x^3)'\big|_{\text{როცა } x=x_1}=3x^2{}_1$. უფრო მოკლედ ეს ჩაიწერება ასე: $(x^3)'=3x^2$.

მკითხველს ვანდობთ ამგვარადვე იპოვოს $y=x^2$ და $y=x$ ფუნქციების წარმოებულები. შედეგები ასეთია:

$$(x^2)'=2x;\ (x)'=1.$$

წარმოებულების გამოთვლის ეს ფორმულები, ცხადია, ერთ ზოგად ფორმულაში გაერთიანდება

$$(x^n)'=nx^{n-1}. \tag{12}$$

n-ის ნებისმიერი მთელი დადებითი მნიშვნელობისათვის ზემოთ მოყვანილი ფორმულა შემოწმდება დაახლოებით იმავე ხერხით, რომლითაც გამოვთვალეთ წარმოებული x^3 ფუნქციიდან. უმაღლეს მათემატიკაში მტკიცდება, რომ (12) ფორმულა მართებულია ნებისმიერი n-სათვის. შევნიშნავთ, რომ ერთის (ან საზოგადოდ ნებისმიერი მუდმივი სიდიდის) წარმოებული ნულის ტოლია. ეს მარტივად გამომდინარეობს (12) ფორმულიდან, და სხვათა შორის, ამის გარეშეც ცხადია, ვინაიდან მუდმივი სიდიდის ცვლილების სიჩქარე ნულის ტოლია.

ახლა შევნიშნოთ, რომ წარმოებულს აქვს შემდეგი მარტივი, მაგრამ მეტად მნიშვნელოვანი თვისებები: მუდმივი თანამამრავლი შეიძლება წარმოებულის ნიშნის გარეთ გამოვიტანოთ; გარდა ამისა, ორი (ან რამდენიმე) ფუნქციის ჯამის წარმოებული უდრის შესაკრებთა წარმოებულების ჯამს:

$$[kf(x)]'=k\cdot f'(x),$$
$$[f_1(x)+f_2(x)]'=f'_1(x)+f'_2(x).$$

ამ წესების სამართლიანობა მარტივად მტკიცდება (9) ფორმულის დახმარებით, დაახლოებით იმდაგვარადვე, როგორც ეს ზემოთ გავაკეთეთ ინტეგრალებისათვის.

ახლა უკვე ადვილად მოიძებნება ნებისმიერი მრავალწევრის წარმოებული, მაგალითად:

$$(3x^3-2x^2+5x-4)'=(3x^3)'+(-2x^2)'+$$
$$+(5x)'+(-4)'=3(x^3)'-2(x^2)'+5(x)'-$$
$$-4(1)'=3\cdot 3x^2-2\cdot 2x+5\cdot 1-4\cdot 0=$$
$$=9x^2-4x+5.$$

საზოგადოდ, თუ

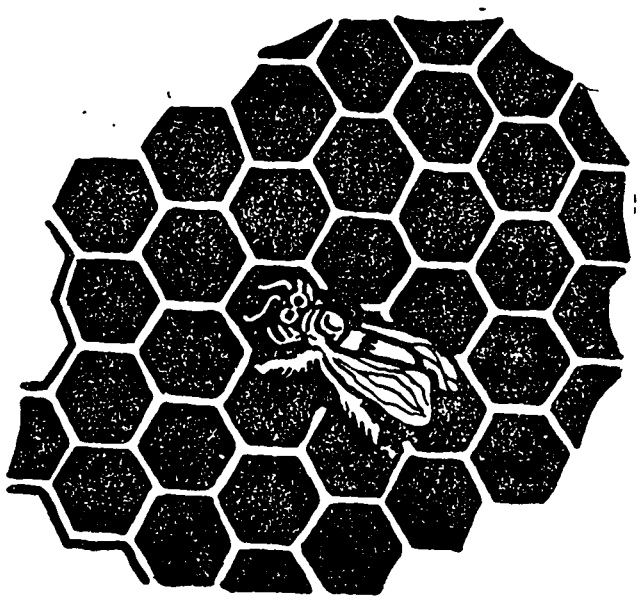
$$f(x)=a_0x^n+a_1x^{n-1}+\dots+a_{n-1}x+a_n$$

n რიგის მრავალწევრია, მაშინ მისი წარმოებული გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$f'(x)=na_0x^{n-1}+(n-1)a_1x^{n-2}+\dots+a_{n-1}.$$

ფუტკრები — მათემატიკოსები

რუსი მათემატიკოსი პ. ჩებიშევი შრომაში — „გეოგრაფიული რუკების ხაზვა“ — წერდა, რომ განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მეცნიერების იმ მეთოდებს, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს ამოვხსნათ ადამიანის ყოველგვარი პრაქტიკული მოქმედების საერთო ამოცანა, ე. ი. ის, თუ როგორ მოვიხმაროთ ჩვენი საშუალებები მაქსიმალური სარგებლობის მისაღწევად. მაგალითად, მუშა-მელითონე ცდილობს რაც შეიძლება მეტი დეტალი მიიღოს ლითონის ნაჭრიდან; ფეხსაცმელების ქარხნის მეთარგე ცდილობს ტყავის ნაჭრიდან რაც შეიძლება მეტი ნამზადი გამოჭრას. ტექნოლოგი ცდილობს ქარხანაში დაზგები ისე განალაგოს, რომ დეტალების დამუშავებას რაც შეიძლება ნაკლები დრო დასჭირდეს და ა. შ.



ნახ. 23.

მაგრამ მსგავსი ამოცანების გადაწყვეტა მარტო ადამიანებს როდი უხდებათ. ფუტკრებიც ხსნიან შეუგნებლად ერთ ასეთ ამოცანას: ისინი ცდილობენ ფიჭის უჯრედებს ისეთი ფორმა მისცენ, რომ მოცემულ მოცულობაზე რაც შეიძლება ნაკლები სანთელი დახარჯონ, და თუმცა მათ მათემატიკა არ იციან, ამ ამოცანას მაინც ზუსტად ხსნიან (ნახ. 23).

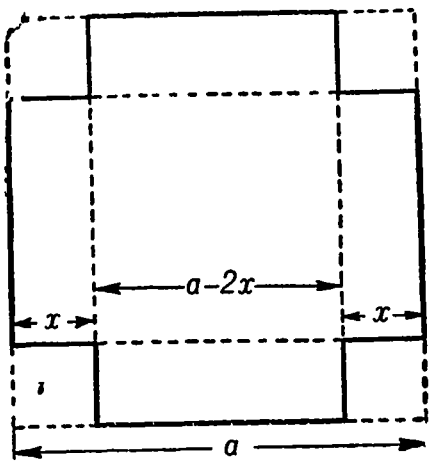
ამ საქმეში ფუტკრებს ინსტინქტი ეხმარება. ადამიანი კი ფუტკრისაგან იმითაც განსხვავდება, რომ იგი მოქმედებს არა ინსტინქტით, არამედ გონებით.

ასეთი ამოცანების გადაწყვეტისას ადამიანს დიდად ეხმარება მათემატიკა, და განსაკუთრებით წარმოებულის ცნება.

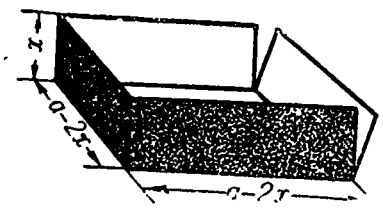
იმისათვის, რომ გავიგოთ, როგორ ხსნიან მათემატიკოსები ამგვარ ამოცანებს, განვიხილოთ ერთი მათგანი.

როგორ გავაკეთოთ ყველაზე დიდი კოლოფი

ვთქვათ, გვაქვს მუყაოს a გვერდიანი კვადრატული ფორმის ნაჭერი. მისგან უნდა დავამზადოთ უთავსახურო კოლოფი. მუყაოს ნაჭრის კუთხეებში ამოვჭრათ პატარა კვადრატები (ნახ. 24) და გადავკეცოთ ხაზებზე, რომლებიც პუნქტირითაა აღნიშნული. მივიღებთ კოლოფს (ნახ. 25); მაგრამ ბევრი რამ შეიძლება შიგ ჩავაწყოთ? ეს დამოკიდებულია იმაზე, როგორი კვადრატები ამოვჭერით. თუ ისინი ძალიან პატარებია, მაშინ კოლოფი გამოვა დაბალი (ნახ. 26, ა) და მასში ბევრი არაფერი ჩავა, ხოლო თუ ამოჭრილი კვადრატები ძალიან

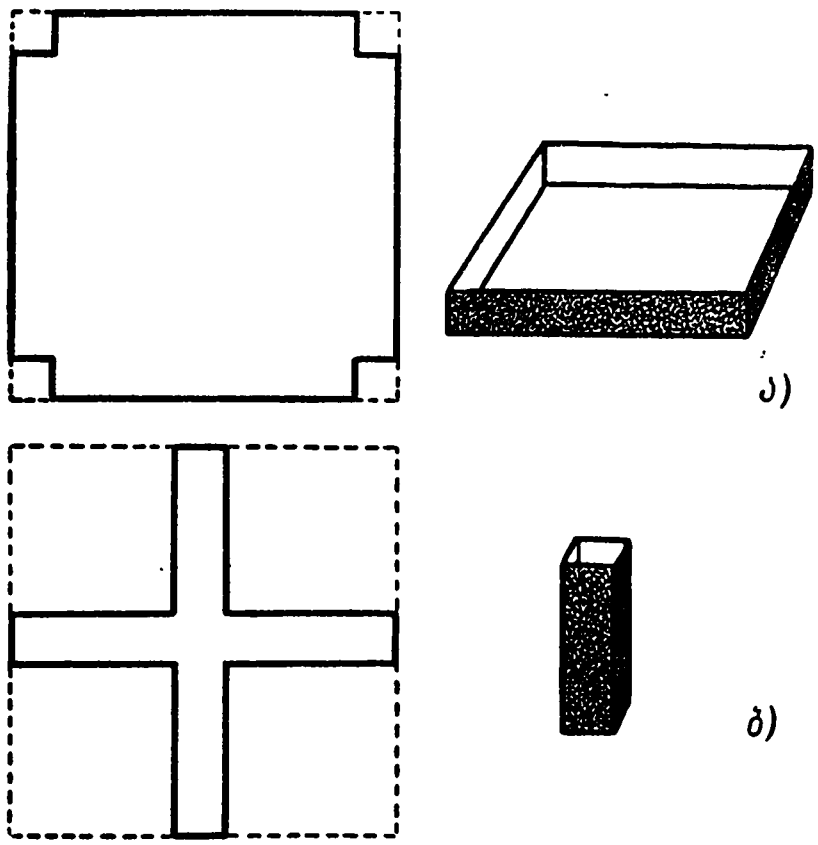


ნახ. 24.



ნახ. 25.

დიდებია (ნახ. 26, ბ), მაშინ კოლოფი ძალზე ვიწრო გამოვა და იქაც ბევრი არა ჩაეტევა რა. ვიპოვოთ ამოჭრილი კვადრატის როგორი x გვერდისათვის იქნება კოლოფის $V(x)$ მოცულობა მაქსიმალური. 25-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ $V=x(a-2x)^2=4x^3-4ax^2+a^2x$. ამ ფუნქციის გრაფიკი გამოსახულია 27-ე ნახაზზე. ამასთანავე x მოთავსებული უნდა იყოს 0-სა და $\frac{a}{2}$-ს შორის, რადგანაც a გვერდიანი კვადრატიდან შეუძლებელია $\frac{a}{2}$-ზე მეტი გვერდის



ნახ. 26.

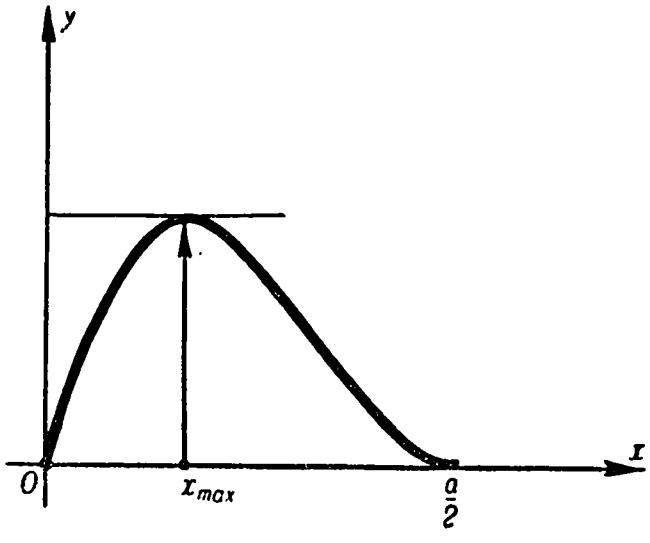
მჭონე ოთხი კვადრატის ამოჭრა. 27-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ იმ წერტილში, სადაც მოცულობის მნიშვნელობა უდიდესია, მხები მიდის ჰორიზონტალურად, ე. ი. x ღერძთან ადგენს ნულის ტოლ კუთხეს. მაგრამ ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ წერტილში წარმოებული ნულს უდრის. ამრიგად, რომ ვიპოვოთ x მნიშვნელობა, რომლისთვისაც კოლოფის მოცულობა ყველაზე დიდი იქნება, უნდა მოვძებნოთ x-ის ყველა ის მნიშვნელობა, რომლისთვისაც

$$V(x) = 4x^3 - 4ax^2 + a^2x$$

ფუნქციის წარმოებული ნულად იქცევა. მრავალწევრის გაწარმოების ფორმულის თანახმად

$$V'(x) = 12x^2 - 8ax + a^2.$$

წარმოებულს ვუტოლებთ ნულს და ვპოულობთ ორ ფესვს: $x_1 = \frac{a}{2}$, $x_2 = \frac{a}{6}$. ცხადია, ფესვი $x_1 = \frac{a}{2}$ ჩვენ არ გამოგვადგება: თუ ამოვჭრით $\frac{a}{2}$ გვერდიან კვადრატებს, მაშინ მუყაოს ფურცლიდან არაფერი არ დაგვრჩება. მაშასადამე, მოცულობის უდიდეს მნიშვნელობას მივიღებთ, თუ $x = \frac{a}{6}$, ე. ი. თუ ამოვჭრით $\frac{a}{6}$ გვერდიან კვადრატებს. მაშინ კოლოფის მოცულობა იქნება $\frac{2a^3}{27}$. აღებული მუყაოს ნაჭრიდან უფრო დიდი მოცულობის კოლოფის გაკეთება შეუძლებელია.

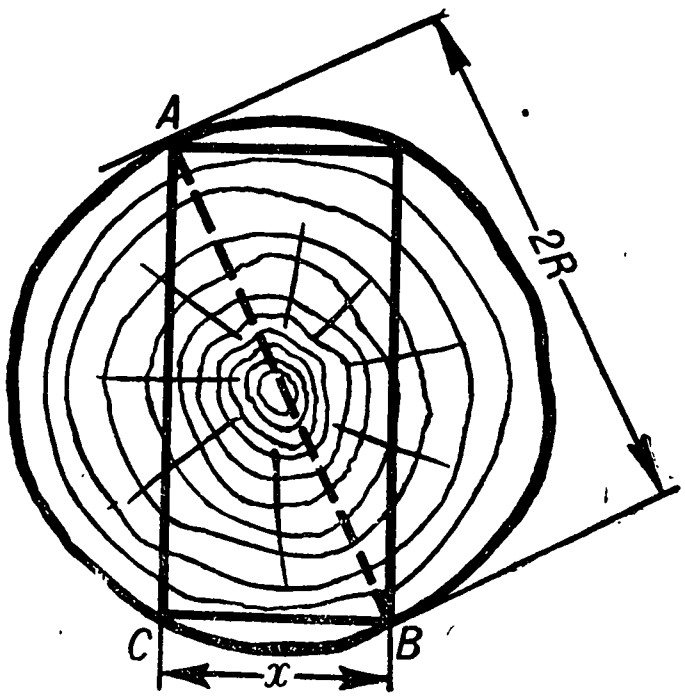


ნახ. 27.

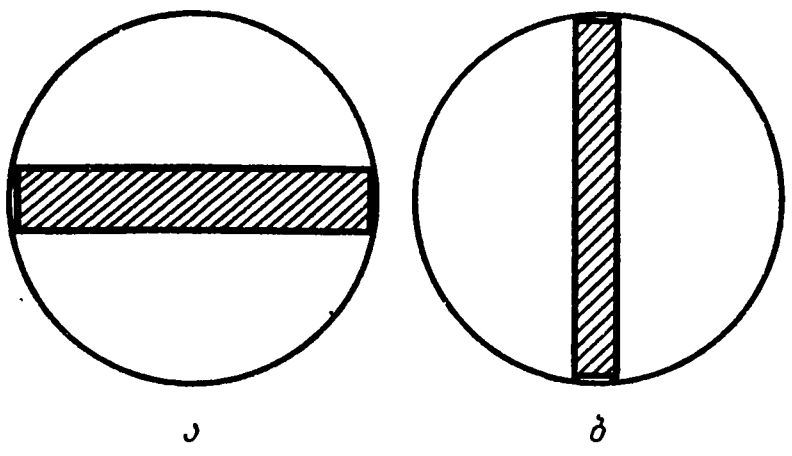
უდიდესი სიმტკიცის კოჭი

ნებისმიერი სამშენებლო კონსტრუქციის ძირითად ელემენტს კოჭი წარმოადგენს. კოჭის სიმტკიცე დამოკიდებულია განივი კვეთის ფორმაზე. საინჟინრო გამოთვლებიდან გამომდინარეობს, რომ მართკუთხედის კვეთის მქონე კოჭის სიმტკიცე კოჭის a სიგანისა და h სიმაღლის კვადრატის პროპორციულია. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ასეთი კოჭის რაიმე ერთეულში გაზომილი სიმტკიცე უდრის kah^2, სადაც k არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია კოჭის სიგრძეზე, იმ მასალაზე, რომლისაგანაც კოჭია დამზადებული და ა. შ.

ხის კოჭი, ჩვეულებრივ, მრგვალი მორებისავან მზადდება. ამასთან დაკავშირებით ისმის ამოცანა, როგორ დავამზადოთ R რადიუსიანი მორისაგან უდიდესი სიმტკიცის კოჭი. 28-ე ნახაზზე გამოსახულია მორის განივი ჭრილი. ცხადია, გამოჭრილი კოჭის სიმტკიცე ამ კოჭის სიგანის ფუნქციაა, მაგრამ თუ ძალიან დიდ სიგანეს ავიღებთ (თითქმის მორის დიამეტრის ტოლს), მაშინ მივიღებთ ძალიან პატარა სიმაღლის კოჭს და მისი სიმტკიცეც მცირე იქნება (ნახ. 29, ა). მცირე იქნება კოჭის სიმტკიცე მაშინაც, თუ იგი ძალიან ვიწროა (ნახ. 29, ბ). რომ ვიპოვოთ სიგრძისა და სიგანის როგორი თანაფარდობის დროს ექნება კოჭს უდიდესი სიმტკიცე, გამოვსახოთ კოჭის სიმტკიცე როგორც მისი x სიგანის ფუნქცია. 28-ე ნახაზზე გამოსახული ABC



ნახ. 28.

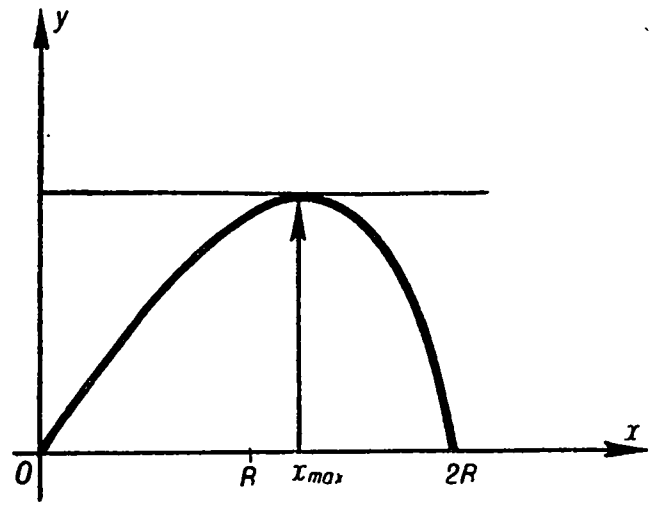


ნახ. 29.

სამკუთხედიდან ჩანს, რომ x სიგანის კოჭის სიმაღლე უდრის $\sqrt{4R^2-x^2}$. ამიტომ ასეთი კოჭის სიმტკიცე იქნება

$$kx(4R^2-x^2)=4R^2kx-kx^3.$$

$y=4R^2kx-kx^3$ ფუნქციის გრაფიკი მოცემულია 30-ე ნახაზზე, ხოლო მისი წარმოებული ტოლია $4R^2k-3kx^2$ და ის ნული ხდება, როცა $x_{1,2}=\pm\frac{2R\sqrt{3}}{3}$. რადგანაც კოჭის სიგანე დადებითი უნდა იყოს, ჩვენ ვღებულობთ, რომ კოჭი იქნება ყველაზე მტკიცე, თუ მისი სიგანეა $a=\frac{2R\sqrt{3}}{3}$; კოჭის სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით:



ნახ. 30.

$$h=\sqrt{4R^2-a^2}=\frac{2R\sqrt{6}}{3}.$$

ფარდობა $\frac{h}{a}$ უდრის $\sqrt{2}\approx\frac{7}{5}$. სამშენებლო სამუშაოების წარმოების წესებიც კოჭის სიმაღლის სიგანესთან სწორედ ასეთ ფარდობას მოითხოვს.

ნიუტონ-ლაიბნიცის ფორმულა

გაწარმოებასა და ინტეგრებას შორის ღრმა კავშირი არსებობს: (3) ფორმულა გვიჩვენებს, რომ გზა მოიძებნება მყისი სიჩქარის ინტეგრებით, ხოლო (9) ფორმულა ამტკიცებს, რომ სიჩქარე მოიძებნება გავლილი გზის გაწარმოებით. ეს გვაფიქრებინებს, რომ გაწარმოებისა და ინტეგრების ოპერაციები დაკავშირებულია ერთმანეთთან დაახლოებით ისევე, როგორც შეკრებისა და გამოკლების, გამრავლებისა და გაყოფის, ახარისხებისა და ამოფესვის ოპერაციები, ე. ი. ეს ოპერაციები ურთიერთშებრუნებულნი არიან. ეს ასეა სინამდვილეშიც. მაგალითად, თუ ვისარგებლებთ იმით, რომ $v(t)=s'(t)$, (3) ფორმულა შეიძლება შემდეგი სახით ჩაიწეროს:

$$s=\int_0^T s'(t)\,dt.$$

აქ s არის გზა, რომელიც სხეულმა გაიარა დაწყებული $t=0$ მომენტიდან. მაგრამ შეიძლება ისეც მოხდეს, რომ გავლილი გზა ავთვალოთ არა $t=0$ მომენტიდან, არამედ რაიმე უფრო ადრეული მომენტიდან (მაგალითად, არა მოგზაურობის დაწყე-

ბის მომენტიდან, არამედ მანქანის ქარხნიდან გამოშვების მომენტიდან). მაშინ მოგვიხდება s გზა ჩავწეროთ $t = T$ მომენტამდე და $t = 0$ მომენტამდე გავლილი გზების $s(T) - s(0)$ სხვაობის სახით. (3) ტოლობა მაშინ მიიღებს ასეთ სახეს:

$$s(T)-s(0)=\int_0^T s'(t)dt.$$

დროის ნებისმიერი ორი $t = a$ და $t = b$ მომენტისათვის ასევე სამართლიანია ტოლობა:

$$s(b)-s(a)=\int_a^b s'(t)dt.$$

საზოგადოდ, ნებისმიერი $F(x)$ ფუნქციისათვის გვაქვს ტოლობა:

$$F(b)-F(a)=\int_a^b F'(x)\,dx.$$

ამ ფორმულას ეწოდება ნიუტონ-ლაიბნიცის ფორმულა გამოჩენილი მათემატიკოსების ნიუტონისა და ლაიბნიცის პატივსაცემად. მათ თითქმის ერთდროულად აღმოაჩინეს იგი XVII საუკუნის ბოლოს (კეპლერის წიგნის „ღვინის კასრების ახალი სტერეომეტრიის“ გამოცემიდან დაახლოებით 70 წლის შემდეგ). უნდა ითქვას, რომ გეომეტრიულად ეს ფორმულა გამოთქვა ნიუტონის მასწავლებელმა ი. ბაროუმ 1670 წელს. მან მიუთითა, რომ ფართობთა გამოთვლა არის მხების გავლების შებრუნებული მოქმედება.

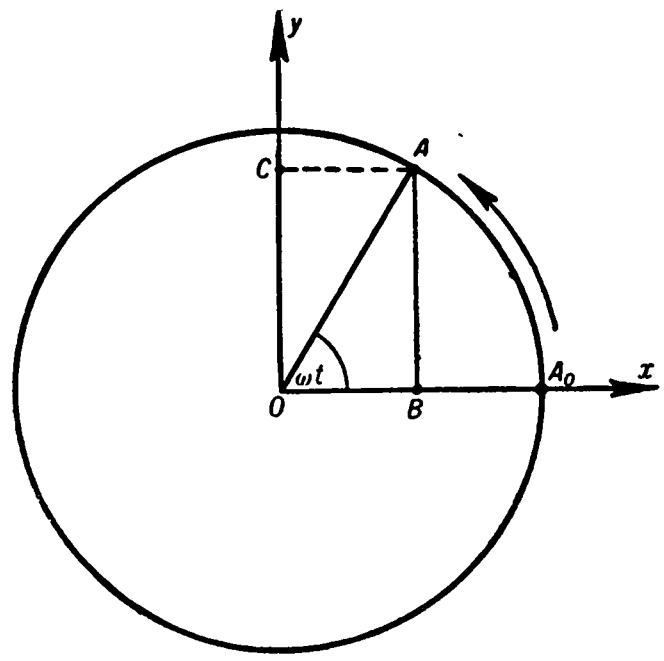
ნიუტონ-ლაიბნიცის ფორმულის მნიშვნელობა შემდეგში მდგომარეობს: თუ ვიცით რაიმე $F(x)$ ფუნქცია, რომლის წარმოებულია $f(x)$, ე. ი. თუ $F'(x) = f(x)$, მაშინ ადვილია $\int_a^b f(x)dx$ ინტეგრალის გამოთვლა; იგი b და a წერტილებში $F(x)$ ფუნქციის მნიშვნელობების სხვაობის ტოლია. ყოველ $F(x)$ ფუნქციას, რომლისთვისაც $F'(x) = f(x)$, ეწოდება $f(x)$ ფუნქციის პირვანდელი ფუნქცია. მაშასადამე, თუ $F(x)$ არის $f(x)$ ფუნქციის პირვანდელი ფუნქცია, მაშინ $f(x)$ არის $F(x)$ ფუნქციის წარმოებული.

ამრიგად, ინტეგრალების გამოთვლა ძირითადად დაიყვანება პირვანდელი ფუნქციების მოძებნამდე. პირვანდელი ფუნქციების მოძებნა კი გაწარმოების შებრუნებული ამოცანაა. ამიტომაც, რაც მეტი ფუნქციის გაწარმოება შეგვეძლება, მით მეტი პირვანდელი ფუნქციები გვეცოდინება და მით მეტი ინტეგრალების გამოთვლას შევძლებთ. ჯერჯერობით შეგვიძლია მხოლოდ მრავალწევრების გაწარმოება. ეს უკვე საკმარისია, რათა ნებისმიერი მრავალწევრის ინტეგრალი ვიპოვოთ (ისე რომ არ მივმართოთ ზემოთ გამოყენებულ გეომეტრიულ ხერხებს).

მაგრამ ბევრ ამოცანაში გვხვდება მრავალწევრისაგან განსხვავებული ფუნქციები. ახლა შევისწავლოთ მაჩვენებლიანი და ტრიგონომეტრიული ფუნქციების გაწარმოება.

ᲡᲘᲜᲣᲡᲘᲡᲐ ᲓᲐ ᲙᲝᲡᲘᲜᲣᲡᲘᲡ ᲬᲐᲠᲛᲝᲔᲒᲣᲚᲔᲑᲘ

ტრიგონომეტრიული ფუნქციების წარმოებულების პოვნა ყველაზე მარტივად შეიძლება, თუ გამოვალთ ფიზიკური მოსაზრებებიდან. განვიხილოთ A წერტილი, რომელიც მოძრაობს R რადიუსიან წრეწირზე ωR სიჩქარით. დავუშვათ, რომ $t = 0$ მომენტში A წერტილს ჰქონდა A_0 მდებარეობა (ნახ. 31). t წამში წერტილი გაივლის ωRt გზას და მიიღებს A მდებარეობას. A_0A რკალის სიგრძეა ωRt, ე. ი. შეიცავს ωt რადიანს; მაშასადამე, AOA_0 კუთხეც ωt რადიანის ტოლია. ამიტომ



ნახ. 31.

A წერტილის კოორდინატები იქნება $x = R\cos\omega t$ და $y = R\sin\omega t$ (ეს მარტივად გამომდინარეობს ABO სამკუთხედის განხილვიდან).

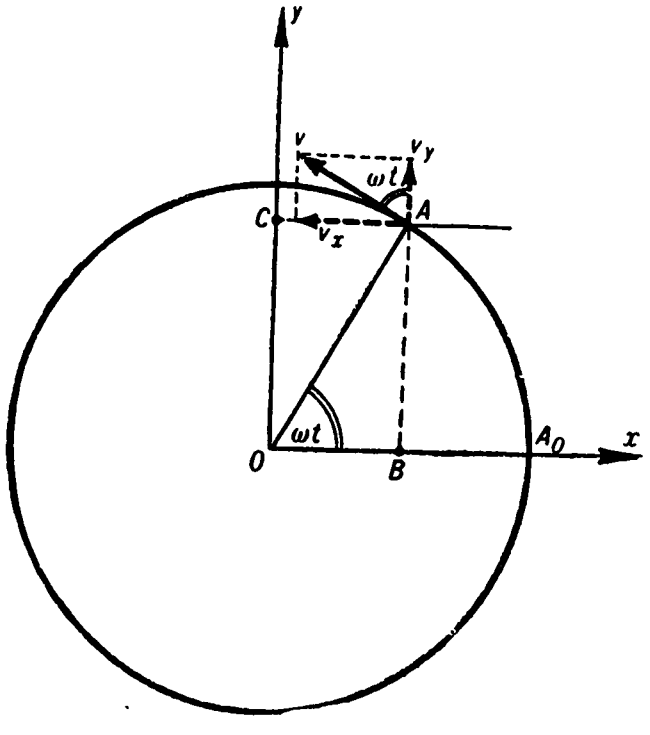
სხვანაირად რომ ვთქვათ, A წერტილის B გეგმილი Ox ღერძზე მოძრაობს $x = R\cos\omega t$ კანონით, ხოლო Oy ღერძზე C გეგმილი — $y = R\sin\omega t$ კანონით. ვიპოვოთ ამ რხევების სიჩქარეები. ამისათვის A წერტილის სიჩქარე დავშალოთ ორ, ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ, მდგენელებად. A წერტილის სიჩქარის ვექტორი (რომლის სიგრძეა ωR) მიმართულია წრეწირისადმი A წერტილში გავლებული მხების გასწვრივ და ამიტომ Ox ღერძთან ქმნის $\omega t + \frac{\pi}{2}$ კუთხეს, ხოლო Oy ღერძთან — ωt კუთხეს (ნახ. 32). მაშასადამე, სიჩქარის გეგმილი Ox ღერძზე (ე. ი. B წერტილის მოძრაობის სიჩქარე) იქნება:

$$v_x = \omega R\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = -\omega R\sin\omega t,$$

ხოლო მისი გეგმილი Oy ღერძზე (ე. ი. C წერტილის მოძრაობის სიჩქარე) ტოლია:

$$v_y = \omega R\cos\omega t.$$

ამით ჩვენ დავამტკიცეთ, რომ $x = R\cos\omega t$ კანონით წარმოებული რხევის სიჩქარე უდრის $v_x = -\omega R\sin\omega t$. რადგანაც სიჩქარე არის გზის წარმოებული დროით, ეს ნიშნავს, რომ



ნახ. 32.

$$(R\cos\omega t)' = -\omega R\sin\omega t,$$

ანდა, როცა $R = 1$,

$$(\cos\omega t)' = -\omega\sin\omega t. \qquad (13)$$

ზუსტად ასევე (C წერტილის მოძრაობის განხილვიდან) მტკიცდება, რომ

$$(\sin\omega t)' = \omega\cos\omega t. \qquad (14)$$

კერძოდ, როცა $\omega = 1$, ვღებულობთ, რომ

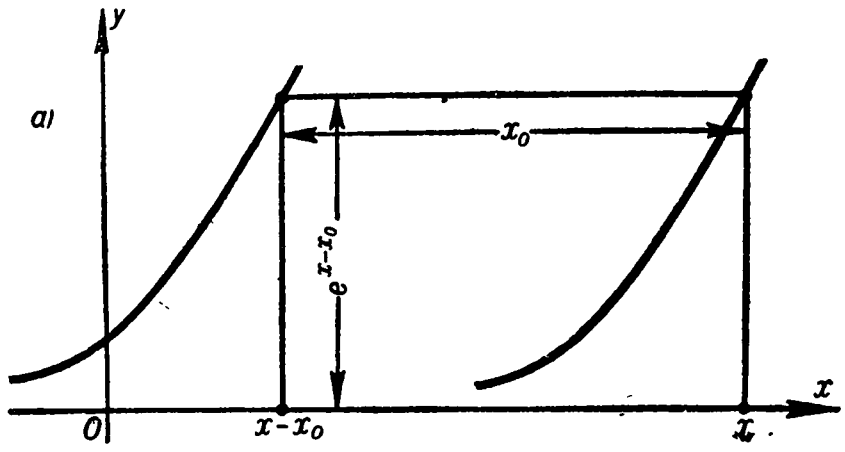
$$(\cos t)' = -\sin t;\ (\sin t)' = \cos t.$$

მაჩვენებლიანი ფუნქციის წარმოებული

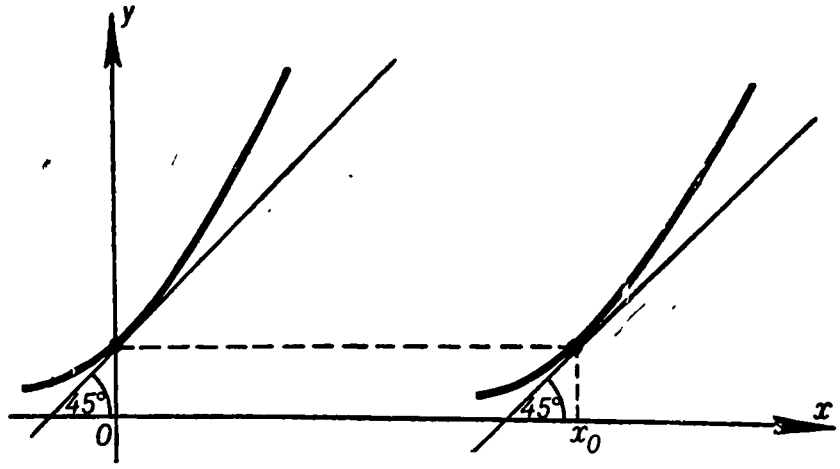
ახლა გავაწარმოოთ მაჩვენებლიანი ფუნქცია $y = e^x$. ჩვენ უკვე ვიცით (იხ. სტატია „ფუნქციები ბუნებასა და ტექნიკაში"), რომ $y = e^x$ მრუდისადმი ორდინატთა ღერძთან გადაკვეთის წერტილში გავლებული მხები ღერძებისადმი დახრილია 45°-იანი კუთხით. თუ გავიხსენებთ წარმოებულის გეომეტრიულ მნიშვნელობას (იხ. გვ. 571), შეგვიძლია ვთქვათ, რომ $y = e^x$ ფუნქციის წარმოებული $x = 0$ წერტილში უდრის $\operatorname{tg}45°$, ე. ი. 1. ამრიგად, $(e^x)'|_{\text{როცა } x=0} = 1 \cdot y = e^x$ ფუნქციის წარმოებული რომ გამოვთვალოთ რომელიმე x_0 წერტილში, ამისათვის გადავაადგილოთ ფუნქციის გრაფიკი x_0 მონაკვეთით. გადაადგილების შემდეგ x წერტილში ორდინატა იქნება არა e^x, არამედ e^{x-x_0}, ე. ი. გადაადგილებული მრუდი იქნება $y = e^{x-x_0}$ ფუნქციის გრაფიკი (ნახ. 33). გრაფიკის გადაადგილებისას $y = e^x$ მრუდისადმი $x = 0$ წერტილში გავლებული მხები გადავა გადაადგილებული მრუდისადმი (ე. ი. $y = e^{x-x_0}$ მრუდისადმი) $x = x_0$ წერტილში გავლებულ მხებში (ნახ. 34). ამრიგად, $y = e^{x-x_0}$ მრუდის მხები x_0 წერტილში დახრილია x ღერძის მიმართ 45°-იანი კუთხით, ე. ი.

$$(e^{x-x_0})'|_{\text{როცა } x = x_0} = 1.$$

ახლა ადვილია ვიპოვოთ $y = e^x$ ფუნქციის წარმოებული $x = x_0$ წერტილში. მართლაც, რადგან მუდმივი e^{x_0} თანამამრავლი შეგვიძლია წარმოებულის ნიშნის გარეთ გამოვიტანოთ, ამიტომ მივიღებთ:



ნახ. 33.



ნახ. 34.

$$(e^x)' \mid_{\text{როცა } x=x_0} = (e^{x_0}e^{x-x_0})' \mid_{\text{როცა } x=x_0} = e^{x_0}(e^{x-x_0})' \mid_{\text{როცა } x=x_0} = e^{x_0} \cdot 1 = e^{x_0}.$$

ამით მტკიცდება, რომ e^x ფუნქციის წარმოებული $x = x_0$ წერტილში ტოლია e^{x_0}.

რადგანაც x_0 ნებისმიერი წერტილია, ამიტომ ჩვენ შეგვიძლია უბრალოდ დავწეროთ, რომ

$$(e^x)' = e^x.$$

ცოტა უფრო რთული მსჯელობით მიიღება:

$$(e^{Cx})' = Ce^{Cx}. \qquad (15)$$

რადიოაქტიური დაშლა

ფიზიკის მრავალი კანონი ერთმანეთთან აკავშირებს რაიმე სიდიდესა და მისი ცვლილების სიჩქარეს. მაგალითისათვის განვიხილოთ რადიოაქტიური დაშლა. დაშლის სიჩქარე მით უფრო დიდია, რაც მეტი რადიოაქტიური ნივთიერებაა აღებული. ეს გასაგებიცაა: თუ აღებული რადიოაქტიური ნივთიერების ყოველ გრამში 1 წამში იშლება 0,0001 გ, მაშინ ამ ნივთიერების ორ გრამში 1 წამში დაიშლება 0,0002 გ, შვიდ გრამში კი — 0,0007 გ და ა. შ. სხვანაირად რომ ვთქვათ, დაშლის სიჩქარე (ჩვენ ის ზემოთ აღნიშნული გვქონდა u ასოთი, იხ. (10) ფორმულა) პირდაპირ პროპორციულია აღებული რადიოაქტიური ნივთიერების მასისა:

$$u = -km. \qquad (16)$$

აქ k პროპორციულობის დადებითი თანამამრავლია. ნიშანი მინუსი აიღება იმიტომ, რომ ნივთიერება იშლება და მისი რაოდენობა მცირდება, ე. ი. დაშლის სიჩქარე უარყოფითია (რადიოაქტიური ნივთიერების მასისა და დაშლის სიჩქარის ურთიერთდამოკიდებულების ეს კანონი სამართლიანია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ რადიოაქტიური ნივთიერების რაოდენობა არ არის ძალზე დიდი და არ ხდება ჯაჭვური რეაქცია).

ერთი შეხედვით გვეჩვენება, თითქოს (16) ფორმულიდან არაფრის განსაზღვრა არ შეიძლება, რადგან ეს არის u და m უცნობებიანი ერთი განტოლება (პროპორციულობის კოეფიციენტი k ცალკეული რადიოაქტიური ნივთიერებისათვის განისაზღვრება ცდით), ხოლო ორი უცნობი რომ განვსაზღვროთ, საჭიროა გვქონდეს ორი განტოლება. მაგრამ მეორე განტოლება ადვილად შეიძლება ვიპოვოთ: u არის m მასის ცვლილების სიჩქარე, ამიტომ $u = m'$. რადიოაქტიური დაშლის კანონი (ე. ი. (16) ფორმულა) შეგვიძლია გადავწეროთ ასე:

$$m' = -km. \qquad (17)$$

მივიღეთ ერთ m უცნობიანი ერთი განტოლება. მაგრამ ეს არ არის ისეთი განტოლება, როგორიც სკოლაში ისწავლება: ის ერთმანეთთან აკავშირებს m სიდიდესა და მისი ცვლილების სიჩქარეს (წარმოებულს). განტოლებას, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს სიდიდესა და მის წარმოებულს, დიფერენციალური განტოლება ეწოდება.

ადვილი შესამოწმებელია, რომ $m = Ce^{-kt}$ ფუნქცია, სადაც C ნებისმიერი მუდმივია, არის (17) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი (ე. ი. თუ ამ განტოლებაში m-ის ნაცვლად ჩავსვამთ ამ ფუნქციას, მაშინ ის იგივეობად იქცევა). მართლაც:

$$m' = (Ce^{-kt})' = -Cke^{-kt} = -km.$$

შეგვიძლია ვაჩვენოთ, რომ გარდა $m(t) = Ce^{-kt}$ ფუნქციისა არ არსებობს სხვა ფუნქცია, რომელიც დააკმაყოფილებს (17) განტოლებას, ე. ი. (17) განტოლების ყოველ ამონახსნს აქვს $m(t) = Ce^{-kt}$ სახე. ეს კი არის დროის განმავლობაში რადიოაქტიური ნივთიერების მასის შემცირების კანონი.

გაურკვეველი დაგვრჩა ერთი საკითხი: რას უდრის C მუდმივი? ძნელი არ არის ვუპასუხოთ ამ კითხვას. $m(t) = Ce^{-kt}$ ფორმულიდან ვპოულობთ (თუ ვიგულისხმებთ, $t = 0$), რომ რადიოაქტიური ნივთიერების მასა დროის საწყის $t = 0$ მომენტში იყო $Ce^0 = C$. ამრიგად, C არის რადიოაქტიური ნივთიერების მასა დროის საწყის მომენტში. მას აღნიშნავენ m_0 სიმბოლოთი. ამიტომ თუ C-ს m_0-ით შევცვლით, მივიღებთ რადიოაქტიური დაშლის კანონის საბოლოო სახეს:

$$m(t) = m_0 e^{-kt}. \qquad (18)$$

ახლა ვიპოვოთ, რამდენი წლის შემდეგ შემცირდება ორჯერ რადიოაქტიური ნივთიერების რაოდენობა. ამისათვის T_0 რიცხვი უნდა განისაზღვროს $e^{-kT_0} = \frac{1}{2}$ განტოლებიდან. გალოგარითმებით (e ფუძით) მივიღებთ, რომ $T_0 = \frac{1}{k} \ln 2 \approx \frac{0{,}69}{k}$ ($\ln x$ აღნიშნავს x რიცხვის ლოგარითმს e ფუძით). დროის ამ T_0 შუალედს ეწოდება ნახევარდაშლის პერიოდი. შევნიშნოთ, რომ დროის ეს შუალედი დამოკიდებული არაა იმაზე, რა რაოდენობის რადიოაქტიური ნივთიერება იყო აღებული. ის დამოკიდებულია მხოლოდ k-ზე. მაგალითად, რადიუმის ნახევარდაშლის პერიოდი არის 1590 წელი, ურან-238 ნახევარდაშლის პერიოდი უდრის 4,5 მლრდ წელს, ხოლო თორიუმი C-სი სულ 0,0000003 წამს.

ნახევარდაშლის პერიოდის საშუალებით რადიოაქტიური დაშლის კანონი შეიძლება ასე ჩავწეროთ:

$$m(t) = m_0 (e^{-kT_0})^{\frac{t}{T_0}} = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_0}}.$$

სწორედ ამ სახით იყენებენ მას ფიზიკაში.

მაჩვენებლიანი ფუნქცია ბუნებასა და ტექნიკაში

ბუნებაში არსებობს მრავალი პროცესი, რომლებიც ისეთივე დიფერენციალური განტოლებებით აიწერება, როგორიცაა რადიოაქტიური დაშლის (17) განტოლება. ყველა ასეთი პროცესისათვის საერთო არის ის, რომ განხილული y სიდიდის ცვლილების სიჩქარე პირდაპირ პროპორციულია დროის მოცემულ მომენტში ამ y სიდიდის მნიშვნელობისა, ე. ი.

$$y' = cy. \qquad (19)$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი c არის დადებითი ან უარყოფითი იმისდა მიხედვით, იზრდება თუ მცირდება y სიდიდის მნიშვნელობა დროის განმავლობაში. (19) დიფერენციალურ განტოლებას ისეთივე სახე აქვს, როგორიც რადიოაქტიური დაშლის განტოლებას (მხოლოდ პროპორციულობის კოეფიციენტი აღინიშნება c-თი და არა k-თი). რადგან ერთნაირი განტოლებები ერთნაირად ამოიხსნება, ამიტომ ყველა ასეთი პროცესისათვის დროის t მომენტში y_0 სიდიდის მნიშვნელობები

$$y(t) = y_0 e^{ct}$$

ფორმულით გამოისახება, სადაც y_0 არის y-ის მნიშვნელობა, როცა $t = 0$.

ახლა გასაგებია, რატომ გვხვდება ასე ხშირად ბუნებასა და ტექნიკაში ისეთი სიდიდეები, რომლებიც მაჩვენებლიანი ფუნქციის კანონით იცვლება (თვითინდუქციის დენი, რომელიც გადის კოჭში მუდმივი ძაბვის გამორთვის შემდეგ; წნევის ცვლილება სიმაღლის მიხედვით და ა. შ.; იხილეთ სტატია „ფუნქციები ბუნებასა და ტექნიკაში“). ყველა ეს სიდიდე აკმაყოფილებს (19) სახის დიფერენციალურ განტოლებას.

ლევერიესა და ადამსის მიერ ახალი პლანეტის აღმოჩენა

ნიუტონის მეორე კანონის მიხედვით ძალა უდრის მასისა და აჩქარების ნამრავლს:

$$F = ma.$$

მაგრამ წრფივად მოძრავი სხეულის აჩქარება წარმოადგენს „სიჩქარის ცვლილების სიჩქარეს“, ე. ი. არის სიჩქარის წარმოებული $a = v'$. სიჩქარე, თავის მხრივ, არის გავლილი მანძილის წარმოებული: $v = s'$. ამრიგად, რომ ვიპოვოთ მოძრავი სხეულის აჩქარება, ამისათვის $s(t)$ ფუნქცია უნდა გავაწარმოოთ ორჯერ. ამიტომ აჩქარებას უწოდებენ გზის მეორე წარმოებულს დროით და ასე აღნიშნავენ:

$$a(t) = s''(t).$$

ამ აღნიშვნით ნიუტონის მეორე კანონი შეგვიძლია შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$F = ms''.$$

F ძალა დამოკიდებულია მრავალ გარემოებაზე: დროზე, მოძრაობის სიჩქარეზე, იმაზე, თუ სივრცის რომელ წერტილშია მოძრავი სხეული. მაგალითად, პარაშუტისტზე, რომელიც გაშლილი პარაშუტით ეშვება, მოქმედებს სიმძიმის ძალა mg და ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც შეგვიძლია მივიჩნიოთ ვარდნის სიჩქარის პროპორციულად, ე. ი. $-kv$ გამოსახულების ტოლად. ამრიგად, პარაშუტისტზე მოქმედი ძალა ტოლი იქნება:

$$F = mg - kv = mg - ks'.$$

მაშასადამე, პარაშუტისტის მოძრაობა აიწერება

$$ms'' = mg - ks'$$

დიფერენციალური განტოლებით.

სულ სხვა სახე აქვს იმ რაკეტის მოძრაობის განტოლებას, რომელიც საწვავის სრული წვის შემდეგ ინერციით ვერტიკალურად ზემოთ მოძრაობს. რაკეტის დედამიწისადმი მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მისი დედამიწის ცენტრიდან დაშორების კვადრატისა, ე. ი.

$$F = -\frac{k}{s^2}$$

(ჩვენ ვუშვებთ, რომ რაკეტა გამოვიდა დედამიწის ატმოსფეროდან და ამიტომ მასზე არ მოქმედებს ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა).

ამრიგად, რაკეტის მოძრაობა აიწერება

$$ms'' = -\frac{k}{s^2}$$

დიფერენციალური განტოლებით, სადაც m რაკეტის მასაა (ამ განტოლებითვე აიწერება აგრეთვე მეტეორის დედამიწაზე ვერტიკალური ვარდნა მის ატმოსფეროში შემოჭრამდე).

საზოგადოდ, ნიუტონის მეორე კანონი საშუალებას იძლევა დიფერენციალური განტოლებებით აიწეროს ერთმანეთისაგან ძალზე განსხვავებული მოძრაობები. შეიძლება დაიწეროს დიფერენციალური განტოლება ორთქლის მანქანის დგუშის მოძრაობისათვის, ზღვაში გემის მოძრაობის, მზის გარშემო პლანეტების მოძრაობისა და ხელოვნური თანამგზავრების დედამიწის გარშემო მოძრაობისათვის.

პლანეტებისა და მათი თანამგზავრების მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნით (ეს განტოლებები კი ძალზე რთულია, რადგან პლანეტები მიიზიდებიან არა მარტო მზისკენ, არამედ ისინი ერთმანეთსაც იზიდავენ) მეცნიერები იწინასწარმეტყველებენ მათ მომავალ მოძრაობას, იგებენ მზისა და მთვარის დაბნელების მომენტებს.

როდესაც ერთხელ აღმოჩნდა, რომ პლანეტა ურანმა გადაუხვია წინასწარ გაანგარიშებული ორბიტიდან, მეცნიერებს ეჭვი არ შეპარვიათ მათემატიკის „სისწორეში“. მე-19 ს. ფრანგმა ასტრონომმა ლევერიემ და ინგლისელმა ასტრონომმა ადამსმა ერთდროულად და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გაბედულად ივარაუდეს, რომ ურანის გადახრა გამოწვეულია ახალი, მანამდე უცნობი პლანეტის მიზიდვით. დიფერენციალური განტოლებების საშუალებით მათ გამოითვალეს ამ ახალი პლანეტის მდებარეობა და მიუთითეს, სად უნდა ეძებნათ ის ცაზე. შემდეგში ეს ახალი პლანეტა (რომელსაც ნეპტუნი უწოდეს) მართლაც აღმოაჩინეს ზუსტად მითითებულ ადგილზე.

ᲰᲐᲠᲛᲝᲜᲘᲣᲚᲘ ᲠᲮᲔᲕᲔᲑᲘᲡ ᲒᲐᲜᲢᲝᲚᲔᲒᲐ

ხშირად სხეულები წონასწორობის მდებარეობის მახლობლობაში ასრულებენ რხევით მოძრაობას, რაც გამოწვეულია იმ ძალის გავლენით, რომლის სიდიდე პროპორციულია სხეულის წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრისა, და რომელიც ცდილობს ეს სხეული წონასწორობის მდგომარეობას დაუბრუნოს. ეს შეიმჩნევა, მაგალითად, ზამ-

ბარაზე ჩამოკიდებულ ტვირთზე. სხვანაირად რომ ვთქვათ, სხეულზე მოქმედი ძალა გამოისახება

$$F = -ks$$

ფორმულით, სადაც s არის სხეულის წონასწორობის მდგომარეობიდან გადახრა, ხოლო k — ზამბარის სიხისტე. ამიტომ (ნიუტონის მეორე კანონის ძალით) სხეულის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას ექნება ასეთი სახე:

$$ms'' = -ks.$$

თუ $\frac{k}{m}$ დადებით რიცხვს აღვნიშნავთ ω^2-ით, შეგვიძლია ეს განტოლება ასე ჩავწეროთ:

$$s'' = -\omega^2 s.$$

ამ განტოლებას ეწოდება ჰ ა რ მ ო ნ ი უ ლ ი რ ხ ე ვ ი ს გ ა ნ ტ ო ლ ე ბ ა, რადგან ფუნქცია

$$s = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t \qquad (20)$$

ნებისმიერი C_1 და C_2 მუდმივებისათვის წარმოადგენს ამ განტოლების ამონახსნს.

მართლაც, (13) და (14) ფორმულების თანახმად (20) კანონის მიხედვით მოძრავი სხეულის სიჩქარე უდრის:

$$v = s' = -C_1\omega \sin \omega t + C_2 \omega \cos \omega t.$$

კიდევ ერთხელ გაწარმოებით ვიპოვით აჩქარებას:

$$s'' = -C_1\omega^2 \cos \omega t - C_2\omega^2 \sin \omega t =$$
$$= -\omega^2 (C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t).$$

მაგრამ ფრჩხილებში მოთავსებული გამოსახულება უდრის s-ს. მაშასადამე, აღებული s ფუნქცია მართლაც აკმაყოფილებს $s'' = -\omega^2 s$ განტოლებას. შეიძლება დამტკიცდეს, რომ ამ განტოლების ნებისმიერ ამონახსნს აქვს ასეთი სახე.

ამრიგად, სხეულის წონასწორობის მდგომარეობიდან გადახრის პროპორციული ძალა, რომელიც ცდილობს სხეული დაუბრუნოს წონასწორობის მდგომარეობას, იწვევს ჰარმონიულ რხევას ω სიხშირით, სადაც $\omega^2 = \frac{k}{m}$ (m არის სხეულის მასა, k — პროპორციულობის კოეფიციენტი).

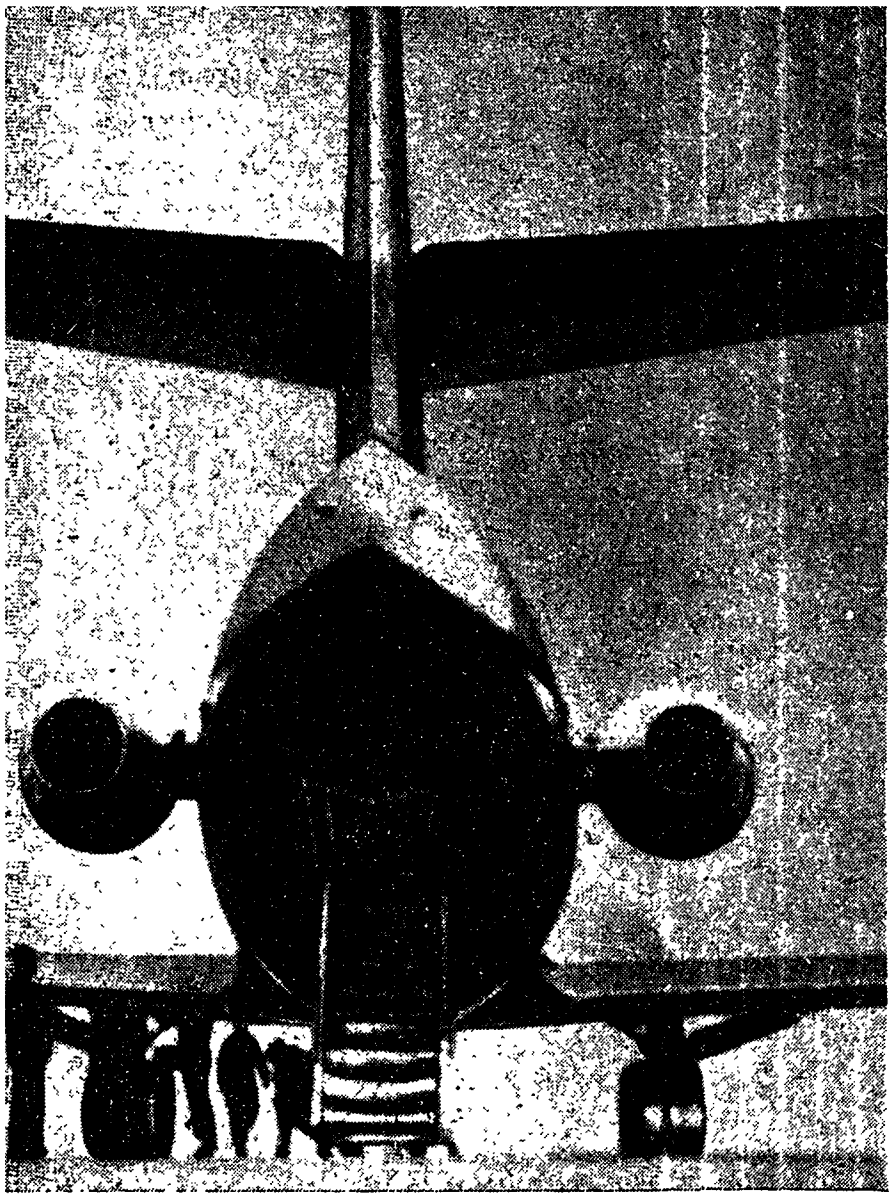
ანალოგიური კანონი შეგვიძლია დავწეროთ აგრეთვე ელექტრული წრედისთვისაც, მხოლოდ სხეულის მასა უნდა შევცვალოთ კოჭის თვითინდუქციით, სხეულის მიერ გავლილი მანძილი — კონდენსატორზე ძაბვით, ხოლო სხეულის სიჩქარე — დენის ძალით და ა. შ. რადგანაც კანონები, რომლებიც ამ მოვლენებს წარმართავენ, სავსებით ანალოგიურია, ამიტომ ორივე შემთხვევის დროს წარმოქმნილი რხევებიც ერთი და იმავე ფორმულებით ჩაიწერება. მილევადი რხევები წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, თუ გარდა ძალებისა, რომლებიც ცდილობენ სხეული წონასწორობის მდგომარეობას დაუბრუნონ, მოქმედებს აგრეთვე გარემოს წინააღმდეგობაც, რომელიც პროპორციულია სხეულის მოძრაობის სიჩქარისა (ანდა ელექტრული წრედის წინააღმდეგობისა).

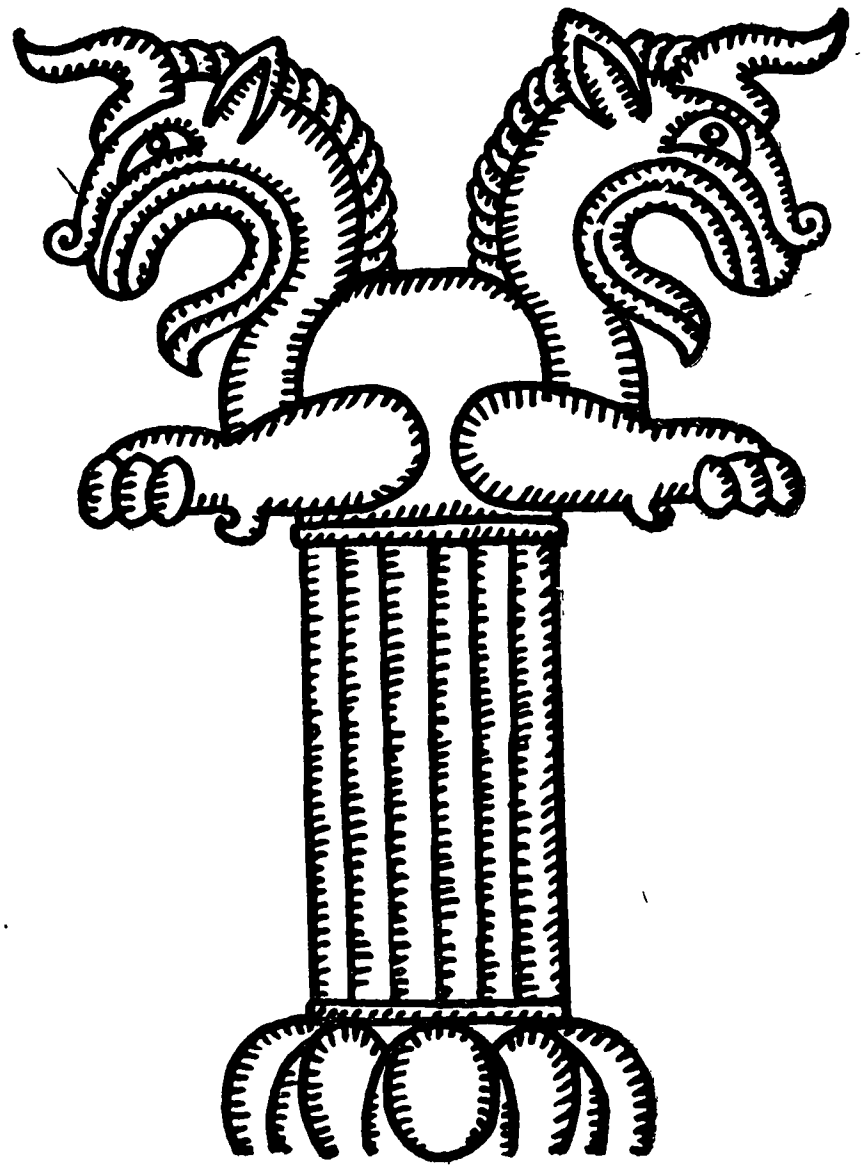
მოდელირება

ის ფაქტი, რომ სხვადასხვა მოვლენა ერთნაირი დიფერენციალური განტოლებით აიწერება, ხშირად გამოყენებულია პრაქტიკაში. ეს საშუალებას იძლევა შესწავლილ იქნას ერთი მოვლენა მეორეზე დაკვირვებით, თუკი ორივე მოვლენა ერთნაირი განტოლებით აიწერება. ვთქვათ, მაგალითად, გვინდა ავხსნათ, როგორ იმოძრავებს ნავთობი მიწის ქვეშ ჭაბურღილების რაიონში.

მიწის ქვეშ ნავთობის მოძრაობაზე დაკვირვება ძალიან ძნელი იქნებოდა. მაგრამ სითხეების მოძრაობა აიწერება ისეთივე დიფერენციალური განტოლებებით, როგორითაც აიწერება წრედში ელექტრობის მოძრაობა. ამიტომ აწყობენ ისეთ წრედს, რომელშიც ელექტრობა ისევე მოძრაობს, როგორც ნავთობი. აწყობილი წრედის დენის ძალის გაზომვით შეიძლება დადგინდეს, სად არის ყველაზე ხელსაყრელი ჭაბურღილის კოშკურის დადგმა, სად უნდა ჩავტუმბოთ წყალი, რათა გავაძლიეროთ ნავთობის გამოსვლა და ა. შ.

ერთი მოვლენის ამგვარ შესწავლას სხვა მოვლენის საშუალებით, რომელიც იმავე განტოლებით აიწერება, მოვლენათა მოდელირება ეწოდება. მას ხშირად მიმართავენ ტექნიკის სხვადასხვა საკითხების გასარკვევად.





სიმრავლე და ოპერაციები

სიმრავლის ცნება

სასრული და უსასრულო სიმრავლეები

არითმეტიკას ჩვეულებრივად განსაზღვრავენ როგორც მეცნიერებას რიცხვების შესახებ. რიცხვებს შორის ყველაზე მარტივი რიცხვებია ე. წ. ნატურალური რიცხვები: 1, 2, 3, 4, 5, ... ყოველი ნატურალური რიცხვი იძლევა პასუხს კითხვაზე „რამდენი?“: რამდენი მოსწავლეა კლასში? რამდენი წიგნია მაგიდაზე? რამდენი ბატი დაცურავს გუბურაში? და ა. შ.

ცხადია, როდესაც ვკითხულობთ, „რამდენი საგანია?“, ჩვენ უნდა გვქონდეს ეს საგნები, მათი ე რ თ ო ბ ლ ი ო ბ ა. ამასთან დაკავშირებით შეიძლება ვილაპარაკოთ იმ მოსწავლეთა ერთობლიობაზე, რომლებიც მოცემულ კლასს შეადგენენ; იმ წიგნების ერთობლიობაზე, რომლებიც მაგიდაზე აწყვია; იმ ბატების ერთობლიობის შესახებ, რომ-

ლებიც გუბურაში დაცურავენ, და ა. შ. ამგვარად, ყოველი ნატურალური რიცხვი არის რიცხვი იმ საგნებისა (ეს საგნები შეიძლება იყოს როგორც სულიერი, ისე უსულო), რომლებიც რაღაც ერთობლიობას, ან, რაც იგივეა, რაღაც სიმრავლეს ქმნიან. ხანდახან საგნები ადვილი დასათვლელია, მაგალითად, თუ საქმე ეხება მაგიდაზე მოთავსებული წიგნების ან კლასში მსხდომ მოსწავლეთა რაოდენობას.

მაგრამ არის შემთხვევები, როდესაც ან ძალიან რთულია, ან შეუძლებელიც ვუპასუხოთ კითხვაზე, მაგალითად, რამდენი ვეშაპი დაცურავს მოცემულ მომენტში ოკეანეში, ან, რამდენი ზღარბი ცხოვრობს მახლობელ ტყეში. გაცილებით ძნელია ზუსტად ვთქვათ, რამდენი მოლეკულაა ერთ ჭიქა წყალში და რამდენი ვარსკვლავია ჩვენს გალაქტიკაში. ყველა განხილულ შემთხვევაში ჩვენ დარწმუნებული ვართ, რომ ის რიცხვი, რომელიც საგანთა რაოდენობას გამოსახავს, სასრულია, თუმცა შეიძლება ძალიან დიდიც იყოს და ზუსტი გამოანგარიშებისათვის მიუწვდომელიც ჩვენი მეცნიერული ცოდნის თანამედროვე მდგომარეობის გამო.

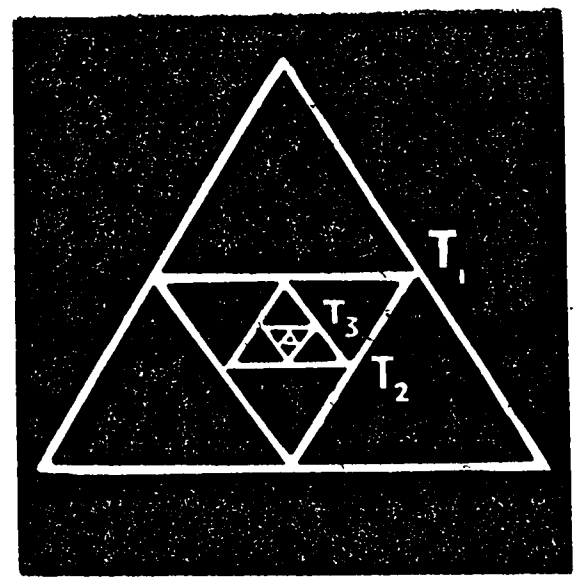
მათემატიკაში განიხილება არა მარტო სასრული, არამედ უსასრულო სიმრავლეებიც. უსასრულო სიმრავლის მარტივი მაგალითია ნატურალურ რიცხვთა ს ი მ რ ა ვ ლ ე: 1, 2, 3, 4, 5, ...

ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ ყოველი ნატურალური რიცხვი არის რიცხვი იმ საგნებისა, რომლებიც ამა თუ იმ სიმრავლეს ქმნიან. მაგრამ ყ ვ ე ლ ა ნატურალური რიცხვის სიმრავლე უკვე არ არის სასრული სიმრავლე. კითხვაზე: „რამდენი ნატურალური რიცხვია“, უნდა ვუპასუხოთ, რომ ისინი უსასრულოდ ბევრია, რადგანაც ნატურალურ რიცხვთა როგორი დიდი რიცხვიც არ უნდა დავასახელოთ, ყოველთვის მოიძებნება ისეთი ნატურალური რიცხვები, რომლებიც არ მოხვდებიან დასახელებულ ნატურალურ რიცხვებს შორის.

მათემატიკაში ხშირად ვხვდებით უსასრულო სიმრავლეების მაგალითებს. ავიღოთ, მაგალითად, ტოლგვერდა T_1 სამკუთხედი, ჩავხაზოთ მასში ტოლგვერდა T_2 სამკუთხედი, რომლის წვეროები, ცხადია, წინა სამკუთხედის გვერდების შუა წერტილები იქნება. ასეთივე წესის გამოყენებით T_2 სამკუთხედში ჩავხაზოთ T_3 სამკუთხედი, T_3 სამკუთხედში — T_4 სამკუთხედი და ა. შ. (ნახ. 1). ასეთ აგებას მივყავართ ტოლგვერდა სამკუთხედების უსასრულო სიმრავლესთან:

$$T_1,\ T_2,\ T_3,\ T_4,\ T_5, \dots,\ T_n, \dots . \qquad (1)$$

მით უფრო უსასრულო იქნება მოცემულ სიბრტყეში მოთავსებული ყველა ტოლგვერდა სამკუთხედის სიმრავლე.



ნახ. 1.

უკანასკნელი წინადადება ერთგვარად ორაზროვანია: სიტყვა „უფრო“ შეიძლება მივიღოთ როგორც შემადგენელი ნაწილი გამოთქმისა „მით უფრო“, რომელიც აქ ნახმარია „მით უმეტეს“-ის მნიშვნელობით. რაკი უკვე გვაქვს უსასრულო სიმრავლე ყველა ტოლგვერდა სამკუთხედისა, რომლებიც გარკვეულ აგებათა ჩატარების შედეგადაა მიღებული, ამიტომ უფრო მეტად არის მოსალოდნელი ყველა ტოლგვერდა სამკუთხედის სიმრავლის უსასრულობა. მაგრამ სიტყვა „უფრო“ შეიძლება გაგებული იყოს, როგორც ზედსართავის შედარებითი ხარისხი, და მაშინ ჩვენი მსჯელობა იმის მაჩვენებელი იქნება, რომ ერთ სიბრტყეში მოთავსებული ტოლგვერდა სამკუთხედების სიმრავლე „უფრო უსასრულოა“, ვიდრე ჩვენს მიერ აგებული სამკუთხედების

$$T_1,\ T_2,\ T_3, \dots,\ T_n, \dots$$

უსასრულო სიმრავლე.

როგორც ხედავთ, ჩვენ შევეხეთ საინტერესო საკითხს, რომელიც თავისი მოჩვენებითი პარადოქსულობით დიდი ხნის მანძილზე აშინებდა მეცნიერებს. ეს საკითხი შემდეგია: არსებობს თუ არა,



ბერნარდ ბოლცანო.

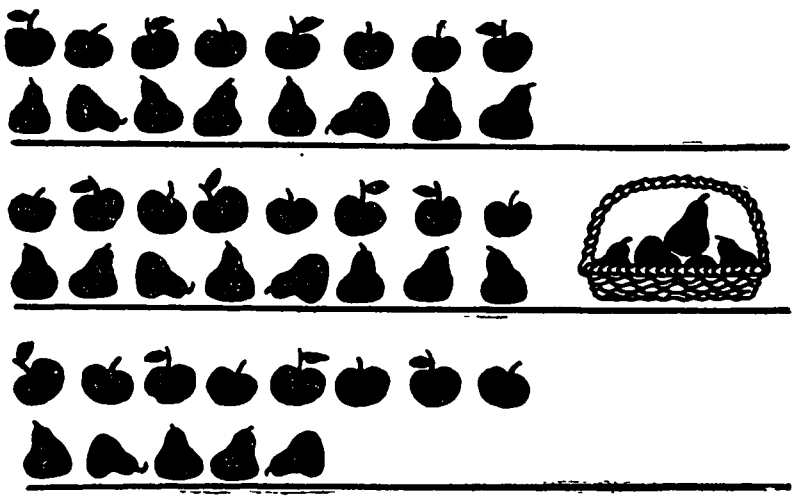
თუ შეიძლება ასე ვთქვათ, უსასრულობის სხვადასხვა „ხარისხი?“ შეიძლება თუ არა უსასრულო სიმრავლეების რაოდენობითი შეფასება, რაც საშუალებას მოგვცემს ვთქვათ, რომ ორი უსასრულო სიმრავლიდან ერთი უფრო „მეტად უსასრულოა“, ვიდრე მეორე? ანდა მტკიცება, რომ მოცემული სიმრავლე უსასრულო არის, საბოლოოა იმ აზრით, რომ აღარ გვაძლევს რაოდენობითი ხასიათის შემდგომი განსხვავების ანუ გრადაციის საშუალებას.

ჩეხი მათემატიკოსი და ფილოსოფოსი ბერნარდ ბოლცანო (მე-19 ს. პირველი ნახევარი) პირველი იყო, ვინც შეეცადა პასუხი გაეცა ამ კითხვაზე, მაგრამ მან ვერ შეძლო მთლიანად დაეძლია ყველა სიძნელე, რომლებიც ამ საკითხთან დაკავშირებით წარმოიშვა. შევეცადოთ გავერკვეთ, რას წარმოადგენს ეს სიძნელეები და როგორ ამოიხსნება დასმული ამოცანა.

ურთიერთცალსახა შესაბამისობა ორ სიმრავლეს შორის

ვთქვათ, გვაქვს ორი სასრული სიმრავლე, მაგალითად, ერთი კალათი ვაშლი და ერთი კალათი მსხალი. თუ გვინდა დავადგინოთ, რომელი უფრო მეტია, ვაშლი თუ მსხალი, ჩვენ შეგვიძლია (ამით ყველაზე მარტივად გადავწყვეტთ საკითხს) დავთვალოთ ხილის რაოდენობა თითოეულ კალათში. დათვლის შედეგად მიღებული ორი რიცხვის შედარება მოგვცემს პასუხს დასმულ კითხვაზე.

მაგრამ თუ გვაქვს ორი უსასრულო სიმრავლე, მაშინ მსგავსი გზით ვერ დავადგენთ, რომელი მათგანია „მეტად უსასრულო“ და რომელი მათგანი „ნაკლებად უსასრულო“. ვერ დავადგენთ იმ უბრალო მიზეზის გამო, რომ უსასრულო სიმრავლის „დათვლა“ შეუძლებელია. ყოველ შემთხვევაში, ჩვენ არ ვიცით, როგორ უნდა მოვაბერხოთ ეს. ამასთან დაკავშირებით შევეცდებით ვუპასუხოთ შემდეგ კითხვაზე: დაუთვლელად, ე. ი. რიცხვის ცნების გამოყენების გარეშე ვაშლები უფრო მეტია, თუ მსხლები? აი, როგორი გზა, როგორი საშუალება გვესახება ამ მიზნის მისაღწევად: დავალაგოთ ყველა ვაშლი, თუნდაც მაგიდაზე, და



ნახ. 2.

ყოველი ვაშლის წინ თითო მსხალი მოვათავსოთ. აქ შესაძლოა სამი შემთხვევა (ნახ. 2).

პირველი შემთხვევა: თითოეული ვაშლის წინ თითო მსხალი აღმოჩნდება და არა მარტო ყველა ვაშლი, არამედ ყველა მსხალიც მაგიდაზე იქნება დალაგებული. ამ შემთხვევაში, ცხადია, იმდენი მსხალი გვექნება, რამდენიც ვაშლია.

მეორე შემთხვევა: თითოეული ვაშლის წინ თითო მსხალი მოთავსდება და კალათაში კიდევ დარჩება რამდენიმე მსხალი. ამ შემთხვევაში, ცხადია, მსხლების რიცხვი მეტია ვაშლების რიცხვზე.

მესამე შემთხვევა: როცა შევეცდებით, თითოეული ვაშლის წინ თითო მსხალი მოვათავსოთ, დავინახავთ, რომ სასურველ მიზანს ვერ მივაღწევთ: მსხლები არ გვეყოფა. ამ შემთხვევაში მსხლები ვაშლებზე ნაკლები იქნება.

ნათქვამის მიხედვით ცხადი უნდა იყოს, რომ ჩვენ მოვახერხეთ ორი სიმრავლის: ერთი კალათი ვაშლისა და ერთი კალათი მსხლის რაოდენობრივი წეფასება დაუთვლელად, ე. ი. ვაშლებისა და მსხლების რაოდენობის ცალ-ცალკე დადგენის გარეშე, მაგრამ დავადგინეთ, რომელი ნაყოფია უფრო მეტი, რომელი ნაკლები, ან როდის იქნება ისინი ერთმანეთის ტოლი. ამას ჩვენ მივაღწიეთ, როგორც იტყვიან, ურთიერთცალსახა შესაბამისობის დამყარებით ორ სიმრავლეს შორის, ან ერთ სიმრავლესა და მეორე სიმრავლის ნაწილს შორის. იმისათვის, რომ მკითხველმა ნათლად წარმოიდგინოს, რა არის ურთიერთცალსახა შესაბამისობა ორ სიმრავლეს შორის, მოვიყვანთ კიდევ რამდენიმე მაგალითს.

იმართება კონცერტი. კონცერტზე მოსახვედრად ბილეთებია საჭირო. ჩვენს წინაშე ორი სიმრავლეა: სიმრავლე იმ ადამიანებისა, რომლებსაც კონცერტზე მოხვედრა სურთ, და ბილეთების სიმრავლე. პირველი სიმრავლე აღვნიშნოთ A-თი, ხოლო მეორე B-თი. შესაძლებელია სხვადასხვა შემთხვევა.

პირველი შემთხვევა (მათემატიკურად ძალიან მარტივი, მაგრამ ნაკლებად შესაძლებელი): კონცერტზე მოხვედრის ყველა მსურველმა შეიძინა ბილეთი და ყველა ბილეთი გაყიდული აღმოჩნდა. მაშინ A სიმრავლის ყოველ ელემენტს (ე. ი. ყოველ ადამიანს, რომელსაც კონცერტზე მოხვედრის სურვილი აქვს) შეესაბამება B სიმრავლის ერთი გარკვეული ელემენტი (ამ ადამიანის მიერ ნაყიდი ბილეთი). ამასთანავე, B სიმრავლის ყოველი ელემენტი შეესაბამება A სიმრავლის მხოლოდ ერთ ელემენტს (ადამიანს, რომელმაც ეს ბილეთი შეიძინა). ამგვარად, დადგენილია ურთიერთცალსახა შესაბამისობა A და B სიმრავლეს შორის, ან, რაც იგივეა, ურთიერთცალსახა ასახვა ერთი სიმრავლისა მეორეზე.

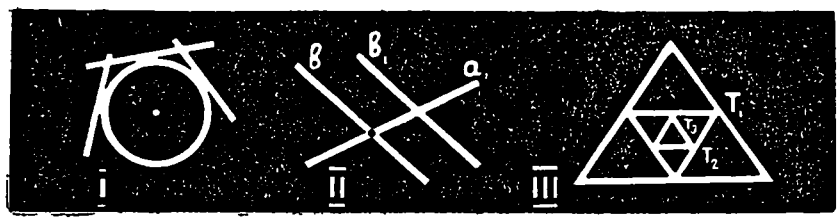
შეიძლება ისეც მოხდეს, რომ თითოეულმა ადამიანმა, რომელსაც აქვს კონცერტზე წასვლის სურვილი, შეიძინა ბილეთი. მაგრამ სალაროში მაინც დარჩა გაუყიდავი ბილეთები. ამ შემთხვევაში გვაქვს ურთიერთცალსახა ასახვა A სიმრავლისა, მაგრამ მთელ B სიმრავლეზე კი არა, არამედ მის რაღაც ნაწილზე, ან, როგორც იტყვიან, B სიმრავლის ისეთ ქვესიმრავლეზე, რომელიც ყველა გაყიდული ბილეთისაგან შედგება. შეიძლება ასეც მოხდეს: ყველა ბილეთი გაიყიდა, მაგრამ კონცერტზე წასვლის ყველა მსურველმა ვერ იყიდა ბილეთი. ასეთ შემთხვევაში, თუ A'-ით აღვნიშნავთ იმ ადამიანების სიმრავლეს, რომლებსაც არა მარტო სურვილი ჰქონდათ კონცერტზე წასვლისა, არამედ ბილეთების შეძენაც მოახერხეს, მაშინ A' სიმრავლე ურთიერთცალსახად აისახება მთელ B სიმრავლეზე.

მათემატიკაში შეიძლება მრავალი ისეთი სიმრავლის მაგალითი მოვძებნოთ, სადაც შესაძლებელია ურთიერთცალსახა შესაბამისობის დამყარება. მაგალითად, სამკუთხედის ან ტეტრაედრის ყოველ წვეროს შეესაბამება ამ წვეროს მოპირდაპირე გვერდი ან წახნაგი. ამგვარად, დამყარებულია ურთიერთცალსახა შესაბამისობა სამკუთხედის წვეროების სიმრავლესა და გვერდების (წახნაგების) სიმრავლეს შორის. განვიხილოთ ორი სიმრავლე: წესიერი მრავალკუთხედის ყველა გვერდისაგან შედგენილი სიმრავლე და ამ მრავალკუთხედის ცენტრიდან გვერდებზე დაშვებული მართობების სიმრავლე. ცხადია, ამ ორ სიმრავლეს შორის არსებობს ურთიერთცალსახა შესაბამისობა. ურთიერთცალსახა შესაბამისობა იარსებებს აგრეთვე პირამიდის გვერდითი წახნაგების სიმრავლესა და ამ პირამიდის აპოთემების სიმრავლეს შორის და ა. შ.

არსებითი მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტს, რომ ურთიერთცალსახა შესაბამისობის ცნება, რომელიც შემოღებული იყო ჩვენს მიერ სასრული სიმრავლეების შემთხვევაში, შეიძლება ზოგიერთ უსასრულო სიმრავლეზედაც გადავიტანოთ. განვიხილოთ თუნდაც ასეთი მაგალითები.

პირველი მაგალითი. ვთქვათ, A-თი წრეწირის ყველა წერტილის სიმრავლეა აღნიშნული, ხოლო B-თი ამ წერტილებზე გავლებულ მხებთა სიმრავლე (ნახ. 3, I). იმისათვის, რომ ამ ორ სიმრავლეს შორის ურთიერთცალსახა შესაბამისობა დავამყაროთ, საკმარისია წრეწირის ყოველ წერტილს ამ წერტილში გავლებული მხები შევუსაბამოთ. ამგვარად, A სიმრავლის ყოველ ელემენტს B სიმრავლის ერთი გარკვეული ელემენტი შეესაბამება და პირიქით, B სიმრავლის ყოველი ელემენტი (ე. ი. ყოველი მხები) შეესაბამება A სიმრავლის ერთ გარკვეულ ელემენტს — განსახილავი მხების შეხების წერტილს.

მეორე მაგალითი. განვიხილოთ ორი გადამკვეთი წრფე a_1 და b_1 (ნახ. 3, II). ვთქვათ,



ნახ. 3.

A-თი აღნიშნულია a_1 წრფის წერტილთა სიმრავლე, ხოლო B-თი სიმრავლე, რომელიც შედგება b_1 წრფისა და ამ წრფის ყველა პარალელური წრფისაგან. B სიმრავლის ყოველ b ელემენტს (ე. ი. b_1 წრფის პარალელურ ყოველ b წრფეს, თვით b_1 წრფის ჩათვლით) შეესაბამება A სიმრავლის ერთადერთი ელემენტი — a_1 წრფის ერთადერთი წერტილი, სახელდობრ, ის, რომელშიც ამ წრფეს b წრფე გადაკვეთს.

მესამე მაგალითი. განვიხილოთ ზემოთ აგებული სიმრავლე ყველა ტოლგვერდა სამკუთხედისა:

$$T_1,\ T_2,\ T_3, \dots,\ T_n, \dots,$$

რომელთაგან ყოველი სამკუთხედი, დაწყებული მეორედან, ჩახაზულია წინა სამკუთხედში (ნახ. 3, III). სამკუთხედების ეს სიმრავლე აღვნიშნოთ X-ით. ყოველ სამკუთხედს შეესაბამება გარკვეული n ნატურალური რიცხვი, როგორც ამ სამკუთხედის ნომერი. კერძოდ, T_n სამკუთხედის ნომერი იქნება ნატურალური რიცხვი n. ამით, ცხადია, დადგენილია ურთიერთცალსახა შესაბამისობა ჩვენი სამკუთხედების X სიმრავლესა და ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლეს შორის.

თვლადი სიმრავლეები

თუ მოხერხდა რომელიმე X სიმრავლის ყველა ელემენტის დანომრვა ნატურალური რიცხვების საშუალებით, ისე რომ ყოველი ნატურალური რიცხვი გამოყენებული იყოს როგორც ნომერი X სიმრავლის მხოლოდ ერთი ელემენტისა, მაშინ ასეთი ნუმერაციით დამყარებული იქნება ურთიერთცალსახა შესაბამისობა X სიმრავლის ელემენტებსა და ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლეს შორის. პირიქით, ყოველი ურთიერთცალსახა შესაბამისობა X სიმრავლესა და ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლეს შორის შეიძლება განვიხილოთ როგორც X სიმრავლის ელემენტების ნუმერაცია (გადათვლა) ნატურალური რიცხვების გამოყენებით — X სიმრავლის ყოველ ელემენტს უბრალოდ მივუწერთ გარკვეულ ნატურალურ რიცხვს როგორც ნომერს.

ჩვენ აქ შევეხეთ უაღრესად მნიშვნელოვან საკითხს, რომლის აზრი შემდეგში მდგომარეობს: ურთიერთცალსახა შესაბამისობის დადგენა რაღაც X სიმრავლესა და ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლეს შორის არის რომელიმე სასრული სიმრავლის (მაგალითად, კალათი ვაშლი) ელემენტების დათვლის ოპერაციის პირდაპირი გადატანა უსასრულო სიმრავლეთა არეში ნატურალური რიცხვების გამოყენებით. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ელემენტების დასათვლელად მხოლოდ სასრული სიმრავლის შემთხვევაში დაგვჭირდება სასრული რიცხვი ნატურალური რიცხვებისა, რადგანაც, როგორც ცნობილია, ასე ვითვლით: ერთი, ორი, სამი და ა. შ. იმ რიცხვამდე, რომელიც გვიჩვენებს, მაგალითად, რამდენი ვაშლია კალათში. როგორც ჩახაზული სამკუთხედების სიმრავლის

$$T_1,\ T_2,\ T_3, \dots,\ T_n, \dots, \qquad (1)$$

ისე, საზოგადოდ, ნებისმიერ X სიმრავლისათვის, რომელიც შეიძლება იყოს ურთიერთცალსახა შესაბამისობაში ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლესთან, ჩვენ იძულებული ვხდებით ნომრებად ყველა ნატურალური რიცხვი გამოვიყენოთ.

მაგრამ ახლა წამოიჭრება ყველაზე მთავარი, ფუნქციათა თეორიისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხი: ყოველთვის არის თუ არა შესაძლებელი უსასრულო სიმრავლის ელემენტების დანომრვა ყველა ნატურალური რიცხვის გამოყენებით, ისე რომ სიმრავლის ყოველმა ელემენტმა მხოლოდ ერთი გარკვეული ნომერი მიიღოს? პასუხი ამ კითხვაზე უარყოფითია და ჩვენც შევეცდებით საფუძვლიანად დავრწმუნდეთ ამაში. საჭიროა მხოლოდ ერთგვარი მომზადება. ჯერ დავადგინოთ იმ სიმრავლეების სახელწოდება, რომლებიც ურთიერთცალსახა შესაბამისობაშია ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლესთან. ასეთ სიმრავლეებს თ ვ ლ ა დ ი სიმრავლეები ეწოდება. ეს სახელწოდება ბუნებრივია, რადგანაც თვლადი სიმრავლე ისეთი სიმრავლეა, რომლის ელემენტების

დათვლა ნატურალური რიცხვების გამოყენებით არის შესაძლებელი.

ჩვენი ამოცანა ისაა, რომ ვუჩვენოთ არათვლადი სიმრავლეების არსებობა, ე. ი. ისეთი სიმრავლეებისა, რომლებიც ვერ იქნება ურთიერთცალსახა შესაბამისობაში ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლესთან.

ყველა რაციონალური რიცხვის სიმრავლე თვლადია

არათვლადი სიმრავლის ძებნის დროს საჭიროა ვისარგებლოთ რაციონალურ რიცხვთა სიმრავლით (მკითხველს, რა თქმა უნდა, ახსოვს, რომ რაციონალური რიცხვები ეწოდება ყველა მთელ და წილად რიცხვებს). ვნახოთ, შეიძლება თუ არა ყველა რაციონალური რიცხვის გადანომვრა ნატურალური რიცხვების გამოყენებით. სიმარტივისათვის ჯერ ყველა დადებითი რაციონალური რიცხვი განვიხილოთ და ვეცადოთ მათი გადანომვრა. ამ საკითხის დასმისთანავე ჩვენ ვხვდებით სერიოზულ სიძნელეს: დადებით რაციონალურ რიცხვებს შორის არ არსებობს უმცირესი, როგორიცაა, მაგალითად, რიცხვი ერთი ნატურალურ რიცხვებს შორის. მართლაც, თუ r დადებითი რაციონალური რიცხვია, მაშინ $\frac{1}{2}r$-იც დადებითი რაციონალური რიცხვი იქნება, რომელიც ნაკლებია r-ზე. აქედან გამომდინარეობს, რომ დადებით რაციონალურ რიცხვთა სიმრავლეში მართლაც არ არსებობს უმცირესი რაციონალური რიცხვი. ვთქვათ, ამ სიძნელეს გვერდს ავუვლით, თუ თვლას რომელიმე r_1 რაციონალური რიცხვიდან დავიწყებთ. ეს რიცხვი პირველ რაციონალურ რიცხვად მივიღოთ. მაგრამ მაშინ შემდეგ ეტაპზე წამოიჭრება ასეთი სიძნელე: რომელი რაციონალური რიცხვი ჩავთვალოთ მეორე რიცხვად, ის, რომელიც, ჩვენი თვლის თანახმად, უშუალოდ r_1 რაციონალურ რიცხვს უნდა მოყვეს? საქმე ისაა, რომ როგორი $r_2 > r_1$ რაციონალური რიცხვიც არ უნდა ავიღოთ, ყოველთვის არსებობს უსასრულო სიმრავლე ისეთი რაციონალური რიცხვებისა, რომლებიც ნაკლები იქნება r_2-ზე და მეტი r_1 რაციონალურ რიცხვზე. მაგალითად, ასეთი რიცხვებია:

$$r_3 = \frac{1}{2}(r_1 + r_2), \quad r_4 = \frac{1}{2}(r_1 + r_3), \ldots$$

ამგვარად, r_1 რაციონალურ რიცხვზე მეტ რაციონალურ რიცხვებს შორის არ არსებობს უმცირესი. მაშ, r_1 რიცხვის მომდევნო რაციონალურ რიცხვებს შორის რომელი რიცხვი გამოვაცხადოთ პირველ რიცხვად? სიძნელე, რომელსაც ჩვენ წავაწყდით, მოჩვენებითია. ის მხოლოდ იმაზე მიგვითითებს, რომ შეუძლებელია რაციონალური რიცხვების გადანომვრა ნატურალური რიცხვების გამოყენებით იმგვარად ვაწარმოოთ, რომ ამ ნუმერაციის დროს ზრდად ნომრებს ზრდადი რიცხვები შეესაბამებოდეს. ამ დასკვნის შემდეგ იძულებული ვართ რაციონალური რიცხვები ცოტა სხვანაირად გადავნომროთ და არ ვეცადოთ, r_2 რიცხვი, რომელიც პირველია r_1-ის შემდეგ, პირველი იყოს თავისი სიდიდითაც. ასეთი შეთანხმების შემდეგ ჩვენთვის სასურველი ნუმერაცია ძალიან ადვილად მოიძებნება.

მართლაც, ყოველი დადებითი რაციონალური რიცხვი, როგორც ცნობილია, ცალსახად ჩაიწერება უკვეცი წილადის $\frac{p}{q}$ სახით. ამ განმარტების მიხედვით, კერძოდ, მთელი n რიცხვისათვის გვექნება $\frac{n}{1}$. ეს წილადიც უკვეც წილადად არის მიღებული. $q + p$ ნატურალურ რიცხვს დადებითი $\frac{p}{q}$ რაციონალური რიცხვის სიმაღლე ვუწოდოთ. ამგვარად, რაციონალური რიცხვის სიმაღლეში ჩვენ ვიგულისხმებთ იმ ერთადერთი უკვეცი წილადის სიმაღლეს, რომელიც მოცემულ დადებით რაციონალურ რიცხვს გამოსახავს. ახლა გამოვარკვიოთ, რამდენი რაციონალური რიცხვი შეესაბამება მოცემულ სიმაღლეს, რომელიც შემდეგ მნიშვნელობებს ღებულობს 1, 2, 3, ... სიმაღლეს 1 არ შეესაბამება არც ერთი დადებითი რაციონალური რიცხვი, რადგანაც $p + q$ სიმაღლე, როგორც ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, ყოველთვის ორზე მეტი ან ორის ტოლია, ე. ი. $p + q \geqslant 2$. სიმაღლეს 2, ცხადია, მხოლოდ ერთი რაციონალური რიცხვი შეესაბამება, სახელდობრ $\frac{1}{1}=1$. შემდეგი სიმაღლე იქნება 3, რომელსაც მხოლოდ ორი რაციონალური რიცხვი შეესაბამება: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{1}=2$. სიმაღლეს 4 შეესაბამება ასეთი რაციონალური რიცხვები: $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{1}$, რომელთაგან მხოლოდ ორია უკვეცი წილადი:

$\frac{1}{3}$ და $\frac{3}{1}=3$ ამგვარად, სიმაღლეს 4 შეესაბამება მხოლოდ ასეთი რაციონალური რიცხვები: $\frac{1}{3}$ და 3. ძნელი არ არის დავრწმუნდეთ, რომ სიმაღლე 5 ექნება შემდეგ წილადებს: $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{1}=4$, რომელთა შორის არ მოიძებნება კვეცადი წილადები. ამიტომ სიმაღლეს 5 შეესაბამება მხოლოდ ოთხი რაციონალური რიცხვი. რაც შეეხება სიმაღლეს 6, მას შეესაბამება შემდეგი რაციონალური რიცხვები: $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{3}$, $\frac{4}{2}$, $\frac{5}{1}$, რომელთაგან მხოლოდ, პირველი და უკანასკნელია უკვეცი. ამგვარად, სიმაღლეზე 6 მოდის მხოლოდ ორი რაციონალური რიცხვი $\frac{1}{5}$ და 5.

თუ ამ მსჯელობას გავაგრძელებთ, უპირველეს ყოვლისა, დავრწმუნდებით, რომ როგორიც არ უნდა იყოს ნატურალური $h > 1$ რიცხვი, არსებობს მხოლოდ სასრული რიცხვი ისეთი რაციონალური რიცხვებისა, რომელთა სიმაღლე h-ის ტოლია. მართლაც, ცხადია, რომ წილადებს:

$$\frac{1}{h-1}, \frac{2}{h-2}, \dots, \frac{h-1}{1},$$

რომელთა რიცხვია $h-1$, ერთნაირი სიმაღლე აქვთ. ამ წილადებს შორის შეიძლება ზოგიერთი კვეცადი აღმოჩნდეს, დანარჩენები კი ისეთი უკვეცი წილადები იქნება, რომელთა სიმაღლე h ნატურალური რიცხვით გამოისახება.

ახლა უკვე ადვილია ყველა დადებითი რაციონალური რიცხვის დანომვრა. ვიწყებთ უმცირესი სიმაღლე 2-ით და მივდივართ წინ, ისე რომ სიმაღლის ყოველი შემდეგი მნიშვნელობა ერთი ერთეულით უნდა აღემატებოდეს წინა მნიშვნელობას. სიმაღლის ასეთი წესით ცვლასთან ერთად უნდა ვაწარმოოთ იმ რაციონალური რიცხვების დათვლაც, რომლებიც მოცემულ სიმაღლეს შეესაბამება.

ამგვარად, $1 = r_1$ რიცხვი ღებულობს ნომერს 1. შემდეგ მოდის ორი რიცხვი: $r_2 = \frac{1}{2}$ და $r_3=2$, რომელთა სიმაღლე სამის ტოლია; შემდეგ ისევ ორი რიცხვი $r_4 = \frac{1}{3}$ და $r_5 = 3$, რომელთა სიმაღლე ოთხის ტოლია. ამას მოყვება ოთხი რაციონალური რიცხვი: $r_6=\frac{1}{4}$, $r_7=\frac{2}{3}$, $r_8=\frac{3}{2}$, $r_9=4$, რომელთა სიმაღლე ხუთის ტოლია. ამის შემდეგ მოდის ისევ ორი რაციონალური რიცხვი: $r_{10}=\frac{1}{5}$ და $r_{11}=5$, რომელთა სიმაღლე ექვსის ტოლია და ა. შ. ვღებულობთ ცხრილს, სადაც n_h-ით აღნიშნულია რიცხვი ისეთი რაციონალური რიცხვებისა, რომელთა სიმაღლეა h:

სიმაღლე	მოცემული სიმაღლის რიცხვები
2	r_1 $(n_2 = 1)$
3	r_2, r_3 $(n_3 = 2)$
4	r_4, r_5 $(n_4 = 3)$
5	r_6, r_7, r_8, r_9 $(n_5 = 4)$
. . . . .	

რადგანაც ყოველ რაციონალურ რიცხვს სიმაღლედ გარკვეული h ნატურალური რიცხვი აქვს, ამიტომ ის დაიკავებს გარკვეულ ადგილს იმ სტრიქონში, რომელიც ამ სიმაღლეს შეესაბამება და ამდენად გარკვეულ ნომერსაც მიიღებს, რომელიც $n_2 + n_3 + \dots + n_{h-1} + n_h$ რიცხვს არ აღემატება.

ამგვარად, დამტკიცებულია, რომ ყველა დადებითი რაციონალური რიცხვის სიმრავლე თვლადია.

ყველა ნამდვილი რიცხვის სიმრავლე არათვლადია

მიუხედავად იმისა, რომ დადებით რაციონალურ რიცხვთა სიმრავლე თვლადია, მაინც არსებობს არათვლადი სიმრავლეები. თურმე ყველა ნამდვილი რიცხვის სიმრავლე ა რ ა თ ვ ლ ა დ ი ა. ეს შესანიშნავი ფაქტი და თეორემა ყველა რაციონალური რიცხვის სიმრავლის თვლადობის შესახებ პირველად დაამტკიცა 1874 წ. გამოჩენილმა გერმანელმა მათემატიკოსმა გეორგ კანტორმა, რომელიც თანამედროვე სიმრავლეთა თეორიის ფუძემდებლად ითვლება.

ჩვენ აღვადგენთ კანტორის დამტკიცებას. ამ მიზნით დავამტკიცებთ, რომ (0; 1) ინტერვალი არათვლადია [1].

[1] $(a; b)$ ინტერვალი ეწოდება ყველა იმ x ნამდვილი რიცხვის სიმრავლეს, რომლებიც აკმაყოფილებს უტოლობას $a < x < b$.

ამ ინტერვალში მოთავსებული ყოველი რიცხვი შეიძლება ჩავწეროთ უსასრულო ათწილადის სახით, რომლის მთელი ნაწილი ნულის ტოლია. ამასთანავე, ყოველ ნამდვილ რიცხვს მხოლოდ ერთი ასეთი ჩანაწერი შეესაბამება გარდა იმ ნამდვილი რიცხვებისა, რომლებიც სასრული ათწილადებით გამოისახება. ყოველი ასეთი რიცხვი, მაგალითად 0,2476622021711, შეიძლება ორი წესით ჩაიწეროს უსასრულო ათწილადის სახით, სახელდობრ:

0,247662202171100000000...

და

0,247662202171099999999...

ერთი ჩანაწერი გარკვეული ადგილიდან მხოლოდ ნულებს შეიცავს, მეორე კი ცხრიანებს. თუ შევთანხმდებით, არ ვისარგებლოთ ისეთი ჩანაწერით, რომელშიც გარკვეული ადგილიდან მხოლოდ ცხრიანებია, მაშინ ყოველი ნამდვილი რიცხვი ერთნაირად ჩაიწერება უსასრულო ათწილადის სახით. ახლა დავამტკიცოთ თეორემა ნამდვილ რიცხვთა სიმრავლის არათვლადობის შესახებ საწინააღმდეგოს დაშვების გზით, სახელდობრ, დავუშვათ, რომ (0; 1) ინტერვალი თვლადია, ე. ი. (0; 1) ინტერვალში მოთავსებული ყველა რიცხვის დანომვრა შესაძლებელია ყველა ნატურალური რიცხვის გამოყენებით. მაშინ (0; 1) ინტერვალი შეიძლება მიმდევრობის სახით ჩაიწეროს:

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \dots,$$

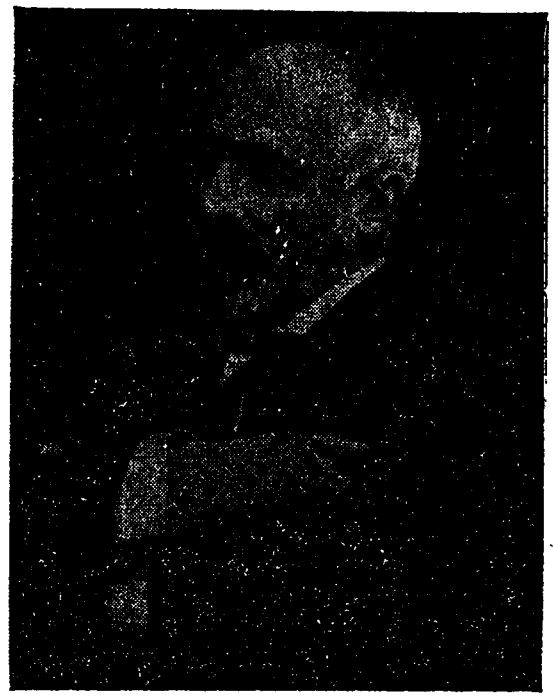
x_n რიცხვის დაშლა ჩავწეროთ უსასრულო ათწილადად:

$$x_n = 0, a_1^{(n)}\ a_2^{(n)}\ a_3^{(n)}\ a_4^{(n)}\ \dots\ a_n^{(n)} \dots,$$

სადაც $a_1^{(n)}$, $a_2^{(n)}$, $a_3^{(n)}$, ... განსახილავი x_n ნამდვილი რიცხვის შესაბამისი ათწილადი ნიშნებია, ამასთანავე, არ შეიძლება, რომ გარკვეული ადგილიდან ყველა ათწილადი ნიშანი ცხრიანი იყოს.

ამგვარად, ყველა ნამდვილი რიცხვი (0; 1) ინტერვალიდან შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$\text{(I)}\quad \begin{array}{l} x_1 = 0, a_1^{(1)}\ a_2^{(1)}\ a_3^{(1)}\ a_4^{(1)}\ a_5^{(1)}\ \dots\ a_n^{(1)}\ \dots, \\ x_2 = 0, a_1^{(2)}\ a_2^{(2)}\ a_3^{(2)}\ a_4^{(2)}\ a_5^{(2)}\ \dots\ a_n^{(2)}\ \dots, \\ x_3 = 0, a_1^{(3)}\ a_2^{(3)}\ a_3^{(3)}\ a_4^{(3)}\ a_5^{(3)}\ \dots\ a_n^{(3)}\ \dots, \\ x_4 = 0, a_1^{(4)}\ a_2^{(4)}\ a_3^{(4)}\ a_4^{(4)}\ a_5^{(4)}\ \dots\ a_n^{(4)}\ \dots, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ x_n = 0, a_1^{(n)}\ a_2^{(n)}\ a_3^{(n)}\ a_4^{(n)}\ a_5^{(n)}\ \dots\ a_n^{(n)}\ \dots, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{array}$$



გეორგ კანტორი.

ჩვენს დაშვებას მივიყვანთ წინააღმდეგობამდე, თუ მოვძებნით ისეთ c რიცხვს, რომელიც მოთავსებული იქნება ნულსა და ერთს შორის და, რომელიც არ მოიძებნება (I) ცხრილში. ამ მიზნით, ვანვიხილოთ ის ათწილადი ნიშნები, რომლებიც (I) ცხრილის დიაგონალზეა მოთავსებული, სახელდობრ:

$$a_1^{(1)},\ a_2^{(2)},\ a_3^{(3)},\ a_4^{(4)},\ a_5^{(5)}\ , \dots,\ a_n^{(n)}, \dots.$$

ამის შემდეგ ყოველი n-თვის ისეთი b_n ნატურალური რიცხვი შევარჩიოთ, რომელიც არ აღემატება რვას და განსხვავებულია $a_n^{(n)}$ რიცხვისაგან (მაგალითად, როდესაც $a_n^{(n)} < 8$, მაშინ მივიჩნიოთ რომ $b_n = a_n^{(n)} + 1$, ხოლო იმ შემთხვევაში, როდესაც $a_n^{(n)} = 8$, დავუშვათ, რომ $b_n = 7$).

განვიხილოთ უსასრულო ათწილადი

$$0,\ b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 \dots b_n \dots,$$

რომელიც, ცხადია, არ შეიცავს არც ერთ ცხრიანს. ეს ათწილადი გამოსახავს ისეთ c რიცხვს, რომელიც მოთავსებულია ნულსა და ერთს შორის და განსხვავებულია $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots$ რიცხვებისაგან. მართლაც, რომ ყოფილიყო

$$c = x_n = 0,\ a_1^{(n)}\ a_2^{(n)}\ \dots\ a_n^{(n)}\ \dots,$$

მაშინ c რიცხვის ასეთ ჩანაწერში n-ურ ადგილზე უნდა ეწეროს $a_n^{(n)}$ ციფრი, იმ დროს, როდესაც სინამდვილეში წერია b_n ციფრი, განსხვავებული $a_n^{(n)}$ ციფრისაგან, $b_n \neq a_n^{(n)}$. თეორემა დამტკიცებულია.

სიმრავლის სიმძლავრე

ჩვენ კარვად უნდა გავიაზროთ მიღებული შედეგი და აქამდე განხილული მასალა ერთგვარად შევაჯამოთ. როგორც ცნობილია, ჩვენ დავიწყეთ ორ სიმრავლეს შორის ურთიერთცალსახა შესაბამისობის ცნების შემოღებით; ეს შესაბამისობა სასრული სიმრავლეების შემთხვევაში იმის მაჩვენებელია, რომ ორივე სიმრავლე ელემენტებს ერთნაირი რაოდენობით შეიცავს.

ეს გარემოება გვიჩვენებს, როგორ უნდა დადგინდეს რაოდენობითი ტოლობა, ან რაოდენობითი ეკვივალენტობა ორ უსასრულო სიმრავლეს შორის. ჩვენ ვიტყვით, რომ ორი (სასრული ან უსასრულო) სიმრავლე რაოდენობრივად ეკვივალენტური სიმრავლეებია, ან ერთი და იგივე სიმძლავრე აქვთ, თუ მათ შორის შეიძლება დავამყაროთ ურთიერთცალსახა შესაბამისობა. „ერთი და იგივე სიმძლავრის“ ცნება ორი სასრული სიმრავლის შემთხვევაში იმის მაჩვენებელია, რომ ისინი ელემენტებს ერთნაირი რაოდენობით შეიცავენ.

შემდეგ ვიტყვით, რომ A სიმრავლეს მეტი სიმძლავრე აქვს, ვიდრე B სიმრავლეს, თუ შეიძლება B სიმრავლე ურთიერთცალსახად ავსახოთ A სიმრავლის ნაწილზე, ისე რომ შეუძლებელი იყოს A სიმრავლის ასახვა B სიმრავლის ნაწილზე. ახლა შეგვიძლია ვთქვათ, რომ თვლადი სიმრავლეები ისეთი სიმრავლეებია, რომლებიც რაოდენობრივად ეკვივალენტურია ნატურალურ რიცხვთა სიმრავლისა. მაგრამ არსებობს არათვლადი სიმრავლეებიც, მაგალითად, ყველა ისეთ ნამდვილ რიცხვთა სიმრავლე, რომლებიც მოთავსებულია ნულსა და ერთს შორის, ან, რაც იგივეა, (0; 1) ინტერვალი. არათვლადი იქნება, ცხადია, ნებისმიერი ინტერვალიც [1].

თუ გვსურს დავრწმუნდეთ, რომ ყოველ არათვლად სიმრავლეს უფრო მეტი სიმძლავრე აქვს, ვიდრე ყოველ თვლად სიმრავლეს (ყველა თვლად სიმრავლეს, ცხადია, ერთნაირი სიმძლავრე აქვს), საჭიროა დავამტკიცოთ შემდეგი ორი დებულება:

1. თვლადი სიმრავლის ყოველი ქვესიმრავლე ან სასრულია, ან თვლადია.

2. ყოველი უსასრულო (კერძოდ, ყოველი არათვლადი) სიმრავლე თვლად სიმრავლეს შეიცავს.

პირველი დებულების დამტკიცება. ვთქვათ, X თვლადი სიმრავლეა, ხოლო X_0—ამ სიმრავლის რაიმე თვლადი ქვესიმრავლე. X სიმრავლის ელემენტები, პირობის თანახმად, შეიძლება დავნომროთ ყველა ნატურალური რიცხვის გამოყენებით, ე. ი. .ისინი შეიძლება შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n, \cdots \qquad (2)$$

ამ ელემენტებს შორის იქნება მოთავსებული X_0 სიმრავლის ელემენტებიც. ვთქვათ, ეს ელემენტებია

$$x_{n_1}, x_{n_2}, x_{n_3}, \cdots, x_{n_k}, \cdots, \qquad (3)$$

საჭიროა აღინიშნოს, რომ $n_1, n_2, \ldots, n_k, \ldots$ ინდექსები დალაგებულია ზრდადობის მიხედვით. შესაძლებელია ორი შემთხვევა: (3) მიმდევრობა ან წყდება რაღაც x_n-დან დაწყებული, ე. ი., X_0 სიმრავლე შეიცავს ელემენტებს სასრული რაოდენობით: $x_{n_1}, x_{n_2}, \cdots, x_{n_k}$, ან გვაქვს უსასრულო მიმდევრობა $x_{n_1}, x_{n_2}, \cdots, x_{n_k}, \ldots$ ეს მიმდევრობა შემდეგი სახით შეიძლება გადავწეროთ:

$$y_1, y_2, \cdots, y_k, \cdots,$$

სადაც

$$y_1 = x_{n_1}, y_2 = x_{n_2}, \ldots, y_k = x_{n_k}, \ldots .$$

ეს უშუალოდ გვიჩვენებს X_0 სიმრავლის თვლადობას.

მეორე დებულების დამტკიცება. ვთქვათ, X უსასრულო სიმრავლეა. ამ სიმრავლიდან ამოვარჩიოთ რაღაც x_1 ელემენტი. ეჭვგარეშეა, რომ ამ სიმრავლეში არსებობს x_1-სგან განსხვავებული ელემენტები (წინააღმდეგ შემთხვევაში X სიმრავლე იქნებოდა შედგენილი ერთი ელემენტისაგან და ამდენად სასრულიც). ავიღოთ ერთი ასეთი ელემენტი და ის x_2-ით აღვნიშნოთ. ცხადია, რომ ეს ორი ელემენტი: x_1 და x_2 არ ამოწურავს X სიმრავლეს. ამიტომ არსებობს ამ სიმრავლის

[1] $(a; b)$ ინტერვალი შეიძლება ურთიერთცალსახად $(0; 1)$ ინტერვალზე ავსახოთ.

ისეთი x_3 ელემენტი, რომელიც განსხვავებული იქნება როგორც x_1-დან, ისე x_2-დან. თუ ელემენტების გამოყოფის ამ პროცესს უსასრულოდ გავაგრძელებთ, მივიღებთ თვლად სიმრავლეს: $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n, \ldots$, რომელიც მთლიანად X სიმრავლეს ეკუთვნის.

ამგვარად, ზემოთ დასმულ კითხვაზე: არსებობს თუ არა უსასრულო სიმრავლეები სხვადასხვა „ხარისხის უსასრულობისა“ (ე. ი. სხვადასხვა სიმძლავრისა), ჩვენ შეგვიძლია დადებითი პასუხი გავცეთ: არსებობს ნამდვილი რიცხვებიდან შედგენილი ორი სხვადასხვა სიმძლავრის სიმრავლეები — ერთი მხრით, რაიმე ინტერვალი და მეორე მხრით, ნამდვილ რიცხვთა ნებისმიერი თვლადი სიმრავლე (მაგალითად, დადებით რაციონალურ რიცხვთა სიმრავლე). ამ დასკვნამდე ჩვენ მივედით უსასრულო სიმრავლეების რაოდენობრივი შეფასების დასაბუთების შედეგად, რისთვისაც გამოყენებული იყო ურთიერთცალსახა შესაბამისობის ცნება. მაგრამ არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ურთიერთცალსახა შესაბამისობა უსასრულო სიმრავლეებს შორის ყოველ მხრივ წააგავს ურთიერთცალსახა შესაბამისობას სასრულ სიმრავლეებს შორის.

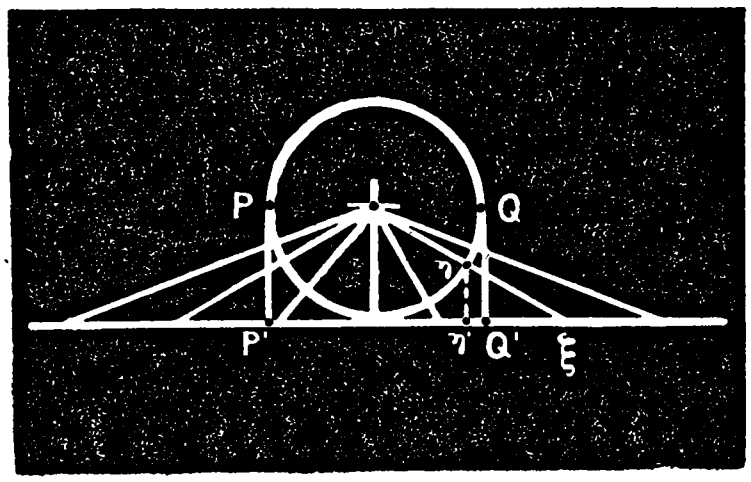
ცხადია, არც ერთი სასრული სიმრავლე არ შეიძლება ურთიერთცალსახად ავსახოთ თავის ნაწილზე (ნაწილი არასოდეს არ უდრის მთელს). მარტივი მაგალითების განხილვა გვარწმუნებს, რომ ეს მტკიცება უკვე არასამართლიანია უსასრულო სიმრავლეების შემთხვევაში. მართლაც, როგორც ვნახეთ, თვლადი სიმრავლის ყოველი უსასრულო ქვესიმრავლე თვლადია. ამიტომ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ყოველი თვლადი სიმრავლე ურთიერთცალსახად აისახება თავის ნებისმიერ უსასრულო ნაწილზე. მაგალითად, თუ ყოველ ნატურალურ რიცხვს ქვეშ მივუწერთ ორჯერ მეტ ნატურალურ რიცხვს, ე. ი.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, . . . ,

2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, . . . ,

მაშინ ცხადია, რომ ყველა ნატურალური რიცხვის სიმრავლესა და ყველა ლუწი რიცხვის სიმრავლეს შორის მივიღებთ ურთიერთცალსახა შესაბამისობას მიუხედავად იმისა, რომ მეორე სიმრავლე პირველი სიმრავლის ნაწილია.

განვიხილოთ მეორე მაგალითი: დავამტკიცოთ, რომ არსებობს ურთიერთცალსახა შესაბამისობა ნამდვილ რიცხვთა სიმრავლესა (რიცხვთა მთელი



ნახ. 4.

წრფე) და მის ნებისმიერ ინტერვალს შორის. ამ შესაბამისობის დასადგენად შეიძლება ასე მოვიქცეთ. სიბრტყეში ავაგოთ ისეთი წრეწირი, რომელიც ზევიდან ეხება აბსცისის ღერძს და განვიხილოთ ასეთი წრეწირის PQ ქვედა ნახევარწრეწირი (ნახ. 4) P და Q ბოლო წერტილების გამორიცხვით. ძნელი არ არის იმის დამტკიცება, რომ არსებობს ურთიერთცალსახა შესაბამისობა PQ ნახევარწრეწირის წერტილებსა და რიცხვთა ღერძის წერტილებს შორის. ამისათვის ჯერ ის ვუჩვენოთ, რომ განსახილავი წრფის ყოველ ξ წერტილს PQ ნახევარწრეწირის ერთი გარკვეული η წერტილი შეესაბამება. ასეთი წერტილის მისაღებად საკმარისია წრეწირის ცენტრი ξ წერტილთან წრფის მონაკვეთით შევაერთოთ. მაშინ ამ მონაკვეთისა და ნახევარწრეწირის გადაკვეთა საძიებელ წერტილს მოგვცემს. ეს მსჯელობა ჩვენი მოსაზრების სისწორეს ამტკიცებს.

ამის შემდეგ, PQ ნახევარწრეწირი აბსცისების ღერძზე დავაგეგმილოთ (ორთოგონალურად), რის შედეგად $P'Q'$ ღია შუალედს მივიღებთ. დაგეგმილების შედეგად ნახევარწრეწირის η წერტილი $P'Q'$ ინტერვალის η' წერტილში გადავა. ამგვარად, რიცხვთა წრფის ნებისმიერ ξ წერტილს $P'Q'$ ინტერვალის ერთი გარკვეული η' წერტილი შეესაბამება და, პირიქით, $P'Q'$ ინტერვალის ყოველ η' წერტილს რიცხვითი ღერძის ერთი გარკვეული ξ წერტილი უპასუხებს.

შეიძლება დამტკიცდეს სხვა, ერთი შეხედვით პარადოქსული თეორემები სხვადასხვა სიმრავლის

სიმძლავრეთა შესახებ. მოვიყვანოთ ერთი მათგანი: არსებობს ურთიერთცალსახა შესაბამისობა წრფის ყველა წერტილსა და სიბრტყის ყველა წერტილს შორის.

დასასრულ შევნიშნავთ, რომ მათემატიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს, ე. წ. რიცხვით სიმრავლეებს, ე. ი., ისეთ სიმრავლეებს, რომელთა ელემენტები ნამდვილი რიცხვებია. აქამდე ცნობილი ყველა რიცხვითი სიმრავლე ან თვლადია, ან მას რიცხვითი წრფის სიმძლავრე აქვს. ამის შედეგად წარმოიშვა ჰიპოთეზა, რომლის ძალით ყოველ არათვლად რიცხვთა სიმრავლეს იგივე სიმძლავრე აქვს, რაც მთელ რიცხვთა ღერძს.

ეს ჰიპოთეზა გამოთქმული იყო ჯერ კიდევ კანტორის მიერ და ცნობილია კონტინუუმ-ჰიპოთეზის სახელწოდებით. იგი დღემდე არ არის დამტკიცებული, რაც დაკავშირებულია დიდ საერთო შემეცნებითი ხასიათის სიძნელეებთან, რომლებიც წარმოიშვება ნებისმიერ რიცხვთა სიმრავლეების განხილვის დროს. ეს სიძნელეები, რომელთა შესახებ აქ, რა თქმა უნდა, ვერ ვილაპარაკებთ, მათემატიკურ ლოგიკაში შუქდება.

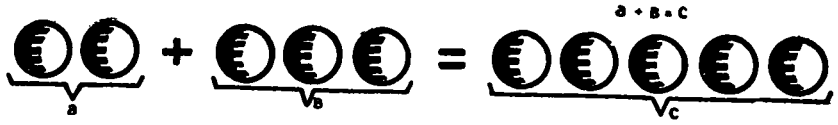
ეს სტატია მიზნად ისახავს მკითხველს მისცეს მხოლოდ წარმოდგენა ზოგიერთი უმარტივესი ცნების შესახებ მათემატიკის ისეთი დარგიდან, როგორიცაა სიმრავლეთა თეორია. ეს თეორია წარმოიშვა დაახლოებით ასი წლის წინათ. ■

სიმრავლეთა ალგებრა და ლოგიკის ალგებრა

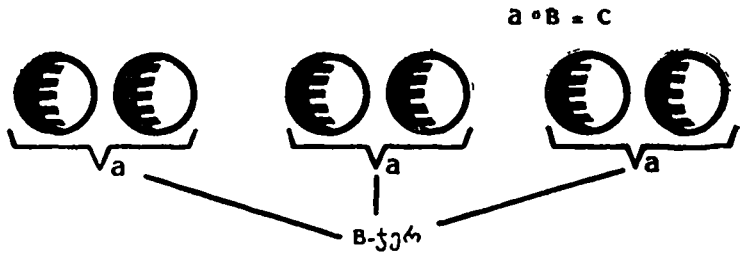
რიცხვთა ალგებრა

არითმეტიკაში და ალგებრაში განიხილავენ სხვადასხვა ბუნების რიცხვებს — მთელ რიცხვებს, რაციონალურ რიცხვებს (წილადებს) და სხვებს. ყველა შემთხვევაში ყოველ ორ a და b რიცხვს შეგვიძლია შევუსაბამოთ კიდევ ორი რიცხვი $a + b$ და ab, რომლებსაც ეწოდება a და b რიცხვების ჯამი და ნამრავლი. ორი რიცხვის ჯამისა და ნამრავლის განსაზღვრა განსხვავებულია სხვადასხვა ბუნების რიცხვებისათვის. მაგალითად, თუ a მთელი დადებითი რიცხვია, მაშინ იგი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც რაიმე სიმრავლის ელემენტთა რიცხვი. ამავე დროს $a + b$ ჯამი ნიშნავს საგანთა რიცხვს, რომელსაც ჩვენ მივიღებთ, თუ შევაერთებთ პირველ სიმრავლეს, რომელიც შეიცავს a საგანს, და მეორე სიმრავლეს, რომელიც შეიცავს b საგანს (ნახ. 1). თუ ჩვენ შევაერთებთ სიმრავლეებს, რომელთა რიცხვია b, ამასთანავე თითოეული სიმრავლე შეიცავს a საგანს, მაშინ სულ მივიღებთ ab საგანს (ნახ. 2). უფრო რთულად განისაზღვრება წილადების ჯამი და ნამრავლი; მაგალითად, ასე:

$$\frac{a_1}{a_2}+\frac{b_1}{b_2}=\frac{a_1b_2+a_2b_1}{a_2b_2} \quad \text{და} \quad \frac{a_1}{a_2}\cdot\frac{b_1}{b_2}=\frac{a_1b_1}{a_2b_2}.$$



ნახ. 1.



ნახ. 2.

აქ a_1, a_2, b_1, b_2 მთელი რიცხვებია. უარყოფითი რიცხვების ჯამსა და ნამრავლს განვსაზღვრავთ სხვა წესებით: ამ წესებს შორის არის, ვთქვათ, ასეთი წესი:

$$(-a)(-b) = +ab.$$

მაგრამ განსახილველი რიცხვების ბუნების, რიცხვების ჯამისა და ნამრავლის განსაზღვრისაგან დამოუკიდებლად რიცხვებზე მოქმედების საერთო კანონები ერთი და იგივე რჩება. ეს კანონებია:

$$a + b = b + a$$

(კომუტატიურობის კანონი შეკრებისათვის);

$$ab = ba$$

(კომუტატიურობის კანონი გამრავლებისათვის);

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

(ასოციაციურობის კანონი შეკრებისათვის);

$$(ab)c = a(bc)$$

(ასოციაციურობის კანონი გამრავლებისათვის);

$$(a + b)c = ac + bc$$

(დისტრიბუტიულობის კანონი).

ამავე დროს მაშინვე გვეცემა თვალში, რომ წესები, რომლებიც რიცხვთა შეკრებას ეხება, ძალიან ჰგავს გამრავლების წესებს. მაგალითად:

$$a + b = b + a \text{ და } ab = ba,$$

$$(a + b) + c = a + (b + c) \text{ და } (ab)c = a(bc).$$

ეს მსგავსება შეკრებისა და გამრავლების მოქმედებათა შორის აისახება ორი შესანიშნავი რიცხვის 0-ისა და 1-ის არსებობაშიც. პირველის მიმატება და მეორეზე გამრავლება არც ერთ რიცხვს არ ცვლის:

$$a + 0 = a \text{ და } a \cdot 1 = a.$$

საჭიროა აღვნიშნოთ, რომ შეკრებისა და გამრავლების მოქმედებათა შორის მსგავსება შორს არ ვრცელდება. მაგალითად, რიცხვი 0 დიდ როლს თამაშობს არა მარტო შეკრების მიმართ, არამედ გამრავლების მიმართაც: 0-ის ეს განსაკუთრებული როლი განისაზღვრება შესანიშნავი ტოლობით: $a \cdot 0 = 0$. (ამ ტოლობიდან, კერძოდ, გამომდინარეობს, რომ $a \neq 0$ რიცხვის 0-ზე გაყოფა არ შეიძლება.) ამის საწინააღმდეგოდ, რიცხვი 1 შეკრების ოპერაციის მიმართ არავითარ განსაკუთრებულ როლს არ ასრულებს: ტოლობა, რომელიც $a \cdot 0 = 0$ ტოლობიდან მიიღება 0-ის 1-ით შეცვლით და გამრავლების ოპერაციის შეკრების ოპერაციით შეცვლით ($a + 1 = 1$), თითქმის არასდროს არ იქნება სამართლიანი. (ეს ტოლობა სამართლიანია მხოლოდ, როცა $a = 0$.)

ასევე დისტრიბუტიულობის კანონი:

$$(a + b)c = ac + bc$$

ხაზს უსვამს შეკრებისა და გამრავლების მოქმედებათა შორის განსხვავებას. თუ ამ კანონის ჩანაწერში შეკრებას გამრავლებით შევცვლით და, პირიქით, მაშინ მივიღებთ კურიოზულ „ტოლობას“:

$$(a \cdot b) + c = (a + c) \cdot (b + c),$$

რომელიც, როგორც წესი, არ სრულდება. მაგალითად: $1 \cdot 2 + 3 = 5$, ხოლო $(1 + 3) \cdot (2 + 3) = 20$. (ტოლობა $(a \cdot b) + c = (a + c) \cdot (b + c)$ სამართლიანია მხოლოდ მაშინ, როცა $c = 0$ და $a + b + c = 1$.)

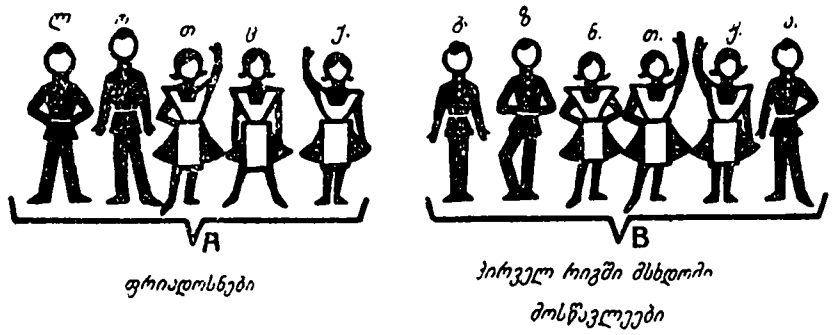
მაგრამ მათემატიკაში შეკრებისა და გამრავლების ოპერაციები არა მარტო რიცხვებისათვის განისაზღვრება. ამავე დროს ზოგჯერ შესაძლებელია განვიხილოთ ისეთი „ალგებრა“, რომელშიც შეკრებისა და გამრავლების ოპერაციებს შორის მსგავსება უფრო მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივ „რიცხვით“ ალგებრაში. მაგალითისთვის აქ შეიძლება დავასახელოთ თავისებური „სიმრავლეთა ალგებრა“.

სიმრავლეთა ალგებრა

განვიხილოთ ყველა შესაძლებელი სიმრავლის სისტემა. კონკრეტულობისათვის ყოველთვის ვილაპარაკებთ ჩვენი კლასის მოსწავლეთა სიმრავლეებზე.

ორი, A და B სიმრავლის ჯამი $A + B$ ვუწოდოთ ისეთ სიმრავლეს, რომელიც A და B სიმრავლეთა გაერთიანებით მიიღება; სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, $A + B$ სიმრავლეში შედის მხოლოდ ის ობიექტები, რომლებიც A და B სიმრავლეში შედის. მაგალითად, თუ A არის ჩვენი კლასის ფრიადოსანთა სიმრავლე, რომელიც შედგება შემდეგი მოსწავლეებისაგან: ლევანი, ოთარი, თინა, ციალა, ქეთევანი, ხოლო B — პირველ მერხზე მსხდომ მოსწავლეთა სიმრავლე: გია, ზურაბი, ნათელა, თინა, ქეთევანი, არჩილი, მაშინ ამ ორი სიმრავლის ჯამი $A + B$ შედგება მოსწავლეებისაგან, რომლებიც ფრიადოსნები არიან, ან

პირველ მერხზე სხედან: ლევანი, ოთარი, თინა, ციალა, ქეთევანი, გია, ზურაბი, ნათელა, არჩილი (ნახ. 3).



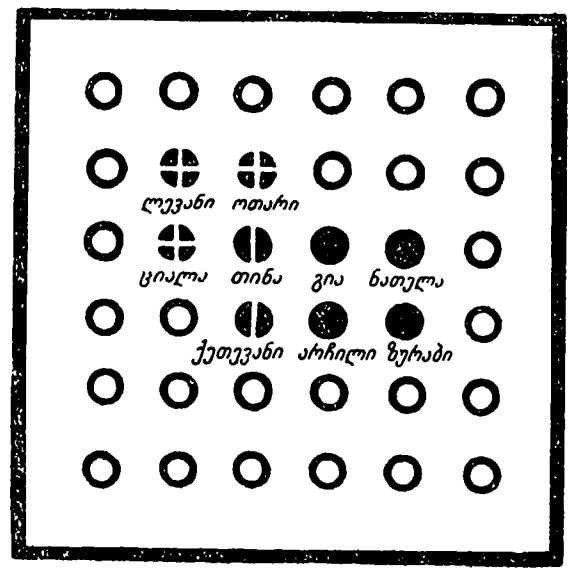
ფრიადოსნები — პირველ რიგში მსხდომი მოსწავლეები

ფრიადოსნები ან. მოსწავლეები, რომლებიც პირველ რიგში სხედან

ნახ. 3.

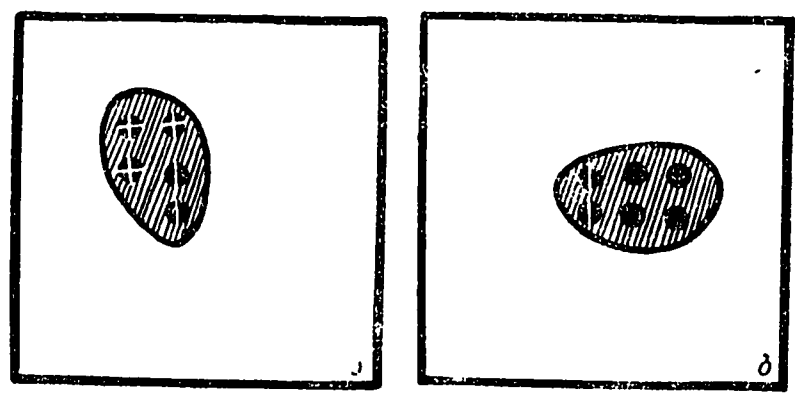
არ გაგიკვირდეთ, რომ „შეკრება“ სულ ახალ ოპერაციას ვუწოდეთ, — ჩვენ ხომ წინათაც ყოველთვის, როცა ერთი ბუნების რიცხვებიდან მეორე ბუნების რიცხვებზე გადავდიოდით, შეკრებას ახლებურად განვსაზღვრავდით. ცხადია, მაგალითად, რომ დადებითი და უარყოფითი რიცხვების შეკრება იგივე არ არის, რაც მხოლოდ დადებითი რიცხვების შეკრება; მაგალითად, 5 და (—3) რიცხვების ჯამი იგივეა, რაც 5 და 3 რიცხვების სხვაობა. წილადების შეკრება იგივე არაა, რაც მთელი რიცხვების შეკრება; 1-ლი ნახატი, რომელიც რიცხვების შეკრებას გამოსახავს, გამოუსადეგარი ხდება, როცა საქმე წილადებს ეხება. მაგრამ ახალ ოპერაციას უკვე ჩვენთვის ცნობილ სიტყვას „შეკრებას“ რომ ვუწოდებთ, ყოველთვის უნდა „დაგვესრულებინა სწავლა“ და არა „ხელახლა გვესწავლა“; მთელ რიცხვებზე მოქმედებათა პროცესში გამომუშავებული ჩვევები თურმე სასარგებლოა წილად რიცხვებზე მოქმედებისას, დადებით რიცხვებზე მოქმედებათა წესები კი სასარგებლოა ფარდობით რიცხვებზე მოქმედებისას და ა. შ. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ საერთო კანონები, რომელთაც მთელი რიცხვების შეკრების ოპერაცია ემორჩილება, შემდეგშიც ძალაში რჩება, ვთქვათ, წილად რიცხვებზე გადასვლისას; მაგალითად, ორივე შემთხვევაში შეკრება კომუტატიურია (ე. ი. $a + b = b + a$) და ასოციაციურია: $(a + b) + c = a + (b + c)$.

ახლა ვნახოთ, სიმრავლეებისთვისაც ინარჩუნებს თუ არა ძალას ეს კანონები. ამისათვის მოსახერხებელია გამოვიყენოთ სპეციალური დიაგრამები, რომლებიც სიმრავლეებზე მოქმედებებს გამოსახავს. შევთანხმდეთ, რომ მთელი კლასი (უფრო ზუსტად, კლასის ყველა მოსწავლის სიმრავლე) კვადრატით აღვნიშნოთ, ამ კვადრატში მოსწავლეთა რაოდენობის მიხედვით შეიძლება წერტილები განვალაგოთ (ნახ. 4). ამასთან მოსწავლეთა ცალკეული



ნახ. 4.

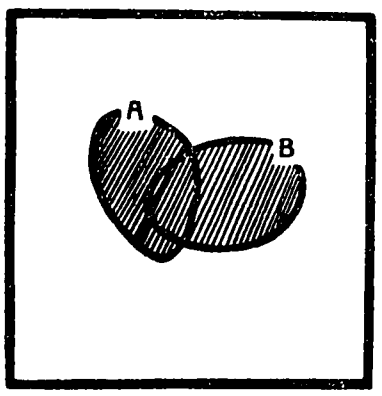
სიმრავლეები კვადრატის ნაწილებით გამოისახება; მაგალითად, მე-5, ა ნახაზზე გამოსახული ფიგურა გრაფიკულად ასახავს ფრიადოსნების A სიმრავლეს, ხოლო მე-5, ბ ნახაზზე გამოსახული ფიგუ-



ნახ. 5.

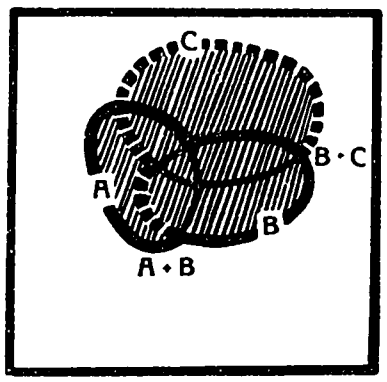


ნახ. 6. ფიგურების ჯამი ეს მათი გაერთიანებაა.



A + B = B + A

ნახ. 7.



(A · B) · C = A · (B · C)

ნახ. 8.

რა — პირველ მერხზე მსხდომ მოსწავლეთა B სიმრავლეს. A და B სიმრავლეთა ჯამში ვგულისხმობთ ფიგურას, რომელიც A და B სიმრავლეთა შეერთებით წარმოიქმნება (ნახ. 6).

ასეთ დიაგრამებს ეილერის ან ვენის დიაგრამებს უწოდებენ. ეს დიაგრამები საშუალებას გვაძლევს, თვალსაჩინოდ წარმოვადგინოთ სიმრავლეთა შეკრების ოპერაცია და შევამოწმოთ მისი თვისებები.

ცხადია, მაგალითად, რომ

$$A + B = B + A$$

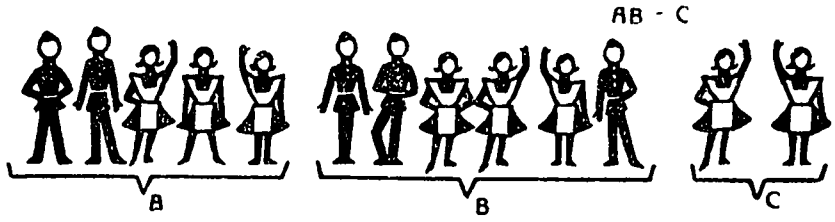
(კომუტატიურობის კანონი სიმრავლეთა შეკრებისათვის; ნახ. 7). ასევე ცხადია, რომ:

$$(A + B) + C = A + (B + C)$$

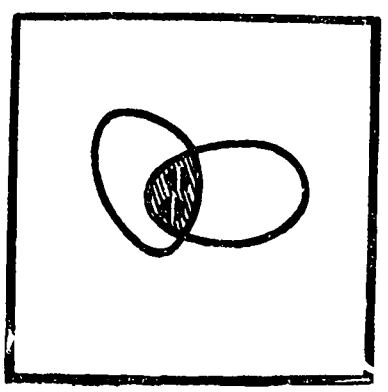
(ასოციაციურობის კანონი სიმრავლეთა შეკრებისათვის; ნახ. 8). $(A + B) + C = A + (B + C)$ ჯამი ბუნებრივია აღვნიშნოთ უბრალოდ $A+B+C$ სიმბოლოთი (ფრჩხილების გარეშე).

ახლა განვსაზღვროთ ორი A და B სიმრავლის $A \cdot B$ ანუ AB ნამრავლი, როგორც სიმრავლე, რომელიც A და B სიმრავლეთა გადაკვეთით მიიღება. სხვა სიტყვებით, AB სიმრავლეში შედის მხოლოდ ის ელემენტები, რომლებიც შედის როგორც A სიმრავლეში, ისე B სიმრავლეში. მაგალითად, თუ A და B ზემოთ აღნიშნული ფრიადოსანი მოსწავლეების სიმრავლე და პირველ რიგში მსხდომ მოსწავლეთა სიმრავლეა, მაშინ AB სიმრავლე შედგება იმ მოსწავლეებისაგან, რომლებიც ფრიადოსნები არიან და პირველ რიგში სხედან. ეს სიმრავლე მხოლოდ ორი მოსწავლისაგან — თინასა და ქეთევანისაგან შედგება (ნახ. 9). მე-10 ნახაზზე იგივე AB სიმრავლე დიაგრამაზე გამოსახულია როგორც A და B სიმრავლეთა გადაკვეთა.

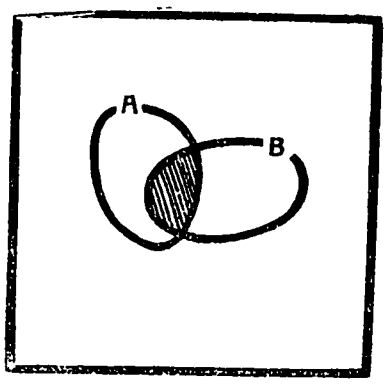
ნაცნობი ტერმინის „ნამრავლის“ სრულიად ახალი თვალსაზრისით გამოყენება გამართლებულია იმ გარემოებით, რომ, როგორც ჩვეულებრივი გამრავლებისთვის, ასევე გვაქვს: $AB = BA$ (კომუ-



ნახ. 9.

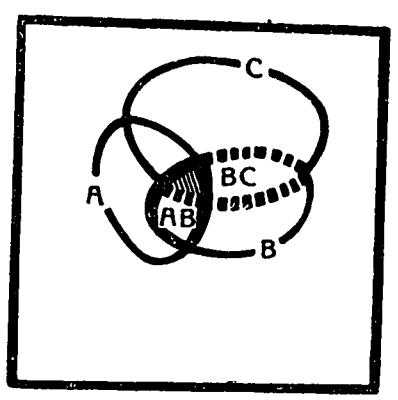


ნახ. 10. ორი ფიგურის ნამრავლი ეს მათი გადაკვეთაა.



AB = BA

ნახ. 11.

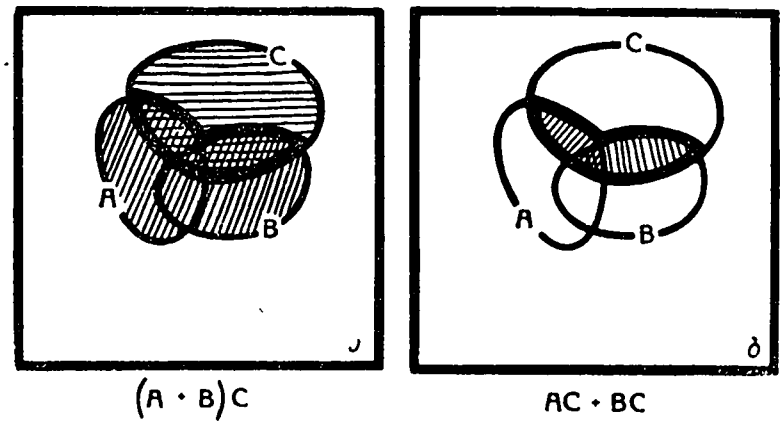


(AB)C = A(BC)

ნახ. 12.

ტატიურობის კანონი სიმრავლეთა ნამრავლისათვის; ნახ. 11) და $(AB)C = A(BC)$ (ასოციაციურობის კანონი სიმრავლეთა ნამრავლისათვის; ნახ. 12). $(AB)C = A(BC)$ სიმრავლე, ბუნებრივია, უბრალოდ ABC-თი აღვნიშნოთ (ფრჩხილების გარეშე).

ახლა შევამოწმოთ, სრულდება თუ არა სიმრავლეთათვის დისტრიბუტიულობის კანონი. მე-13, ა ნახაზზე დაშტრიხულია $A+B$ და C სიმრავლეები, ამავე დროს ორმაგი შტრიხით დაფარულია $(A+B)C$ სიმრავლე, მე-13, ბ ნახაზზე სხვადასხვანაირადაა დაშტრიხული AC და BC; ამასთანავე



ნახ. 13.

როგორღაც დაშტრიხულია $AC+BC$ სიმრავლე. ადვილი შესამჩნევია, რომ სიმრავლე, რომელიც მე-13, ა ნახაზზე ორმაგი შტრიხით არის დაფარული, ზუსტად ის სიმრავლეა, რომელიც დაშტრიხულია მე-13, ბ ნახაზზე. აქედან დავასკვნით: „სიმრავლეთა ალგებრაში“ სრულდება დისტრიბუტიულობის კანონი: $(A+B)C=AC+BC$.

„ნული“ და „ერთეული“

გამოვარკვიოთ, „სიმრავლეთა ალგებრაში“ არსებობს თუ არა ისეთი 0 „ნული“ ელემენტი, რომლის მიმატებით რომელიმე A სიმრავლესთან არ შეცვლის ამ სიმრავლეს. ცხადია, ეს მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ „0 სიმრავლე“ სრულებით არ შეიცავს რაიმე ელემენტს, წარმოადგენს „სიცარიელეს“. მაგრამ ასეთ შემთხვევაში არ ვილაპარაკებთ „სიმრავლეზე“. ცალკეული ელემენტებისაგან შემდგარი სიმრავლე რაღა სიმრავლეა, თუ არც ერთ ელემენტს არ შეიცავს?

მაგრამ მოძღვრებაში სიმრავლეთა შესახებ მიზანშეწონილია ც ა რ ი ე ლ ი ს ი მ რ ა ვ ლ ე, რომელიც არც ერთ ელემენტს არ შეიცავს, განსახილველ სიმრავლეებს მივაკუთვნოთ. წინააღმდეგ შემთხვევაში ხომ ვერ შევძლებთ, ვილაპარაკოთ სიმრავლეზე, თუ წინასწარ არ გამოვარკვიეთ, არსებობს ის თუ არა. მაგალითად, ვიდრე ვიტყოდეთ: „ქ. თბილისის № 13 სკოლის IX „ა“ კლასის ფრიადოსან მოსწავლეთა სიმრავლე“, უნდა მივიდეთ იმ სკოლაში და გამოვიკითხოთ, როგორია ამ კლასის მოსწავლეთა მოსწრება. უფრო მოსახერხებელია მშვიდად ვილაპარაკოთ ამ სიმრავლეზე, თუ დავუმატებთ, რომ ეს სიმრავლე შეიძლება „ცარიელიც“ იყოს, ე. ი. არც ერთ ელემენტს არ შეიცავდეს. მთელ რიგ შემთხვევაში შეგვიძლია წინასწარ ვთქვათ, რომ ესა თუ ის სიმრავლე არ არის ცარიელი; მაგალითად, რა თქმა უნდა, ცარიელი არ არის კლასის ყველაზე მაღალ მოსწავლეთა სიმრავლე (ეს სიმრავლე შეიძლება ზოგჯერ ერთზე მეტ მოსწავლეს შეიცავდეს). სხვა შემთხვევაში უცებ ვიტყვით, რომ სიმრავლე, რომელზეც ვლაპარაკობთ, ცარიელია. რა თქმა უნდა, ცარიელია ჩვენს კლასში მოსწავლე სპილოების სიმრავლე ან ორთავიანი მოსწავლეების სიმრავლე. მაგრამ, უმეტეს შემთხვევაში, უფრო ზუსტი ანალიზი გვაძლევს უფლებას პირუთითოთ, ცარიელია თუ არა ესა თუ ის სიმრავლე. მაგალითად, ბარამიძეების სიმრავლე, ან ცაციების სიმრავლე შეიძლება ცარიელიც იყოს და არაცარიელიც.

ცარიელ სიმრავლეს შემდეგში ყოველთვის O-თი აღვნიშნავთ. ამგვარად, ყოველი A სიმრავლისთვის გვექნება (ნახ. 14):

$$A+O=A.$$

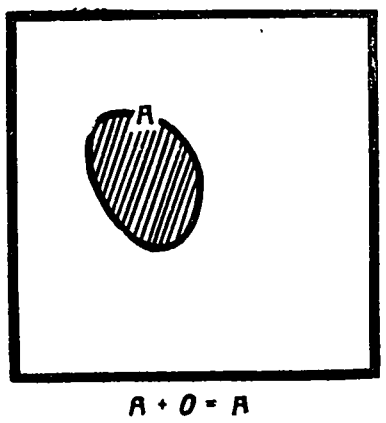
შევნიშნავთ კიდევ, რომ რიცხვთა ალგებრის ცნობილი წესის $a\cdot 0=0$ მსგავსად, ყოველი A სიმრავლისათვის:

$$A\cdot O=O.$$

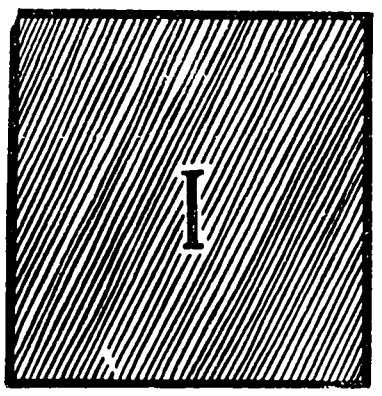
ნამრავლი, $A\cdot O$ სიმრავლე განსაზღვრის თანახმად შედგება ყველა იმ ელემენტისაგან, რომელიც A-საც ეკუთვნის და O-საც. მაგრამ O სიმრავლე არც ერთ ელემენტს არ შეიცავს, ამიტომ $A\cdot O$ სიმრავლეც არ შეიცავს არც ერთ ელემენტს.

ახლა დავსვათ საკითხი „1 სიმრავლის“ შესახებ, რომელიც ისეთი თვისებისაა, რომ მისი ნამრავლი ნებისმიერ A სიმრავლეზე A-ს გვაძლევს. უკანასკნელი აღნიშნავს, რომ 1 და A სიმრავლეთა გადაკვეთა, ანუ საერთო ნაწილი ნებისმიერი A სიმრავლისათვის თვით ამ სიმრავლეს ემთხვევა. მაგრამ ეს შესაძლებელია, რა თქმა უნდა, მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ „1 სიმრავლე“ შეიცავს ყველა

საერთოდ არსებულ ელემენტს. მაგალითად, თუ განვიხილავთ ჩვენი კლასის მოსწავლეთა ყველა შესაძლებელ სიმრავლეს, მაშინ ერთის როლს შეასრულებს ჩვენი კლასისის ყველა მოსწავლის სიმრავლე; ძნელი გასაგები არ არის, რომ, ვთქვათ, ამ სიმრავლისა და A სიმრავლის ნამრავლი შედგება ყველა ფრიადოსნისაგან (ე. ი. ემთხვევა A-ს). ამ სიმრავლისა და B სიმრავლის ნამრავლი შედგება პირველ რიგში მსხდომ ყველა მოსწავლისაგან (ე. ი. დაემთხვევა B სიმრავლეს).



ნახ. 14.



ნახ. 15.

სიმრავლეს, რომელიც შედგება ყველა განსაჩილავი სიმრავლის ყველა ელემენტისაგან, სრული, უნივერსალური, ანუ ერთეულოვანი ეწოდება; ჩვენ მას I ნიშნით აღვნიშნავთ. ამგვარად, ყოველი A სიმრავლისათვის:

$$A \cdot I = A.$$

უნივერსალური I სიმრავლე გრაფიკულად გამოისახება მთელი კვადრატით, რომლის შიგნით სხვადასხვა სიმრავლის აღმნიშვნელ ფიგურებს ვხატავთ (ნახ. 15).

საკვირველი ალგებრა

სიმრავლეზე მოქმედებების აქამდე განხილული ყველა კანონი რიცხვებზე მოქმედებათა კანონებს ემთხვეოდა. მაგრამ სინამდვილეში სიმრავლეთა ალგებრა არ არის რიცხვთა ალგებრის განმეორება. მას ბევრი საკვირველი თვისება აქვს, რომელთაც ჩვეულებრივ ალგებრაში ვერ ვხვდებით.

დავიწყოთ დისტრიბუტიულობის მეორე კანონიდან, რომელიც გამომდინარეობს დისტრიბუტიულობის პირველი კანონიდან:

$$(A + B)\, C = AC + BC$$

შეკრების გამრავლებით შეცვლით და პირიქით:

$$AB + C = (A + C)\,(B + C).$$

როგორც უკვე ითქვა, რიცხვთა ალგებრაში დისტრიბუტიულობის მეორე კანონი, საერთოდ, არ მოქმედებს. სხვანაირად წარიმართება საქმე სიმრავლეთა ალგებრაში. მე-16, ა ნახაზზე დაშტრიხულია AB და C სიმრავლეები, ისე რომ ამ ნახაზზე დაშტრიხულია $AB+C$ სიმრავლე. მე-16, ბ ნახაზზე დაშტრიხულია $A + C$ და $B + C$ სიმრავლეები, ისე რომ ორმაგი შტრიხით დაფარულია $(A + C)\ (B + C)$ სიმრავლე. ადვილი შესამჩნევია, რომ მე-16, ბ ნახაზზე ორმაგი შტრიხით დაფარული სიმრავლე ზუსტად ის სიმრავლეა, რომელიც დაშტრიხულია მე-16, ა ნახაზზე. ამგვარად, ნებისმიერი სამი A, B და C სიმრავლისათვის:

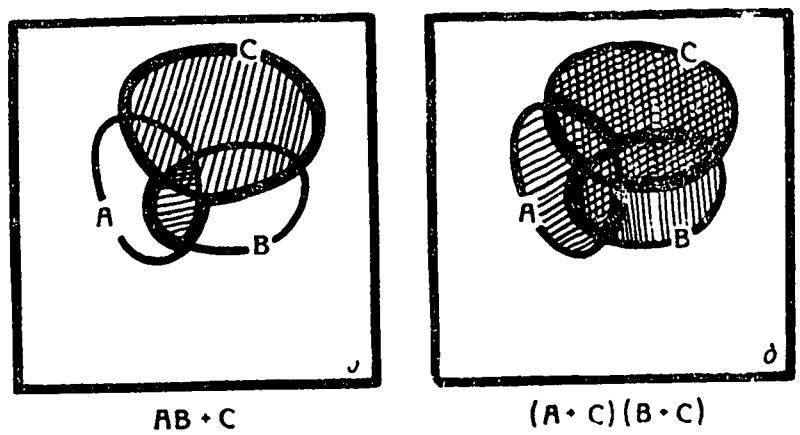
$$AB + C = (A + C)\,(B + C).$$

ზემოთ ჩვენ აღვნიშნეთ კურიოზული ტოლობა: $a + 1 = 1$, რომელიც $a \cdot 0 = 0$ ტოლობიდან ნულის ერთით და გამრავლების შეკრებით შეცვლის გზით არის მიღებული. მაგრამ ეს ტოლობა კურიოზულია მხოლოდ რიცხვთა ალგებრაში. სიმრავლეთა ალგებრაში, ცხადია, ნებისმიერი A სიმრავლისათვის:

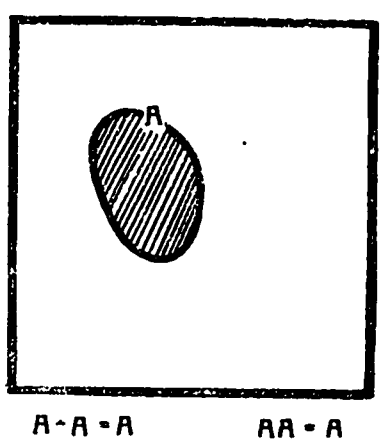
$$A + I = I.$$

მართლაც, $A + I$ ჯამი წარმოადგენს სიმრავლეს, რომელიც უნივერსალური I სიმრავლის და A სიმრავლის შეერთებითაა მიღებული. მაგრამ I სიმრავლე უკვე შეიცავს ჩვენს განკარგულებაში მყოფ ყველა ელემენტს, ასე რომ, მისთვის A სიმრავლის მიმატება არაფერს არ ცვლის: $A + I$ ჯამი იგივე I უნივერსალური სიმრავლეა.

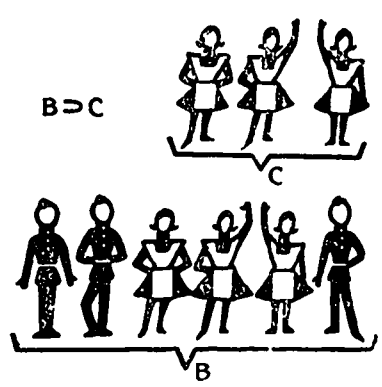
აღვნიშნოთ კიდევ არაჩვეულებრივი ტოლობანი: $A+A=A$ და $AA=A$, რომლებიც აგრეთვე სრულდება ყოველი A სიმრავლისათვის. მართლაც, $A + A$ ჯამი A სიმრავლის თავის თავთან გაერთიანებას წარმოადგენს, მაგრამ ამასთანავე იგივე A სიმრავლესთან მივალთ (ნახ. 17). ამის ანალოგიურად, AA ნამრავლიც A სიმრავლის თავის თავ-



ნახ. 16.



ნახ. 17.



ნახ. 18.

თან გადაკვეთაა, მაგრამ ეს გადაკვეთა A სიმრავლისაგან არ განსხვავდება (ნახ. 17).

უკანასკნელი ორი ტოლობა შეიძლება კიდევ განვაზოგადოთ. განსხვავებული სიმრავლეები შეიძლება ერთმანეთს შევადაროთ. თუ B სიმრავლის ყველა ელემენტი A სიმრავლეში შედის, ბუნებრივია მივიჩნიოთ, რომ A სიმრავლე „მეტია“ B სიმრავლეზე. ეს დამოკიდებულება ასე ჩაიწერება: $A \supset B$ ან $B \subset A$; ამავე დროს ამბობენ, რომ „A სიმრავლე B სიმრავლეს შეიცავს“ ან „B სიმრავლე A სიმრავლეში შედის“. მაგალითად, პირველ რიგში მსხდომი გოგონების C სიმრავლე (ეს სიმრავლე შედგება გოგონებისაგან: თინასა, ქეთევანისა და ნათელასაგან) შედის პირველ რიგში მსხდომი მოსწავლეების B სიმრავლეში: $B \supset C$ (ნახ. 18, 19). გრაფიკულად $A \supset B$ დამოკიდებულება გამოისახება იმით, რომ B ფიგურა მთლიანად A ფიგურაშია მოთავსებული ან B ემთხვევა A-ს. ცხადია, რომ თუ $A \supset B$ და $B \supset C$, მაშინ $A \supset C$ (ნახ. 20); ეს მტკიცება ანალოგიურია უტოლობათა ცნობილი თვისებისა: თუ $a > b$ და $b > c$, მაშინ $a > c$.

ადვილი შესამჩნევია, რომ თუ $A \supset B$, მაშინ $A + B = A$; $AB = B$ (ნახ. 21, ა, ბ). რადგან შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $A \supset A$, აქედან გამომდინარეობს შემდეგი:

$$A + A = A; \quad AA = A.$$

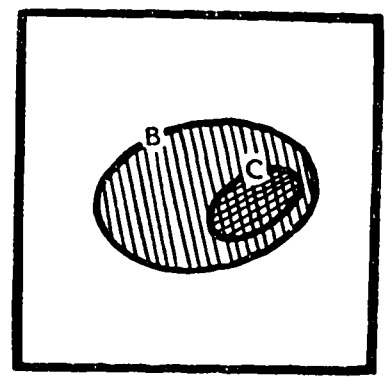
ჩვენ ვხედავთ, რომ სიმრავლეთა ალგებრის წესები ბევრად განსხვავდება რიცხვთა ალგებრის წესებისაგან. ამიტომ ამ საკვირველ ალგებრას რომ დავეუფლოთ, არა მარტო „სწავლის დასრულება“ გვიხდება, არამედ ნაწილობრივ ხელახლა სწავლაც — უარის თქმა ზოგიერთ ჩვეულ წარმოდგენაზე, რაც რიცხვებზე მოქმედებების გამოცდილებასთან არის დაკავშირებული.

აი, რიცხვთა ალგებრის თვალსაზრისით უჩვეულო იგივეობა:

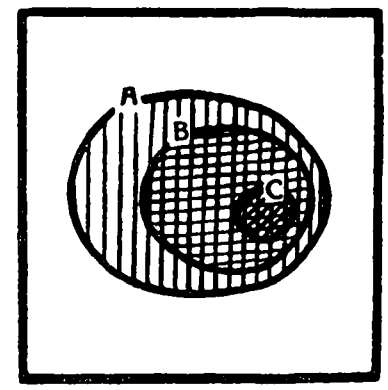
$$(A + C)(B + C)A = AB + CA$$

(ნახ. 22, ა და ბ).

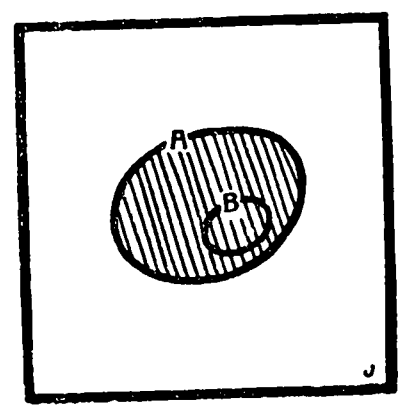
ახლა მივუთითებთ სიმრავლეთა ალგებრის კიდევ ერთ განსხვავებაზე რიცხვთა ალგებრისგან, რაც მკითხველმა, ალბათ, ვერ შეამჩნია. როცა რიცხვებთან გვაქვს საქმე, შეგვიძლია ერთმანეთს

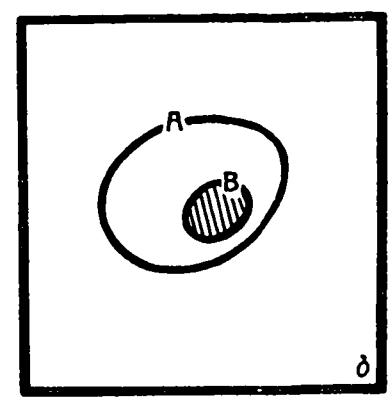


ნახ. 19.



ნახ. 20.



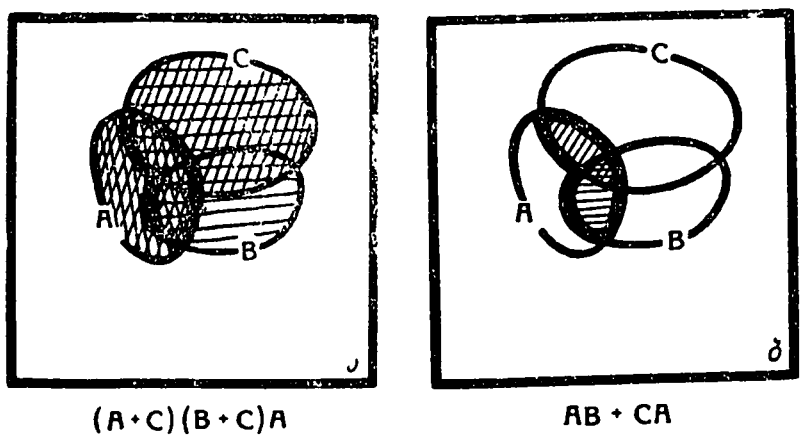


ნახ. 21.

შევადაროთ ნებისმიერი ორი რიცხვი a და b: ერთი მათგანი ყოველთვის მეტია მეორეზე (ან ეს რიცხვები ტოლია). მაგრამ A და B ორი სიმრავლისათვის, როგორც წესი, არ გვექნება არც ერთი დამოკიდებულება ამ ორი დამოკიდებულებიდან: $A \supset B$ და $B \supset A$. მაგალითად, ზემოთ აღნიშნული ფრიადოსნების A სიმრავლისა და პირველ რიგში მსხდომ მოსწავლეთა B სიმრავლის შემთხვევაში არც ერთი ამ სიმრავლეთაგანი არ შეიძლება მეტად ჩავთვალოთ. ოღონდ, თუ ერთი სიმრავლეთაგანი მთლიანად შეიცავს მეორეს, მაშინ შეგვიძლია მივუთითოთ მათ მეტნაკლებობაზე. სხვა A და B სიმრავლეთათვის, რომლებიც გრაფიკულად 23-ე ნახაზებზე არის გამოსახული, არავითარი შედარება არ შეიძლება. ამგვარად, მხოლოდ A და B სიმრავლეთა ზოგიერთი წყვილისათვის შეიძლება მივუთითოთ, რომელი მათგანია მეტი.



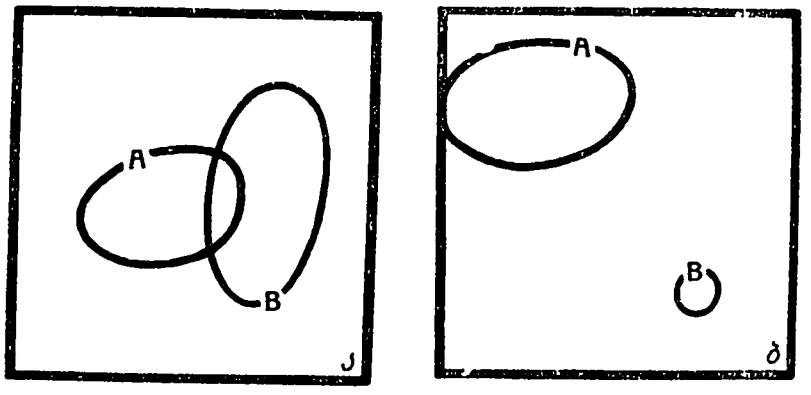
ჯორჯ ბული.



ნახ. 22.

სიმრავლეთა ალგებრა მოქმედებების თავისებური კანონებით (ეს კანონები ერთსა და იმავე დროს რიცხვებზე მოქმედებების წესებს მოგვაგონებს და განსხვავდება კიდეც ამ წესებისაგან) პირველად გამოჩენილი ინგლისელი მათემატიკოსის ჯორჯ ბულის მიერ იყო მითითებული. ჯორჯ ბული ცნობილი მწერალი ქალის ეტელ ლილიან ვოინიჩის (რომან „კრაზანას“ ავტორის) მამა იყო. ბულის სახელის მიხედვით სიმრავლეთა ალგებრას ხშირად „ბულის ალგებრას“ უწოდებენ. ბულის ფუძემდებელ შრომას, რომელშიც პირველად აიგო ბულის ალგებრა, „აზრთა კანონების გამოკვლევა“ ეწოდებოდა. ეს შრომა ლონდონში დაიბეჭდა 1854 წელს, ე. ი. ას წელზე მეტი ხნის წინათ. ბულის წიგნის სახელწოდება პირველად შეიძლება უცნაურად მოგეჩვენოთ: რა დამოკიდებულება აქვს სიმრავლეთა კურიოზულ ალგებრას ჩვენი აზროვნების კანონებთან? ჩვენ შევეცდებით, ამ კითხვაზე პასუხი გავცეთ.

რადგან სიმრავლეებზე მოქმედებათა კანონები რიცხვებზე მოქმედებათა კანონებისაგან განსხვავდება, ზოგჯერ მიაჩნიათ, რომ ეს მოქმედებანი არ შეიძლება იგივე ნიშნებით აღვნიშნოთ, რომლებიც რიცხვთა ალგებრაში გამოიყენება. მათემატიკურ ლიტერატურაში A და B სიმრავლეთა ჯამი ხშირად $A \cup B$-თი აღინიშნება, ხოლო ამავე სიმრავლეთა ნამრავლი $A \cap B$-თი. ამასთან ბულის ალგებრის სიმრავლეებზე მოქმედებათა წესები შემდეგი სახით ჩაიწერება:



ნახ. 23.

$$A \cup B = B \cup A, \quad A \cap B = B \cap A$$

(კომუტატიურობის კანონები);

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C),$$
$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

(ასოციაციურობის კანონები);

$$(A \cup B) \cap C = (A \cap C) \cup (B \cap C),$$
$$(A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)$$

(დისტრიბუტიულობის კანონები);

$$A \cup O = A, \quad A \cap I = A,$$
$$A \cap O = O, \quad A \cup I = I,$$
$$A \cup A = A, \quad A \cap A = A.$$

მაგრამ ჩვენ ვამჯობინებთ, ვისარგებლოთ შეკრებისა და გამრავლების ცნობილი სიმბოლოებით.

სიმრავლის დამატება. ანალოგია სიმრავლეთა შეკრებასა და გამრავლებას შორის

დავუბრუნდეთ სიმრავლეთა ალგებრის მოქმედებათა ზემოთ დადგენილ თვისებებს. მაშინვე თვალში გვეცემა განსაკუთრებული მჭიდრო კავშირი იმ კანონებს შორის, რომლებიც სიმრავლეთა შეკრებისა და გამრავლების წესებს ეხება.

ამოვწეროთ ეს კანონები ხელახლა:

$$A + B = B + A, \quad AB = BA;$$
$$(A + B) + C = A + (B + C), \quad (AB)C = A(BC);$$
$$(A + B)C = AC + BC, \quad AB + C = (A + C)(B + C);$$
$$A + O = A, \quad AI = A;$$
$$A + I = I, \quad AO = O;$$
$$A + A = A, \quad AA = A$$

და ა. შ. ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ ყოველი ტოლობა, რომელიც სიმრავლეთა ალგებრაში იგივურად სრულდება, სიმრავლეთა შეკრების ნიშნის გამრავლების ნიშნით შეცვლით, და პირიქით, ამასთან ცარიელი O სიმრავლის (თუ ის შედის ჩვენს ტოლობაში) უნივერსალური I სიმრავლით შეცვლით, და პირიქით, გადადის ახალ ტოლობაში, რომელიც ასევე იგივურად სრულდება.

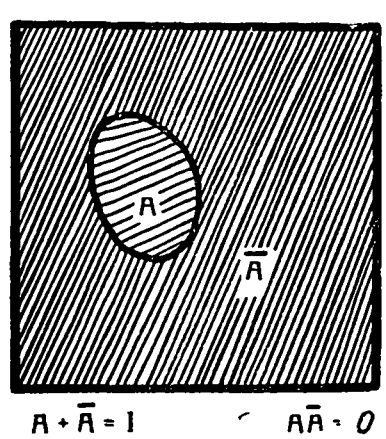
ახლა ამ დებულებას ზოგადად დავამტკიცებთ. ამისათვის დაგვჭირდება სიმრავლეთა ალგებრის ერთი თავისებური ოპერაცია, რომელიც ახალ სიმრავლეს არა ორ მოცემულ სიმრავლეს შეუსაბამებს (მსგავსად $A + B$ ჯამისა და AB ნამრავლისა), არამედ ერთ A სიმრავლეს. ამ ოპერაციას დამატების წარმოქმნა ეწოდება და სიმრავლის ზემოთ გავლებული ხაზით აღინიშნება. სახელდობრ, $\bar{A}$-თი (იკითხება: „A-ს დამატება“) აღვნიშნავთ I უნივერსალური სიმრავლის ყველა ელემენტის სიმრავლეს, რომლებიც A-ს არ ეკუთვნის. მაგალითად, თუ A ჩვენი კლასის ფრიადოსანთა სიმრავლეა, მაშინ $\bar{A}$ სიმრავლე შედგება ყველა იმ მოსწავლისაგან, რომლებიც ფრიადოსნები არ არიან. $\bar{A}$ სიმრავლე დიაგრამაზე I კვადრატის A ფიგურით დაუფარავი ნაწილით გამოისახება (ნახ. 24). ცხადია, რომ $A + \bar{A} = I$, $A\bar{A} = O$ (იხ. ნახ. 24, რომელზეც გრაფიკულად გამოსახულია A და $\bar{A}$ სიმრავლეები); ეს ორი ტოლობა შეიძლება მივიღოთ როგორც $\bar{A}$ სიმრავლის განსაზღვრა. აღვნიშნოთ კიდევ, რომ $(\bar{\bar{A}}) = A$ (ნახ. 25). ეს უკანასკნელი ტოლობა მოკლედ ასე ჩაიწერება: $\bar{\bar{A}} = A$.

ცხადია, რომ $\bar{I} = O$ და $\bar{O} = I$ (რადგან უნივერსალურ I სიმრავლეში ყველა ელემენტი შედის და O ცარიელ სიმრავლეში არც ერთი ელემენტი არ შედის). ამის გარდა, ადვილი შესამჩნევია, რომ თუ $A \supset B$ (ე. ი. B სიმრავლე A სიმრავლის ნაწილია; ნახ. 26, ა), მაშინ $\bar{B} \supset \bar{A}$ (ე. ი. A-ს დამატება B-ს დამატების ნაწილს შეადგენს; ნახ. 26, ა, ბ).

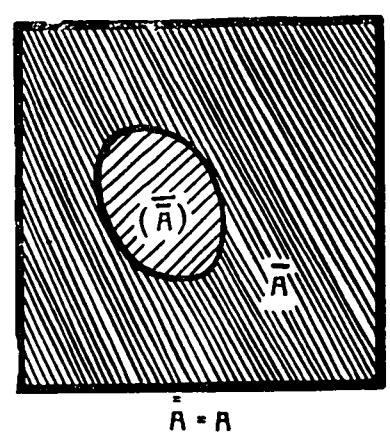
ახლა დავამტკიცოთ შემდეგი ორი მნიშვნელოვანი დამოკიდებულება:

$$\overline{A + B} = \bar{A}\bar{B} \quad \text{და} \quad \overline{AB} = \bar{A} + \bar{B},$$

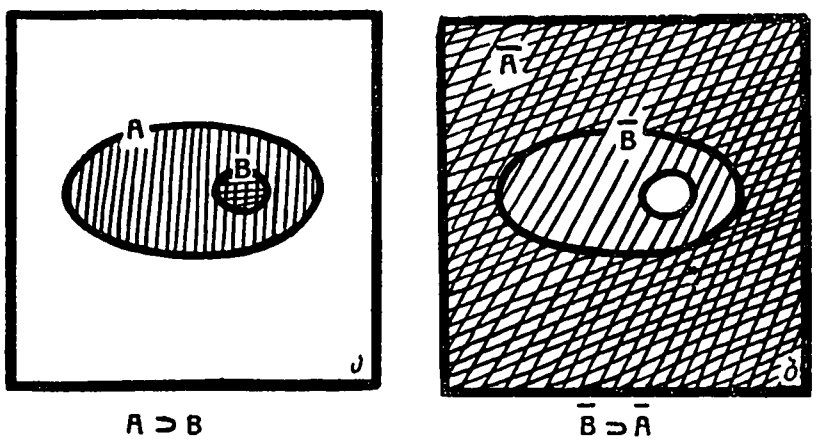
ან, სიტყვებით: ორი სიმრავლის ჯამის დამატება ამ სიმრავლეთა დამატე-



ნახ. 24.



ნახ. 25.

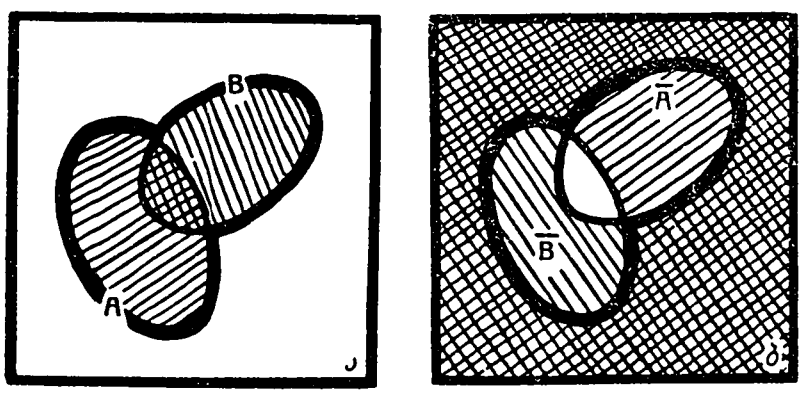


ნახ. 26.

ბის გადაკვეთას ემთხვევა; ორი სიმრავლის ნამრავლის დამატება ამ სიმრავლეთა დამატებების ჯამს ემთხვევა. მართლაც, 27, ა ნახაზზე დაშტრიხულია A და B სიმრავლეები, ხოლო 27, ბ ნახაზზე—მათი $\bar{A}$ და $\bar{B}$ დამატებები. მაგრამ ცხადია, რომ 27, ა ნახაზზე დაშტრიხული ფიგურა მთელ I კვადრატამდე ავსებს იმ ფიგურას, რომელიც 27, ბ ნახაზზე ორმაგი შტრიხით არის დაფარული, ე. ი. $\bar{A}\bar{B}$ ფიგურა; ეს კი ამტკიცებს $\overline{A+B}=\bar{A}\bar{B}$ ტოლობას. ანალოგიურად, 27, ა ნახაზზე ორმაგი შტრიხით დაფარული ფიგურა მთელ კვადრატამდე ავსებს 27, ბ ნახაზზე დაშტრიხულ ფიგურას, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ $\overline{AB}=\bar{A}+\bar{B}$.

დამტკიცებული დამოკიდებულებებიდან ძნელი არ არის გამოვიყვანოთ ჩვენი დებულება, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, სიმრავლეთა ალგებრის ყოველი მოცემული დამოკიდებულებიდან ახალი დამოკიდებულება ავაგოთ.

განვიხილოთ სიმრავლეთა ალგებრის რაიმე იგივეობა, მაგალითად, დისტრიბუტიულობის პირველი კანონი:



ნახ. 27.

$$(A+B)\,C=AC+BC.$$

რადგან $(A+B)C$ და $AC+BC$ სიმრავლეები ერთმანეთს ემთხვევა, ემთხვევა ამ სიმრავლეთა დამატებებიც:

$$\overline{(A+B)C}=\overline{AC+BC}.$$

მაგრამ ჩვენ ვიცით, რომ $\overline{AB}=\bar{A}+\bar{B}$; ამიტომ

$$\overline{(A+B)C}=\bar{A}\,\overline{+B}+\bar{C}.$$

მეორე მხრივ, ჩვენთვის ცნობილია, რომ $\overline{A+B}=\bar{A}\bar{B}$. ამრიგად,

$$\overline{(A+B)C}=\bar{A}\bar{B}+\bar{C}.$$

შემდგომ, სიმრავლეთა ალგებრის იმავე $\overline{A+B}=\bar{A}\bar{B}$ კანონის ძალით გვაქვს $\overline{AC+BC}=\overline{AC}\cdot\overline{BC}$. მაგრამ $\overline{AC}=\bar{A}+\bar{C}$ და $\overline{BC}=\bar{B}+\bar{C}$; ამიტომ

$$\overline{AC+BC}=(\bar{A}+\bar{C})\,(\bar{B}+\bar{C}).$$

ამგვარად, მივდივართ ტოლობამდე:

$$\bar{A}\bar{B}+\bar{C}=(\bar{A}+\bar{C})\;(\bar{B}+\bar{C}),$$

რომელიც, ცხადია, მხოლოდ ფორმით განსხვავდება დისტრიბუტიულობის მეორე კანონისაგან:

$$AB+C=(A+C)\;(B+C),$$

სადაც A, B და C სიმრავლეთა ნაცვლად მათი $\bar{A}$, $\bar{B}$ და $\bar{C}$ დამატებები მონაწილეობს. მაგრამ ეს სრულებით არაა არსებითი, რამდენადაც როგორც განსახილავი სიმრავლეები, ისე მათი დამატებები ნებისმიერია. ამგვარად, დამატების წარმოქმნის საშუალებით დისტრიბუტიულობის პირველი კანონიდან დისტრიბუტიულობის მეორე კანონი გამოვიყვანეთ.

ზუსტად ამავე გზით სიმრავლეთა ალგებრის ნებისმიერი იგივეობიდან შეიძლება მივიღოთ მეორე იგივეობა, რომელშიც შეკრების ოპერაცია ყველგან გამრავლების ოპერაციითაა შეცვლილი, და პირიქით. ამასთანავე, თუ თავდაპირველ იგივეობაში O და I სიმრავლეები შედიოდა, ახალ იგივეობაში ისინი შეიცვლება შესაბამისად I და O-ით; ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ $\bar{O}=I$ და $\bar{I}=O$.

სიმრავლის მოცემულობის ორი ხერხი. სიმრავლეები და გამოთქმები

ახლა დავსვათ საკითხი იმის შესახებ, თუ რა წესით შეიძლება მოცემულ იქნას ესა თუ ის სიმრავლე. ყველაზე მარტივად ამას გავაკეთებთ, თუ ჩამოვთვლით ყველა ელემენტს, რომლებიც მოცემულ სიმრავლეს შეადგენს. მაგალითად, შეიძლება ვთქვათ, რომ A სიმრავლე, რომელიც ზემოთ განვიხილეთ, შედგება მოსწავლეებისგან — ლევანის, ოთარის, თინას, ციალასა და ქეთევანისაგან. მაგრამ იმ შემთხვევაში, როცა სიმრავლე ბევრ ელემენტს შეიცავს, სიმრავლის მოცემულობის ეს ც ხ ა დ ი, ანუ ჩ ა მ ო თ ვ ლ ი თ ი ხერხი შეიძლება მოუხერხებელი იყოს. ამის გარდა, სიმრავლის ასეთი მოცემულობისას, ჩვეულებრივ, ინიღბება თვით პრინციპი მისი წარმოქმნისა, ის საერთო, რაც ამორჩეულ ელემენტთა ერთ სიმრავლეში გაერთიანების მიზეზს წარმოადგენს.

სიმრავლის მოცემულობის მეორე ხერხი გახლავთ ის, რომ ჩვენ მივუთითებთ ნ ი შ ა ნ ს, რომელიც სიმრავლის ყველა ელემენტს და მხოლოდ ამ ელემენტებს ახასიათებს. ზემოთ ჩვენ ვამბობდით: „ფ რ ი ა დ ო ს ა ნ თ ა სიმრავლე“ ან „კ ლ ა ს შ ი პ ი რ ვ ე ლ რ ი გ შ ი მ ს ხ დ ო მ მოსწავლეთა სიმრავლე“. სიმრავლეთა მოცემულობის ასეთ ხერხს ა რ ა ც ხ ა დ ი ანუ ა ღ წ ე რ ი ლ ო ბ ი თ ი ხერხი ეწოდება. ამ ხერხის არსი ის არის, რომ ჩვენ ვაყალიბებთ რაიმე გ ა მ ო თ ქ მ ა ს, რომელიც ეხება განხილული უნივერსალური I სიმრავლის ელემენტებს (როგორიცაა „ფრიადოსნად ყოფნა“ ან „პირველ რიგში ჯდომა“). შემდეგში I სიმრავლის მხოლოდ იმ ელემენტებს ვარჩევთ, რომლებიც ამ გამოთქმას აკმაყოფილებს.

სიმრავლის მოცემულობის აღწერილობითი ხერხი აკავშირებს მოძღვრებას სიმრავლეთა შესახებ გამოთქმათა მოძღვრებასთან, რომელიც მ ა თ ე მ ა ტ ი კ უ რ ი ლ ო გ ი კ ი ს საგანს შეადგენს. გ ა მ ო თ ქ მ ა ეწოდება ყოველ დებულებას, რომელიც შეიძლება ჭეშმარიტი ან მცდარი აღმოჩნდეს; ამასთანავე გულისხმობენ, რომ არსებობს შესაძლებლობა დადგინდეს, მოცემული გამოთქმა ჭეშმარიტია თუ მცდარი, თუმცა, შეიძლება, ჩვენ ამისი საშუალება არა გვქონდეს. ამ თვალსაზრისით მტკიცება — „ზუსტად 100 წლის შემდეგ ამ დღეს თბილისში კარგი ამინდი იქნება“ წარმოადგენს გამოთქმას, რამდენადაც 100 წლის შემდეგ შეიძლება შემოწმდეს მართალია ეს, თუ არა. პირიქით, მტკიცება — „კვირა დროის დიდი შუალედია“ — გამოთქმას არ წარმოადგენს, რადგან გამოთქმა „დროის დიდი შუალედი“ განუსაზღვრელია. ამ გამოთქმას სხვადასხვა პირისთვის და სხვადასხვა გარემოებაში შეიძლება სულ სხვადასხვა აზრი ჰქონდეს. თუ არ გვექნება რამდენიმე დამატებითი ცნობა, ვერ ვიტყვით, ჭეშმარიტია თუ მცდარი ეს მტკიცება.

ახლა განვიხილოთ გამოთქმები, რომლებიც გარკვეული I უნივერსალური სიმრავლის ელემენტებს ეხება. იმ შემთხვევაში, როცა ეს სიმრავლე მოცემული კლასის მოსწავლეთა სიმრავლეა, შეიძლება ასეთი გამოთქმები გვქონდეს: „ის ფრიადოსანია“, „ის პირველ რიგში ზის“, „ის 1 მ და 50 სმ-ზე მაღალია“, „ის 50 წელზე მეტი ხნისაა“, „ის სპილოა“, „ის ორთავიანია“ და ა. შ. ყოველ ასეთ გამოთქმას უპასუხებს I-ის იმ ელემენტთა რაიმე სიმრავლე, რომელთათვისაც ეს გამოთქმა ჭეშმარიტია; ამ სიმრავლეს მოცემული გამოთქმის ჭ ე შ მ ა რ ი ტ ე ბ ი ს ს ი მ რ ა ვ ლ ე ეწოდება. ჭეშმარიტების სიმრავლე შეიძლება ცარიელი აღმოჩნდეს. ამ შემთხვევაში გამოთქმას ი გ ი ვ უ რ ა დ მ ც დ ა რ ი ან წ ი ნ ა ა ღ მ დ ე გ ო ბ რ ი ვ ი ეწოდება. მაგალითად, მოცემული კლასის მოსწავლეთა სიმრავლისათვის იგივურად მცდარი იქნება გამოთქმები: „ის ორთავიანია“, ან „ის 50 წელზე მეტი ხნისაა“. ზემოთ ვახსენეთ ერთი გამოთქმაც, რომელიც აშკარად მიუღებელია რომელიმე კლასის მოსწავლეთა მიმართ: „ის სპილოა“. განსაზღვრული აზრით მოპირდაპირე შემთხვევა არის ის, როცა მოცემული გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე მთელ I უნივერსალურ სიმრავლეს ემთხვევა. ამ შემთხვევაში გამოთქმას ი გ ი ვ უ რ ა დ ჭ ე შ მ ა რ ი ტ ი ან უ შ ი ნ ა ა რ ს ო ეწოდება. იგივურად ჭეშმარიტია, მაგალითად, გამოთქმები: „ის (გარკვეული კლასის მოსწავლე) 50 წელზე ნაკლები ხნისაა“, „ის ბიჭია ან გოგონა“.

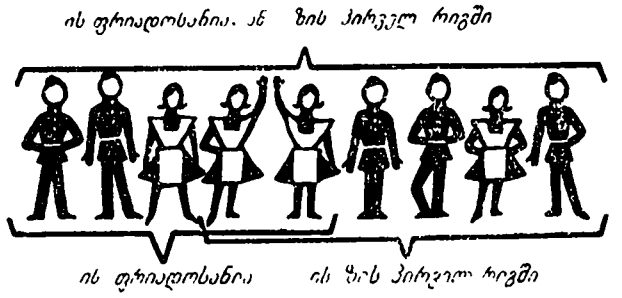
სიმრავლეთა ალგებრა და გამოთქმათა ალგებრა

გამოთქმები ლათინური ანბანის პატარა ასოებით აღვნიშნოთ, ჭეშმარიტების სიმრავლეები კი, რომ-

ლებიც ამ გამოთქმებს უპასუხებს, დიდი ასოებით. a გამოთქმას — „ის ფრიადოსანია“ და b გამოთქმას — „ის პირველ რიგში ზის“ უპასუხებს ზემოთ აღნიშნული A და B ჭეშმარიტების სიმრავლეები. იგივურად მცდარ გამოთქმას ყოველთვის აღვნიშნავთ o სიმბოლოთი, იგივურად ჭეშმარიტ გამოთქმას კი i ასოთი.

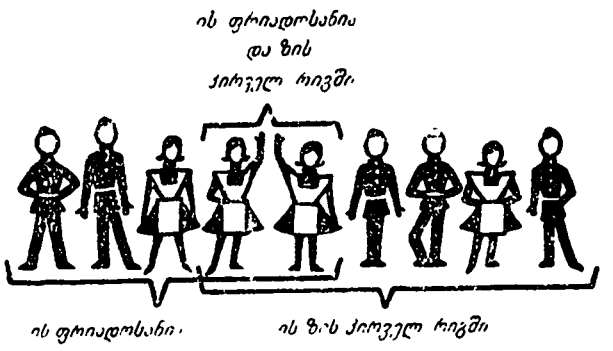
ახლა განვიხილოთ ორი ოპერაცია, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს, ორი გამოთქმის საშუალებით ახალი, შედგენილი გამოთქმები ავაგოთ. მათემატიკურ ლოგიკაში ასეთ ოპერაციებს ლათინური ტერმინებით „დიზიუნქცია“ და „კონიუნქცია“ ეწოდება. ეს ოპერაციები სპეციალური $\vee$ და $\wedge$ ნიშნებით აღინიშნება. მაგალითად, $a \vee b$ აღნიშნავს a და b გამოთქმების დიზიუნქციას, ხოლო $a \wedge b$ კონიუნქციას (შევადაროთ 599 გვერდზე აღნიშნულ სიმრავლეთა შეკრებისა და გამრავლების, ანუ შეერთებისა და გადაკვეთის ნიშნებს). სიმარტივისათვის აქ თითქმის არ ვიხმართ ამ რთულ ტერმინებსა და სიმბოლოებს; ამის ნაცვლად ვილაპარაკებთ a და b გამოთქმების $a + b$ ჯამისა და ab ნამრავლის შესახებ.

a და b გამოთქმათა ჯამში (დიზიუნქციაში) ვგულისხმობთ გამოთქმას, რომელსაც მივიღებთ, თუ a და b გამოთქმას „ან“ კავშირით შევაერთებთ. მაგალითად, თუ a არის გამოთქმა: „ის ფრიადოსანია“, ხოლო b წარმოადგენს გამოთქმას: „ის პირველ რიგში ზის“, მაშინ $a + b$ სიმბოლოთი აღვნიშნავთ გამოთქმას: „ის ფრიადოსანია ან პირველ რიგში ზის“. ამასთანავე „ან“ კავშირს ყოველთვის ასეთი აზრი ექნება: „ან პირველი, ან მეორე, ან პირველი და მეორე ერთად“. ცხადია, თუ A არის a გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე, B კი b გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე, მაშინ $a + b$ გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე იქნება $A + B$ (ნახ. 28). მაგალითად, განსახილავ მაგალითში a გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე შედგება მოსწავლეებისაგან: ლევანის, ოთარის, თინას, ციალასა და ქეთევანისაგან, ხოლო b გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე შემდეგი მოსწავლეებისაგან: გიას, ზურაბის, ნათელას, თინას, ქეთევანისა და არჩილისაგან. $a + b$ გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლეს კი შეადგენს 9 მოსწავლე: ლევანი, ოთარი, თინა, ციალა, ქეთევანი, გია, ზურაბი, ნათელა და არჩილი.



ნახ. 28.

a და b გამოთქმათა ნამრავლში (კონიუნქციაში) ვგულისხმობთ ab გამოთქმას, რომელიც მიიღება a და b გამოთქმათა გაერთიანებით, თუ მათ „და“ კავშირით შევაკავშირებთ. ასე მაგალითად, თუ a და b გამოთქმებს იგივე აზრი აქვთ, რაც უწინ ჰქონდათ, მაშინ ab გამოთქმა აღნიშნავს: „ის ფრიადოსანია და ზის პირველ რიგში“. ამრიგად, ab გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე არის a და b გამოთქმათა ჭეშმარიტების სიმრავლეთა ნამრავლი (გადაკვეთა) (ნახ. 29). ჩვენს მაგალითში ab გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე შედგება ორი მოსწავლისაგან — თინასა და ქეთევანისაგან.



ნახ. 29.

შევთანხმდეთ: ორ გამოთქმას ერთნაირი ან ეკვივალენტური ვუწოდოთ, თუ მათ ერთი და იგივე ჭეშმარიტების სიმრავლე უპასუხებს. გამოთქმათა ეკვივალენტობას ტოლობის ჩვეულებრივი ნიშნით აღვნიშნავთ. $a = b$ ტოლობა ნიშნავს, რომ a და b გამოთქმებში შემავალი თვისებები, რომლებიც უნივერსალური სიმრავლის გარკვეულ ნაწილს გამოყოფენ, ტოლმნიშვნელოვანია, აქვთ ერთი და იგივე აზრი და მხოლოდ თავიანთი ფორმით განსხვავდებიან. გამოთქმათა შესწავლისას, ბუნებრივია, ერთმანეთისაგან არ განვასხვავოთ ეკვივალენტური გამოთქმები, მაგალითად, „ის ფრიადოსანია“ და „მას ყველა საგანში აქვს ფრიადი“.

ჩვენ დავადგინეთ, რომ ორი გამოთქმის ჯამის ჭეშმარიტების სიმრავლე ამ გამოთქმათა ჭეშმარიტების სიმრავლეთა ჯამს ემთხვევა; ორი გამოთქმის ნამრავლის ჭეშმარიტების სიმრავლე ამ გამოთქმათა ჭეშმარიტების სიმრავლეთა ნამრავლს ემთხვევა. აქედან გამომდინარეობს, რომ სიმრავლეთა ალგებრის ჩვენთვის ცნობილი ყველა წესი შეიძლება გადავიყვანოთ გამოთქმათა ალგებრის ენაზე. მაგალითად:

$$a+b=b+a, \qquad ab=ba;$$
$$(a+b)+c=a+(b+c), \qquad (ab)c=a(bc);$$
$$(a+b)c=ac+bc, \qquad ab+c=(a+c)(b+c);$$
$$a+o=a, \qquad ai=a;$$
$$ao=o, \qquad a+i=i;$$
$$a+a=a, \qquad aa=a \text{ და ა. შ.}$$

მაგალითისათვის დავამტკიცოთ დისტრიბუტიულობის პირველი კანონი, ე. ი. ტოლობა:

$$(a+b)\,c=ac+bc.$$

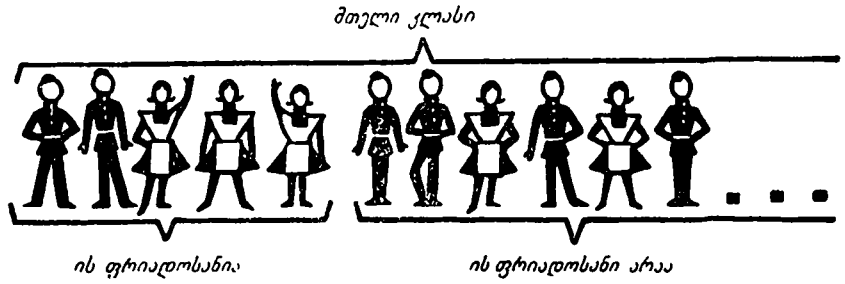
ჩვენი პირობის შესაბამისად a, b და c გამოთქმათა ჭეშმარიტების სიმრავლეები აღინიშნება A, B და C სიმბოლოებით. ამასთან, $(a+b)c$ გამოთქმას აქვს თავისი ჭეშმარიტების სიმრავლე $(A+B)C$; $ac+bc$ გამოთქმას აქვს თავისი ჭეშმარიტების სიმრავლე $AC+BC$. მაგრამ $(A+B)C$ და $AC+BC$ სიმრავლეები ერთმანეთს ემთხვევა. ეს ნიშნავს, რომ $(a+b)c$ და $ac+bc$ გამოთქმები ეკვივალენტურია.

გამოთქმათა ალგებრის კანონები იმ ფორმითაც ჩავწეროთ, როგორც მათემატიკური ლოგიკის სახელმძღვანელოშია მოყვანილი:

$$a\vee b=b\vee a,$$
$$(a\vee b)\vee c=a\vee(b\vee c),$$
$$(a\vee b)\wedge c=(a\wedge c)\vee(b\wedge c),$$
$$a\wedge b=b\wedge a,$$
$$(a\wedge b)\wedge c=a\wedge(b\wedge c),$$
$$(a\wedge b)\vee c=(a\vee c)\wedge(b\vee c).$$
$$a\vee o=a, \qquad a\wedge i=a,$$
$$a\wedge o=o, \qquad a\vee i=i,$$
$$a\vee a=a, \qquad a\wedge a=a.$$

უარყოფა. შედეგის დამოკიდებულება

განვაგრძოთ „გამოთქმათა ალგებრის“ აგება. სიმრავლეთა შესწავლისას სიმრავლეთა შეკრების და გამრავლების ოპერაციებთან ერთად განვიხილავდით აგრეთვე „დამატების აღების“ ოპერაციას, რომელიც ყოველ A სიმრავლეს უსაბამებს მის $\bar{A}$ დამატებას. ამ ოპერაციას უპასუხებს გამოთქმათა ალგებრის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ოპერაცია, რომელიც ყოველ a გამოთქმას უსაბამებს ახალ $\bar{a}$ გამოთქმას. $\bar{a}$ გამოთქმას ეწოდება a-ს უარყოფა. გრამატიკულად $\bar{a}$ უარყოფა მიიღება გამოთქმიდან ნაწილაკ „არ“-ის საშუალებით. მაგალითად, „ის ფრიადოსანია“ გამოთქმის უარყოფაა გამოთქმა: „ის არ არის ფრიადოსანი“. $\bar{a}$ გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე არის a გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლის დამატება (ნახ. 30); ეს მტკიცება შეიძლება უარყოფის განსაზღვრად მივიღოთ.

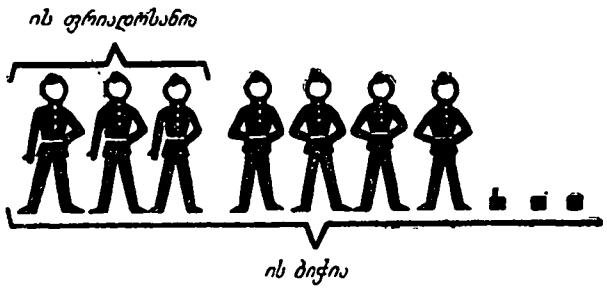


ნახ. 30.

სიმრავლეთა დამატებების ალგებრულ თვისებებს ერთბაშად მივყავართ მტკიცებამდე, რომელიც დაკავშირებულია გამოთქმათა უარყოფასთან:

$$a+\bar{a}=i, \qquad \bar{a}\bar{a}=o;$$
$$\bar{i}=o, \qquad \bar{o}=i;$$
$$\bar{\bar{a}}=a;$$
$$\overline{a+b}=\bar{a}\bar{b}, \qquad \overline{ab}=\bar{a}+\bar{b}.$$

დასასრულ, შემოვიღოთ $\supset$ დამოკიდებულება, რომელიც აკავშირებს ორ გამოთქმას. სახელდობრ, დავწეროთ $a\supset b$ (ანუ $b\subset a$) და ვიტყვით, რომ a გამოთქმა b გამოთქმიდან გამომდინარეობს, ან a არის b-ს შედეგი, თუ a გამოთქმის ჭეშმარიტების A სიმრავლე შეიცავს b გამოთქმის ჭეშმარიტების B სიმრავლეს, ე. ი. თუ $A\supset B$ (ანუ $B\subset A$). მაგალითად, თუ კლასის ფრიადოსანთა სიმრავლეს შეადგენს მოსწავლეები: ზურაბი, გია, ლევანი, მა-



ნახ. 31.

შინ გამოთქმა „ის ბიჭია“ წარმოადგენს „ის ფრიადოსანია“ გამოთქმის შედეგს (ნახ. 31). შედეგის დამოკიდებულებას ასეთი აზრი აქვს: თუ $a \supset b$ და ჩვენ ვიცით, რომ b გამოთქმა ჭეშმარიტია, მაშინ უეჭველად ჭეშმარიტია a გამოთქმაც. ამგვარად, ზემოთ განხილულ მაგალითში „ის ფრიადოსანია“ გამოთქმის ჭეშმარიტება ნიშნავს, რომ ლაპარაკია ერთ-ერთ მოსწავლეზე — ზურაბზე, გიაზე, ან ლევანზე, მაგრამ მაშინ ჭეშმარიტია გამოთქმაც — „ის ბიჭია“.

სიმრავლეთა ალგებრის ცნობილი თვისებებიდან, რომლებიც დაკავშირებულია $\supset$ დამოკიდებულებასთან, გამომდინარეობს, რომ:

თუ $a \supset b$ და $b \supset c$, მაშინ $a \supset c$;
თუ $a \supset b$, მაშინ $a + b = a$, $ab = b$;
თუ $a \supset b$, მაშინ $\bar{a} \subset \bar{b}$.

აზრის კანონები

ახლა ჩვენ შეგვიძლია ვუპასუხოთ კითხვაზე, თუ რატომ მიეძღვნა „აზრთა კანონების“ გარკვევას ჯ. ბულის თხზულება, რომელშიც პირველად აიგო ბულის ალგებრა. საქმე ისაა, რომ გამოთქმათა ალგებრის წესები ის კანონებია, რომლებიც მთავარ როლს ასრულებენ ჩვენი აზროვნების პროცესში.

ამ კანონებიდან ბევრს ლოგიკაში სპეციალური სახელწოდება აქვს. მაგალითად,

$$a + \bar{a} = i$$

დამოკიდებულება ეგრეთ წოდებულ მესამე გამორიცხულის კანონს გამოსახავს. ეს კანონი შეიძლება ასე ჩამოვაყალიბოთ: ყოველი მტკიცებისა და მისი უარყოფის ჯამი იგივურად ჭეშმარიტია, სხვანაირად რომ ვთქვათ, გამოთქმა ან მისი უარყოფა ყოველთვის ჭეშმარიტია. მაგალითად, იგივურად ჭეშმარიტია მტკიცება „ის ფრიადოსანია ან არ არის ფრიადოსანი“. მართლაც, უნივერსალური სიმრავლის ყოველი ელემენტისათვის აუცილებლად სამართლიანია ან a გამოთქმა, ან მისი $\bar{a}$ უარყოფა — მესამე არ არის მოცემული.

$a\bar{a} = 0$ დამოკიდებულება წინააღმდეგობის კანონს გამოსახავს. ამ კანონის თანახმად, არც ერთი ობიექტისათვის არ შეიძლება ერთდროულად მართებული იყოს a მტკიცება და მისი $\bar{a}$ უარყოფა. მაგალითად, არც ერთი მოსწავლე არ შეიძლება ერთდროულად ფრიადოსანიც იყოს და არა ფრიადოსანიც. მაგრამ თუ a და $\bar{a}$ გამოთქმები არ შეიძლება ერთდროულად ჭეშმარიტი იყოს, მაშინ მათი $a\bar{a}$ ნამრავლი იგივურად მცდარია, ე. ი. $a\bar{a}$ გამოთქმის ჭეშმარიტების სიმრავლე ცარიელია.

$\bar{\bar{a}} = a$ დამოკიდებულება კარგად ცნობილი ორმაგი უარყოფის კანონს გამოსახავს. ეს კანონი ამტკიცებს, რომ უარყოფის უარყოფა საწყის გამოთქმას ემთხვევა. მაგალითად, „ეს მოსწავლე ბიჭია“ გამოთქმის უარყოფა არის გამოთქმა „ეს მოსწავლე გოგონაა“, ხოლო ორმაგი უარყოფა „ეს მოსწავლე გოგონა არ არის“ გვაბრუნებს საწყის გამოთქმასთან — „ის ბიჭია“.

ანალოგიური ხასიათი აქვს გამოთქმათა ალგებრის ყველა სხვა წესსაც, რომლებიც ამა თუ იმ მტკიცებათა ეკვივალენტობას ადგენს. თვალსაჩინოებისათვის მოვიყვანოთ მაგალითები.

დისტრიბუტიულობის პირველი კანონი ამტკიცებს, რომ $(a + b)c$ და $ac + bc$ გამოთქმები ერთი და იგივეა. ვთქვათ, a არის გამოთქმა — „მან (მოსწავლემ) იცის ჭადრაკის თამაში“, b კი — „მან იცის შაშის თამაში“ და c — „ის ფრიადოსანია“. ასეთ შემთხვევაში $(a + b)c$ გამოთქმას შემდეგი აზრი აქვს: „მან იცის ჭადრაკის ან შაშის თამაში და, ამას გარდა, ფრიადოსანია“, ხოლო $ac + bc$ გამოთქმას ასეთი აზრი აქვს: „მან იცის ჭადრაკის თამაში და ფრიადოსანია, ან მან იცის შაშის თამაში და ფრიადოსანია“. მაგრამ ცხადია, ეს ორი გამოთქმა არსებითად ერთსა და იმავეს აღნიშნავს.

დისტრიბუტიულობის მეორე კანონი აღნიშნავს, რომ $ab + c$ და $(a + c)(b + c)$ გამოთქმები ეკვივალენტურია. თუ a, b და c გამოთქმებს იგივე აზრი აქვს, რაც ზემოთ ჰქონდა, მაშინ $ab + c$ აღ-

ნიშნავს: „მან იცის შაშის და ჭადრაკის თამაში ან ფრიადოსანია“. $(a + c)\,(b + c)$ გამოთქმას შემდეგი აზრი აქვს: „მან იცის ჭადრაკის თამაში ან ფრიადოსანია; ამასთან ერთად, მან იცის შაშის თამაში ან ფრიადოსანია“. მაგრამ ადვილი გასაგებია, რომ უკანასკნელი გამოთქმა არსებითად პირველ გამოთქმას ემთხვევა — თუ მოწაფე, რომელზედაც აქა გვაქვს ლაპარაკი, ფრიადოსანი არ არის, მაშინ მან აუცილებლად იცის ჭადრაკის და შაშის თამაში.

ბოლოს, შევჩერდეთ ეგრეთ წოდებულ დე მორგანის წესებზე:

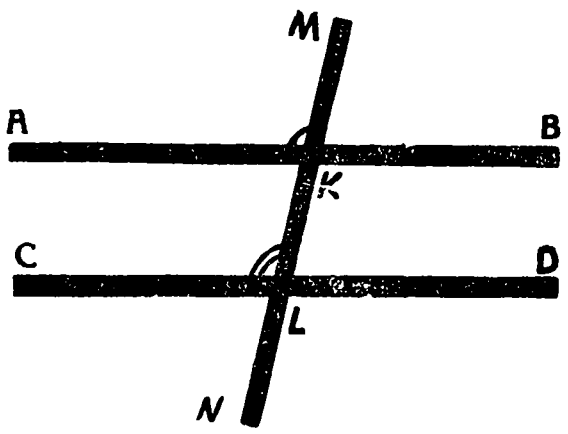
$$\overline{a + b} = \bar{a}\bar{b} \text{ და } \overline{ab} = \bar{a} + \bar{b}$$

(ამ წესებს ეწოდა XIX საუკუნის ინგლისელი ლოგიკოსის ა. დე მორგანის სახელი, რომელმაც ისინი პირველად დაადგინა). ვთქვათ, მაგალითად, a არის გამოთქმა: „მან იცის ჭადრაკის თამაში“, b კი — „მან იცის შაშის თამაში“. ამ შემთხვევაში რთული გამოთქმა $\overline{a + b}$ არის იმისი უარყოფა, რომ მოსწავლემ ჭადრაკის ან შაშის თამაში იცის. მაგრამ ეს უარყოფა, ცხადია, ეკვივალენტურია იმ მტკიცებისა, რომ მოსწავლემ არც ჭადრაკისა და არც შაშის თამაში არ იცის, ე. ი. ეკვივალენტურია $\bar{a}\bar{b}$ გამოთქმისა. ანალოგიურად, უარყოფა იმ მტკიცებისა, რომ მოსწავლემ იცის ჭადრაკისა და შაშის თამაში (ე. ი. $\overline{ab}$ გამოთქმა) ტოლძალოვანია იმ მტკიცებისა, რომ მან არ იცის ჭადრაკის ან შაშის თამაში. სწორედ ეს არის გამოთქმა $\bar{a} + \bar{b}$.

დასკვნის წესები

დასასრულ, ვიტყვით რამდენიმე სიტყვას იმ წესებზე, რომლებიც $\supset$ დამოკიდებულებასთან არის დაკავშირებული.

იმის დადგენას, რომ ორი a და b გამოთქმა $a \supset b$ დამოკიდებულებით არის დაკავშირებული, დასკვნა ეწოდება; ამასთან b გამოთქმას პირობა ეწოდება, a გამოთქმას კი — შედეგი. ასეთი სახის დასკვნებს ყოველთვის ვხვდებით მეცნიერებასა და ცხოვრებაში: მაგალითად, ყოველი თეორემის დასკვნა თეორემის პირობის შედეგია. დასკვნის სისწორე უზრუნველყოფილია ლოგიკის გარკვეული წესების დაცვით. ლოგიკის ეს

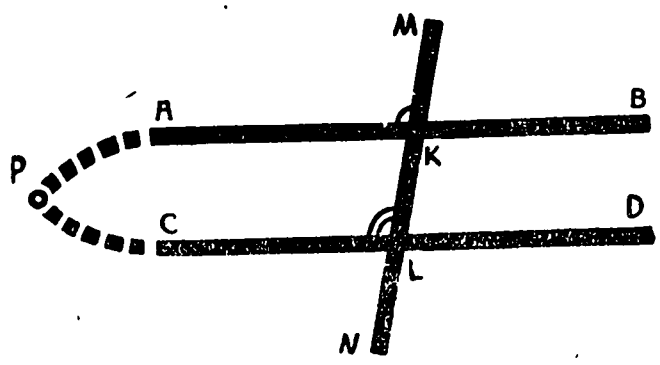


ნახ. 32.

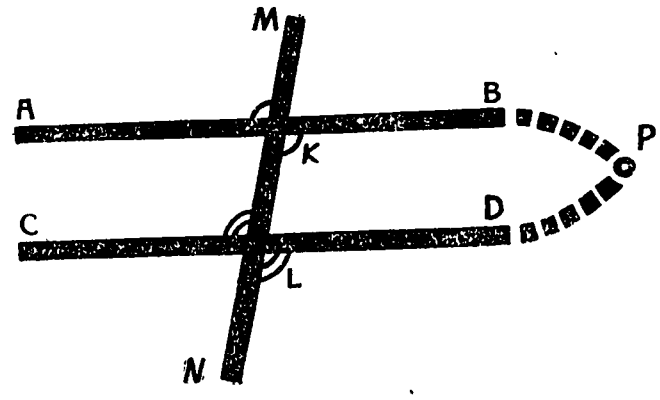
წესები შეიძლება დასაბუთებულ იქნას გამოთქმათა ალგებრის დამოკიდებულებათა საშუალებით.

ჩვენთვის უკვე ცნობილი დამოკიდებულება: თუ $a \supset b$ და $b \supset c$, მაშინ $a \supset c$, ასე იკითხება: თუ b-დან გამომდინარეობს a და c-დან b, მაშინ c-დან გამომდინარეობს a. ამ დამოკიდებულებას მსჯელობაში ძალიან ხშირად იყენებენ. მაგალითად, რამდენადაც თეორემა — „სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი 180°-ის ტოლია“ — გამომდინარეობს პარალელური წრფეების აქსიომიდან, ხოლო თეორემა — „სამკუთხედის გარე კუთხე მისი არამოსაზღვრე კუთხეების ჯამი ტოლია“ — სამკუთხედის კუთხეთა ჯამის თეორემიდან, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ სამკუთხედის გარე კუთხის თეორემა პარალელურობის აქსიომის შედეგია.

დამოკიდებულება: თუ $a \supset b$, მაშინ $\bar{b} \supset \bar{a}$, ასე იკითხება: თუ b გამოთქმიდან გამომდინარეობს a, მაშინ a გამოთქმის უარყოფიდან გამომდინარეობს b გამოთქმის უარყოფა. ეს საფუძვლად უდევს მეტად გავრცელებულ „საწინააღმდეგოდან“ დასკვნის (ანუ დამტკიცების) მეთოდს. ვთქვათ, ჩვენ გვინდა დავამტკიცოთ თეორემა (ნახ. 32): თუ შესაბამისი AKM და CLM კუთხეები, რომლებიც შედგენილია AB და CD წრფეებით MN კვეთთან, თანატოლია (ეს არის a მტკიცება), მაშინ AB და CD წრფეები პარალელურია (ეს არის b მტკიცება). იმის ნაცვლად, რომ დავამტკიცოთ დამოკიდებულება $a \subset b$, დავამტკიცოთ, რომ $\bar{a} \supset \bar{b}$, ე. ი. b გამოთქმის უარყოფიდან გამომდინარეობს a გამოთქმის უარყოფა. ვთქვათ, AB და CD წრფეები პარალელური არ არის, ე. ი. ისინი გადაიკვეთებიან რომელიმე P წერტილში (ნახ. 33, ა, ბ). მაშინ AKM და CLM კუთხეები



ნახ. 33, ა.



ნახ. 33, ბ.

ტოლი არ იქნება (ესენია PKL სამკუთხედის გარე კუთხე და მისი არამოსაზღვრე შიგა კუთხე). ამგვარად, $\overline{a} \supset \overline{b}$ დამოკიდებულება დამტკიცებულია; ამით დამტკიცებულია $a \subset b$ დამოკიდებულებაც (ზუსტად რომ ვთქვათ, აქ $\overline{a} \supset \overline{b}$ დამოკიდებულებისათვის უნდა გამოვიყენოთ ლოგიკის ალგებრის განსახილავი წინადადება და ვისარგებლოთ ორმაგი უარყოფის კანონით: თუ $\overline{a} \supset \overline{b}$, მაშინ $\overline{\overline{a}} \subset \overline{\overline{b}}$, ე. ი. $a \subset b$).

ამ მაგალითებიდანაც ნათლად ჩანს ლოგიკის ალგებრის წესების მნიშვნელობა ნებისმიერი მეცნიერული თეორიისათვის. უკანასკნელ წლებში ამ წესების როლი განსაკუთრებულად გაიზარდა იმასთან დაკავშირებით, რომ მთელი რიგი ოპერაციებისა, რომლებსაც ადამიანები ასრულებდნენ, ელექტრონულ გამოთვლით მანქანებს გადაეცა. ამასთან აუცილებელი გახდა, მანქანებისათვის შეესწავლებინათ ლოგიკის წესები, მაგრამ იმისათვის რომ შესაძლებელი იყოს ამ წესების მანქანის „ელექტრონულ მეხსიერებაში“ ჩაწყობა, აუცილებელია ამ წესების ზუსტად ჩამოყალიბება. ამ ზუსტად ჩამოყალიბებულ წესებს გვაწვდის მათემატიკური ლოგიკა.

ვექტორთა ალგებრა

მიმართული მონაკვეთების არითმეტიკა

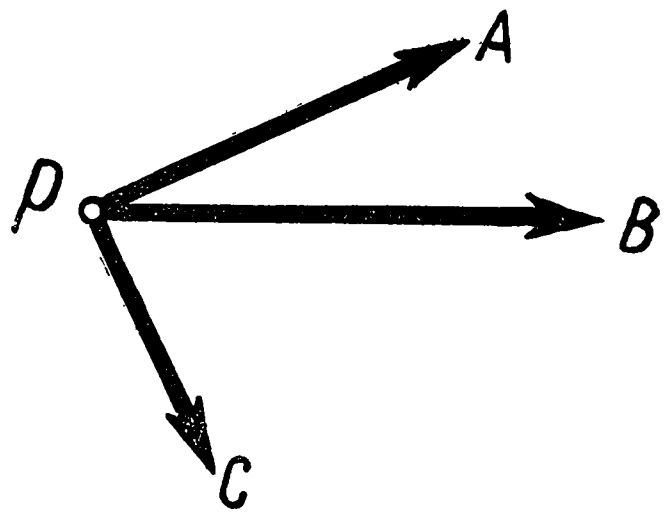
მიმართული მონაკვეთები — ვექტორები

ავიღოთ სივრცეში რომელიმე წერტილი P და განვიხილოთ სხვადასხვა მონაკვეთები PA, PB, PC, .., რომელთა სათავე P წერტილში მდებარეობს, ბოლოები კი სივრცის რომელიღაც A, B, C,.. წერტილებში (ნახ. 1). ამრიგად, ყოველ მონაკვეთზე გამოიყოფა გარკვეული მიმართულება, რომელიც P წერტილიდან (ყველა განსახილავი მონაკვეთის საერთო სათავიდან) მონაკვეთის ბოლოსაკენ მიემართება. ამიტომ მათ უწოდებენ მონაკვეთებს კი არა, არამედ მიმართულ მონაკვეთებს, რომლებიც მოცემულ P წერტილზეა მოდებული; ამ გარემოების ხაზგასასმელად მათ აღნიშნავენ სიმბოლოებით

$$\overrightarrow{PA},\ \overrightarrow{PB},\ \overrightarrow{PC},\ \dots,$$

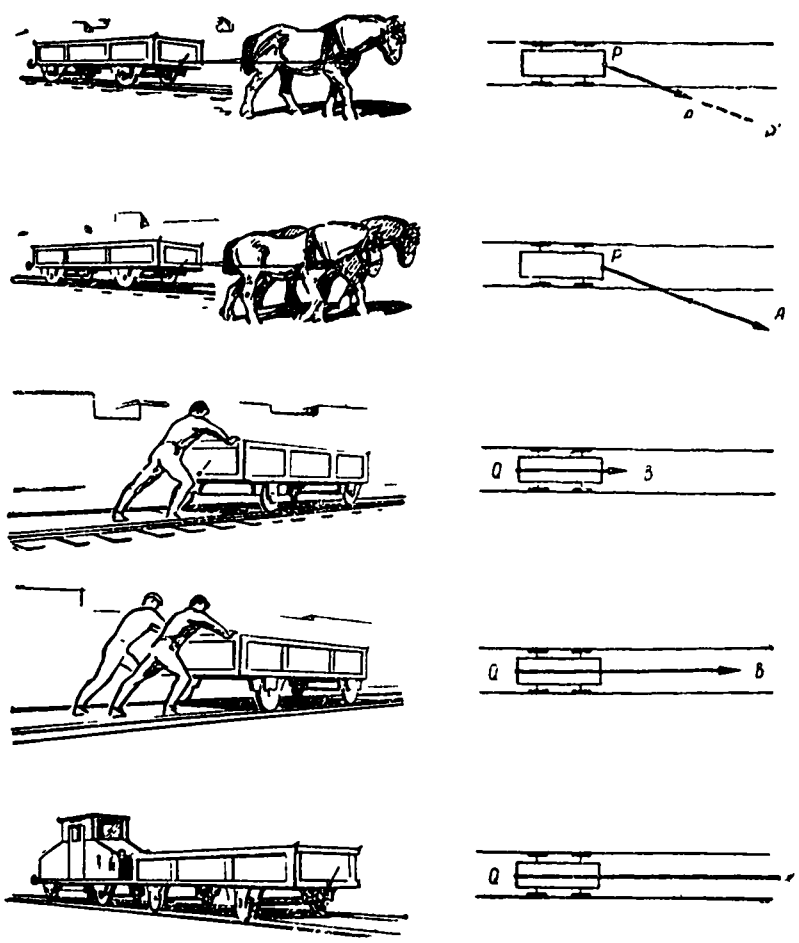
ე. ი. მონაკვეთზე სვამენ ისარს. ყოველ მიმართულ მონაკვეთს აგრეთვე მოკლედ „ვექტორს“ უწოდებენ.

ვექტორებისადმი ინტერესი დიდი ხანია გაჩნდა მეცნიერებაში. ჯერ კიდევ XVII ს. დასაწყისში ჰოლანდიელმა მეცნიერმა ს. სტევინმა ვექტორები გამოიყენა ძალის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად. რადგანაც მყარი სხეულის რომელიღაც P წერტილზე მოდებულ ყოველ ძალას აქვს სავსებით გარკვეული მიმართულება, ამიტომ ამ ძალის გეომეტრიული გამოსახვის მიზნით ხელსაყრელია ვი-



ნახ. 1.

სარგებლოთ PP' სხივით, რომელსაც იგივე მიმართულება აქვს, რაც ძალას: ამ სხივზე გადავზომოთ P წერტილიდან მიმართული მონაკვეთი $\overrightarrow{PA}$; ამ მონაკვეთის სიგრძე (გამოსახული, მაგალითად, მილიმეტრებში) უდრის რიცხვს, რომელიც ზომავს განსახილავი ძალის სიდიდეს (ვთქვათ, კგ-ით გამოსახულს). ამრიგად, მყარი სხეულის წერტილზე მოდებული ყოველი ძალა თავისი ვექტორით გამოისახება (ნახ. 2).

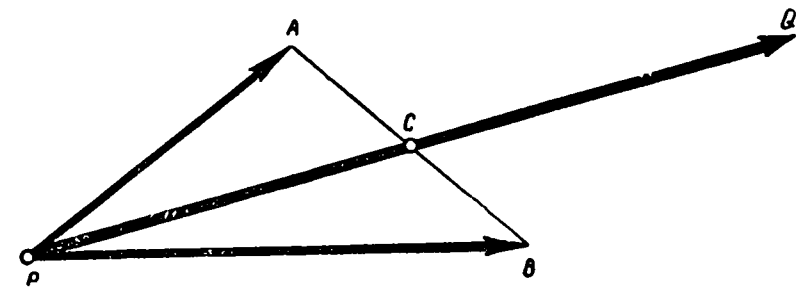


ნახ. 2. ძალის სიდიდე და მიმართულება შეიძლება გამოისახოს ვექტორით.

P წერტილში მოდებული ვექტორების შეკრების წესი

$\overrightarrow{PA}$ ვექტორს (პირველი შესაკრები) $\overrightarrow{PB}$ ვექტორი (მეორე შესაკრები) რომ მივუმატოთ, მოვიქცეთ შემდეგნაირად (ნახ. 3): ა) ავაგოთ AB მონაკვეთის შუა C წერტილი; ბ) ავაგოთ Q წერტილი, რომელიც P წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ. მიღებულ $\overrightarrow{PQ}$ ვექტორს ვუწოდოთ $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PB}$ ვექტორების ჯამი და ეს დავწეროთ ასე:

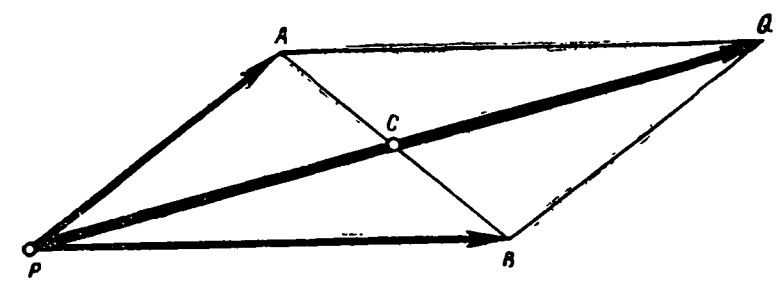
$$\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} = \overrightarrow{PQ}. \qquad (1)$$



ნახ. 3. ვექტორების შეკრება შუა წერტილის წესით: $\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB}$.

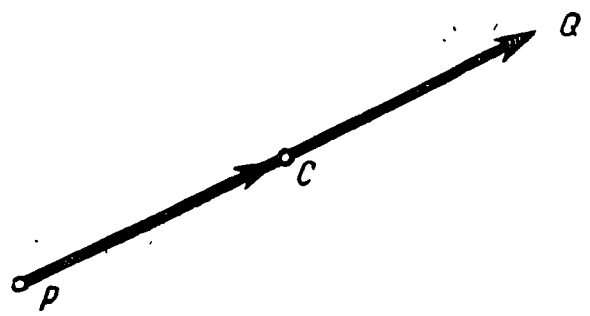
ვექტორების შეკრების აღწერილ წესს შუა წერტილის წესი ეწოდება.

თუ შესაკრები ვექტორები $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PB}$ ერთ წრფეზე არ მდებარეობენ, მაშინ, როგორც ადვილად შევამჩნევთ მე-4 ნახაზიდან, $\overrightarrow{PQ}$ ვექტორი, რომელიც მოცემული ვექტორების ჯამია, წარმოადგენს იმ პარალელოგრამის დიაგონალს, რომლის გვერდებია $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PB}$ ვექტორები (მართლაც, $PAQB$ ოთხკუთხედში დიაგონალები AB და PQ ერთმანეთს შუაზე ყოფენ; ეს თვით შუა წერტილის წესიდან გამომდინარეობს).



ნახ. 4. ვექტორების შეკრება პარალელოგრამის წესით: $\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB}$.

ამრიგად, თუ $\vec{PA}$ და $\vec{PB}$ ვექტორები ერთ წრფეზე არ მდებარეობენ, მაშინ ამ ვექტორების ჯამის მოსაძებნად შეგვიძლია შუა წერტილის წესის ნაცვლად გამოვიყენოთ შემდეგი წესი: ავაგოთ $PAQB$ პარალელოგრამი, რომლის გვერდებია $\vec{PA}$ და $\vec{PB}$ ვექტორები, ე. ი. პირველი შესაკრების A ბოლოდან გავავლოთ მეორე შესაკრები ვექტორის პარალელური წრფე, ხოლო მეორე შესაკრების B ბოლოდან გავავლოთ პირველი შესაკრები ვექტორის პარალელური წრფე. აგებულ წრფეთა გადაკვეთის Q წერტილი იქნება ბოლო წერტილი $\vec{PQ}$ ვექტორისა, რომელიც წარმოადგენს $\vec{PA}$ და $\vec{PB}$

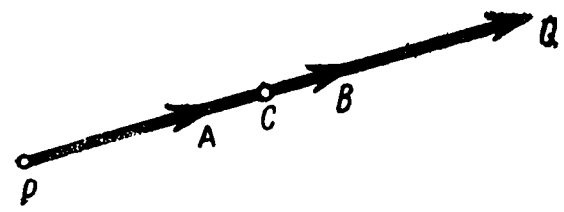


ნახ. 4 ა. ორი ტოლი ვექტორის ჯამი:
$\vec{PC} + \vec{PC} = 2\vec{PC} = \vec{PQ}$.

შესაკრებთა ჯამს. მოკლედ, ეს წესი ასე შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ: ორი ვექტორის ჯამი არის ვექტორი, რომელიც შესაკრებ ვექტორებზე აგებული პარალელოგრამის დიაგონალს წარმოადგენს.

ვექტორთა შეკრების ამ წესს პარალელოგრამის წესი ეწოდება. ღრონდ ეს წესი გამოუსადეგარია, როცა შესაკრები ვექტორები ერთ წრფეზე მდებარეობენ. ასეთ ვექტორებს კოლინეარული ეწოდება; ამ შემთხვევაში გამოიყენება შუა წერტილის წესი.

განვიხილოთ, მაგალითად, შემთხვევა, როცა $\vec{PC}$ ვექტორი უნდა მიემატოს თავის თავს, ე. ი. როცა $\vec{PC} + \vec{PC}$ ჯამია მოსაძებნი (ნახ. 4 ა). გამოვიყენოთ შუა წერტილის წესი: ა) შესაკრებ ვექტორთა ბოლოების შემაერთებელი CC მონაკვეთის შუა წერტილი არის C წერტილი; ბ) რჩება იმ Q წერტილის აგება, რომელიც P წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ. იგი PQ მონაკვეთის ბოლო იქნება; ამ მონაკვეთის შუა წერტილია C. ამრიგად, $\vec{PC} + \vec{PC}$ ვექტორს აქვს $\vec{PC}$ ვექტორის მიმართულება და ორჯერ მეტი სიგრძე, ვიდრე $\vec{PC}$ ვექტორს. ეს ვექტორი — ორი ერთნაირი შესაკრების ჯამი — აღინიშნება სიმბოლოთი $2 \cdot \vec{PC}$. ამრიგად:

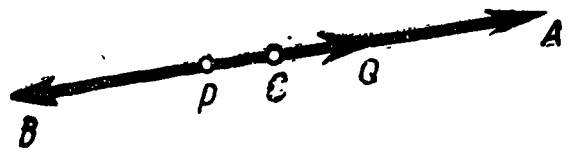


ნახ. 4 ბ. ერთნაირად მიმართული კოლინეარული ვექტორების შეკრება: $\vec{PA} + \vec{PB} = \vec{PQ}$.

$$\vec{PC} + \vec{PC} = 2 \cdot \vec{PC}. \qquad (2)$$

სასარგებლოა დავიმახსოვროთ (ეს მომავალში დაგვჭირდება), რომ თუ Q წერტილი P წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ, მაშინ

$$\vec{PQ} = 2 \cdot \vec{PC}.$$



ნახ. 4 გ. საწინააღმდეგოდ მიმართული კოლინეარული ვექტორების შეკრება: $\vec{PA} + \vec{PB} = \vec{PQ}$.

ამ ფორმულას ჩაწერენ აგრეთვე შემდეგნაირადაც:

$$\vec{PC} = \frac{1}{2} \cdot \vec{PQ}. \qquad (3)$$

ახლა დავუბრუნდეთ ისეთ შემთხვევას, როცა უნდა შეიკრიბოს ორი ნებისმიერი კოლინეარული ვექტორი (მიმართული ერთნაირად, ან საწინააღმდეგოდ). თუ გამოვიყენებთ შუა წერტილის წესს, მივიღებთ შემდეგ შედეგს: ორი ერთნაირად მიმართული $\vec{PA}$ და $\vec{PB}$ (ნახ. 4 ბ.) ვექტორების [1] შეკრებისას მიიღება $\vec{PQ}$ ვექტორი, რომელსაც იგივე მი-

[1] ე. ი. ისეთების, რომ P, A, B წერტილები ისეა განლაგებული ერთ წრფეზე, P წერტილი AB მონაკვეთის გარეთ მდებარეობს.

მართულება აქვს, როგორიც შესაკრებ ვექტორებს, მისი სიგრძე კი შესაკრები ვექტორების სიგრძეთა ჯამს უდრის; ორი საწინააღმდეგოდ მიმართული $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PB}$ ვექტორების[1] (ნახ. 4 გ) შეკრებისას მიიღება ვექტორი, რომელსაც ისეთივე მიმართულება აქვს, როგორც მეტი სიგრძის მქონე შესაკრებ ვექტორს; მისი სიგრძე შესაკრები ვექტორების სიგრძეთა სხვაობას უდრის.

ტოლქმედი ძალა

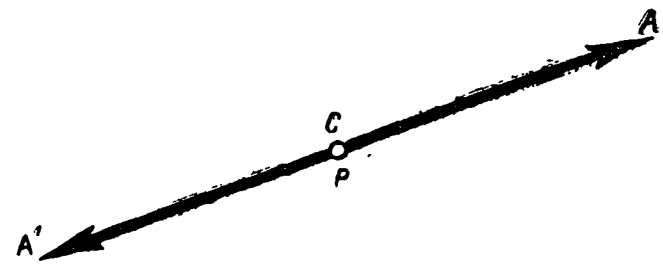
ჩვენს მიერ განხილულ ვექტორთა შეკრების წესს არა მარტო მათემატიკაში იყენებენ, არამედ იგი ფიზიკაშიც დიდ როლს ასრულებს. თუ რომელიღაც P წერტილში ორი ძალაა მოდებული, მაშინ, როგორც ცნობილია, მათი ერთობლივი მოქმედება რომელიღაც ერთი ძალის (ასევე P წერტილში მოდებული ძალის) ტოლია და მას ტ ო ლ ქ მ ე დ ს უწოდებენ. მრავალი ფიზიკური ცდა და მოვლენა შემდეგი კანონის ჭეშმარიტებას ადასტურებს: თუ P წერტილში მოდებულია ორი ძალა, რომელიც $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PB}$ ვექტორებით გამოისახება, მაშინ ამ ძალების ტოლქმედი გამოისახება $\overrightarrow{PQ}$ ვექტორით, რომელიც $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PB}$ ვექტორების ჯამს უდრის.

განსაკუთრებული ვექტორი — ვექტორი ნული

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ვექტორთა შეკრების იმ შემთხვევას, რომელიც მე-5 ნახაზზეა გამოსახული.

აქ P წერტილი — ორივე შესაკრები $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PA'}$ ვექტორის საერთო სათავე — მდებარეობს ამ ვექტორების ბოლოების შემაერთებელი AA' მონაკვეთის შუაში. ასეთ ვექტორებს ურთიერთსაწინააღმდეგოს (ან ტოლსაწინააღმდეგოს) უწოდებენ. მათ აქვთ ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულება და ერთი და იგივე სიგრძე.

ამ ვექტორებისათვის გამოვიყენოთ შუა წერტილის წესი: ა) ავაგოთ AA' მონაკვეთის შუა C წერტილი; იგი, ცხადია, ემთხვევა P წერტილს; ბ) ავაგოთ Q წერტილი P წერტილის სიმეტრიული C წერტილის მიმართ, ე. ი. ამ შემთხვევაში P წერტილის მიმართ; ვღებულობთ, რომ Q წერტილიც ემთხვევა P წერტილს.



ნახ. 5. ორი ტოლსაწინააღმდეგო ვექტორის შეკრება:
$\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PA'} = \overrightarrow{PP}$.

ამრიგად, ორი ტოლსაწინააღმდეგო $\overrightarrow{PA}$ და $\overrightarrow{PA'}$ ვექტორების ჯამი არის $\overrightarrow{PP}$ ვექტორი:

$$\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PA'} = \overrightarrow{PP}, \qquad (4)$$

ე. ი. ვექტორი, რომლის ბოლო ემთხვევა სათავეს.

შეიძლება მკითხველმა პირველად უხდობლად შეხედოს ასეთ ვექტორს თუნდაც იმიტომ, რომ მას მიმართულება არა აქვს. მაგრამ ასეთი „განსაკუთრებული“ ვექტორის განხილვაზე უარი რომ ვთქვათ, მაშინ უნდა ვაღიაროთ, რომ შეუძლებელია ყოველგვარი ორი ვექტორის შეკრება, ეს კი, რასაკვირველია, არასასურველია.

ამრიგად, ნ ე ბ ი ს მ ი ე რ ი ორი P და A წერტილი, იმის დამოუკიდებლად, სხვადასხვანი არიან ისინი თუ ემთხვევიან ერთმანეთს, $\overrightarrow{PA}$ ვექტორს განსაზღვრავს.

საბოლოოდ რომ დავრწმუნდეთ „განსაკუთრებული“ ვექტორის სარგებლიანობაში, ვაჩვენოთ, რომ

$$\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PP} = \overrightarrow{PA} \qquad (5)$$

(ეს ადვილად გამომდინარეობს შუა წერტილის წესიდან). (5) ფორმულა გვიჩვენებს, რომ $\overrightarrow{PP}$ ვექტორი არითმეტიკაში ისეთივე როლს თამაშობს, როგორსაც რიცხვთა არითმეტიკაში რიცხვი ნული. ამ მიზეზით $\overrightarrow{PP}$ ვექტორს „ნულ ვექტორს“ უწოდებენ.

ყურადღება მივაქციოთ კიდევ იმას, რომ (4) ფორმულაში $\overrightarrow{PA'}$ ვექტორი ისეთივე როლს თამა-

[1] ე. ი. ისეთების, რომ P წერტილი AB მონაკვეთის შიგნით მდებარეობს.

შობს, როგორსაც რიცხვი $-a$ ალგებრულ ფორმულაში:

$$a + (-a) = 0.$$

ამიტომ მიზანშეწონილია $\vec{PA}$ ვექტორის ტოლსაწინააღმდეგო $\vec{PA'}$ ვექტორი აღვნიშნოთ $-\vec{PA}$ სიმბოლოთი (სიტყვებით: „მინუს $\vec{PA}$“).

ახლა (4) ფორმულა შეიძლება შემდეგი სახით ჩაიწეროს:

$$\vec{PA} + (-\vec{PA}) = \vec{PP}. \qquad (4')$$

ადვილი გასაგებია, რომ

$$-(-\vec{PA}) = \vec{PA}. \qquad (4'')$$

ვექტორთა შეკრების ოპერაციის თვისებები

ემთხვევა თუ არა ისინი რიცხვთა შეკრების ოპერაციის თვისებებს?

დავიწყოთ შემოწმება კომუტატიურობის თვისებიდან. ძნელი არაა დავრწმუნდეთ, რომ

$$\vec{PA} + \vec{PB} = \vec{PB} + \vec{PA}$$

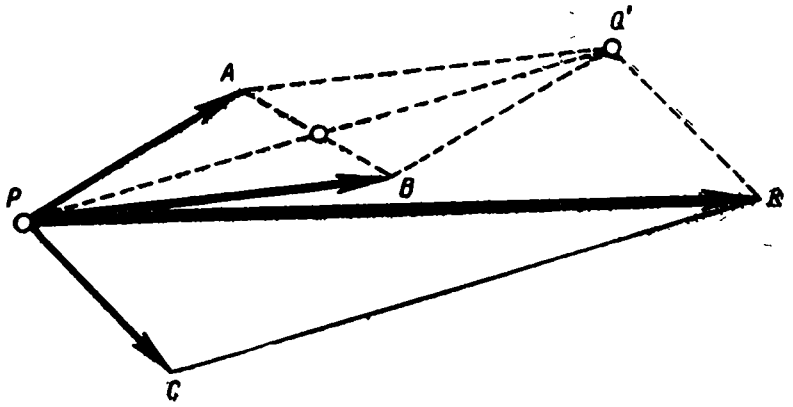
(AB მონაკვეთის შუა წერტილი ხომ იმავე დროს BA მონაკვეთის შუა წერტილია).

ახლა გამოვარკვიოთ: აქვს თუ არა ვექტორთა შეკრების ოპერაციას ასოციაციურობის თვისება, ე. ი. მართებულია თუ არა ტოლობა:

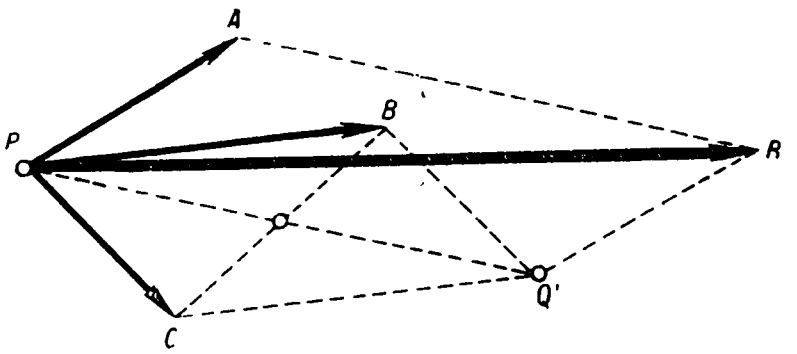
$$(\vec{PA} + \vec{PB}) + \vec{PC} = \vec{PA} + (\vec{PB} + \vec{PC}). \qquad (6)$$

შემოწმება რომელიმე მაგალითზე დავიწყოთ (ნახ. 6 ა, ბ). დავრწმუნდებით, რომ იმ მოქმედებებს $\vec{PA}$, $\vec{PB}$, $\vec{PC}$ ვექტორებზე, რომლებიც ნაჩვენებია (6) ფორმულის მარჯვენა ნაწილში, მივყავართ იგივე $\vec{PR}$ ვექტორამდე, რომელსაც გვაძლევს (6) ტოლობის მარცხენა ნაწილში ნაჩვენები მოქმედებანი.

გირჩევთ შეამოწმოთ (6) ფორმულის მართებულობა სხვა რომელიმე $\vec{PA'}$, $\vec{PB'}$, $\vec{PC'}$ ვექტორებისათვისაც.

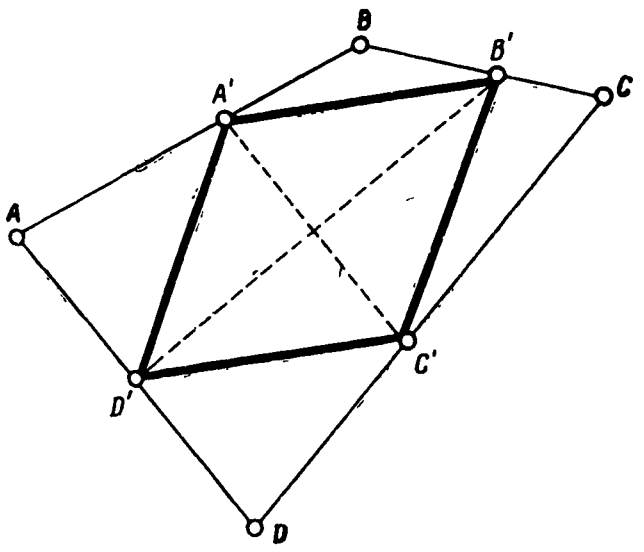


ნახ. 6 ა. $(\vec{PA} + \vec{PB}) + \vec{PC} = \vec{PR}$.



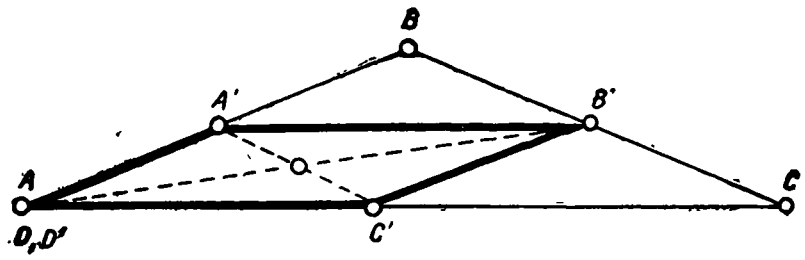
ნახ. 6 ბ. $\vec{PA} + (\vec{PB} + \vec{PC}) = \vec{PR}$.

შეგვიძლია თუ არა ახლა (6) ფორმულის მართებულობა დადგენილად ჩავთვალოთ? ვექტორთა შეკრების ასოციაციურობის თვისების მართებულობის შემოწმება უამრავი მაგალითითაც კი არ გვარწმუნებს ამ თვისებების მართებულობაში.



ნახ. 7 ა.

ამიტომ აუცილებელია მოცემულ იქნას ზუსტი დამტკიცება. ამისათვის გამოვიყენოთ ერთი უბრალო გეომეტრიული თეორემა: თუ A', B', C', D' ნებისმიერი ოთხკუთხედის (ამოუზნექავისაც კი) AB,



ნახ. 7 ბ.

BC, CD, DA გვერდების შუა წერტილებია, მაშინ $A'C'$ მონაკვეთის შუა წერტილი დაემთხვევა $B'D'$ მონაკვეთის შუა წერტილს (ე. ი. $A'B'C'D'$ ოთხკუთხედი არის პარალელოგრამი).

ამ თეორემას მკითხველი ადვილად დაამტკიცებს, თუ გამოიყენებს ცნობილ თეორემას სამკუთხედის შუა წრფის შესახებ. საჭიროა მხოლოდ მოთმინებით განვიხილოთ A, B, C, D ოთხი ნებისმიერი საწყისი წერტილის განლაგების სხვადასხვა შესაძლებელი შემთხვევები. ამ შემთხვევათაგან ორი ნაჩვენებია 7 ა და 7 ბ ნახაზებზე.

ახლა დავუბრუნდეთ (6) ფორმულის დამტკიცებას. ავიღოთ სამი ვექტორი PA, PB, PC (ნახ. 8 ა); ავაგოთ შესაბამისად A', B', C' წერტილები P წერტილის სიმეტრიული A, B. C წერტილების მიმართ, და $PA'B'C'$ ოთხკუთხედის $A'B'$ და $B'C'$ გვერდების შუა წერტილები M და N ასოებით აღვნიშნოთ.

ახლა მხედველობაში მივიღოთ, რომ AB მონაკვეთის შუა წერტილი ემთხვევა PM მონაკვეთის შუა წერტილს; ეს სამართლიანია ზემოთ მოყვანილი დამხმარე თეორემის ძალით, თუკი მას $PA'B'$ სამკუთხედის მიმართ გამოვიყენებთ (მეორე კერძო შემთხვევა; იგი მე-7 ბ ნახაზზეა ნაჩვენები). ამიტომ შუა წერტილის წესის თანახმად:

$$\vec{PA}+\vec{PB}=\vec{PM}.$$

ვთქვათ, R არის MC მონაკვეთის შუა წერტილი, R' კი P წერტილის სიმეტრიული წერტილი R წერტილის მიმართ. მაშინ

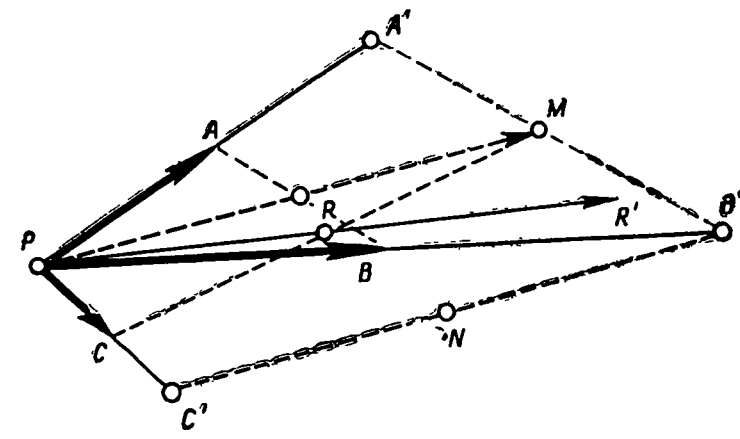
$$(\vec{PA}+\vec{PB})+\vec{PC}=\vec{PM}+\vec{PC}=\vec{PR'}.$$

ანალოგიურად გვაქვს (ნახ. 8 ბ): $\vec{PB}+\vec{PC}=\vec{PN}$, საიდანაც

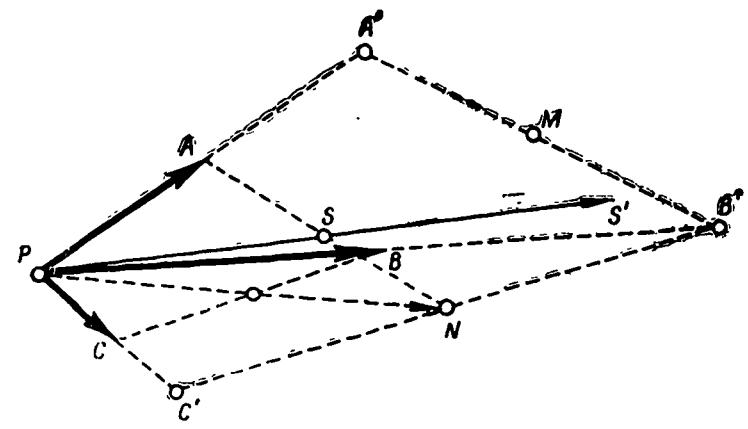
$$\vec{PA}+(\vec{PB}+\vec{PC})=\vec{PA}+\vec{PN}=\vec{PS'},$$

სადაც S' არის P წერტილის სიმეტრიული წერტილი AN მონაკვეთის შუა S წერტილის მიმართ.

ბოლოს, მხედველობაში მივიღოთ, რომ R და S წერტილები ერთმანეთს ემთხვევა; ეს სამართლიანია ზემოთ მოყვანილი დამხმარე თეორემის ძალით, თუ მას $PA'B'C'$ ოთხკუთხედის მიმართ გა-



ნახ. 8 ა.



ნახ. 8 ბ.

მოვიყენებთ. აქედან PR' ემთხვევა PS' და, მაშასადამე,

$$(\vec{PA}+\vec{PB})+\vec{PC}=\vec{PA}+(\vec{PB}+\vec{PC}),$$

რისი დამტკიცებაც საჭირო იყო.

მრავალი ვექტორის ჯამი

რა არის სამი ვექტორის ჯამი? პასუხი თითქოს ძალზე მარტივია — საკმარისია შევკრიბოთ ორი მათგანი და მიღებულ ვექტორს მივუმატოთ მე-

სამე. მაგრამ მაშინვე წამოიჭრება კითხვა: მოცემული სამი ვექტორიდან რომელი ორი ვექტორი უნდა შევკრიბოთ პირველ რიგში?

მაგრამ ახლა, როცა დავრწმუნდით ვექტორთა შეკრების კომუტატიურობისა და ასოციაციურობის თვისებების სამართლიანობაში, შეგვიძლია სამი $\vec{PA}$, $\vec{PB}$, $\vec{PC}$ ვექტორის ჯამის ცნება დავადგინოთ და არ ვიზრუნოთ სამი შესაკრებიდან რომელი ჩავთვალოთ პირველად, რომელი მეორედ, რომელი მესამედ.

მართლაც, ექვსივე შესაძლებელი შემთხვევა (ქსინი ცხრილშია ნაჩვენები) შედეგად მოგვცემს არა ექვს სხვადასხვა ვექტორს, არამედ ერთსა და იმავე $\vec{PS}$ ვექტორს; ეს ადვილად გამომდინარეობს ჩვენს მიერ დამტკიცებული ვექტორთა შეკრების ოპერაციის ორი თვისებიდან.

პირველი შესაკრები	მეორე შესაკრები	მესამე შესაკრები	ჯამი $\vec{PS}$
$\vec{PA}$	$\vec{PB}$	$\vec{PC}$	$(\vec{PA}+\vec{PB})+\vec{PC}$
$\vec{PA}$	$\vec{PC}$	$\vec{PB}$	$(\vec{PA}+\vec{PC})+\vec{PB}$
$\vec{PB}$	$\vec{PA}$	$\vec{PC}$	$(\vec{PB}+\vec{PA})+\vec{PC}$
$\vec{PB}$	$\vec{PC}$	$\vec{PA}$	$(\vec{PB}+\vec{PC})+\vec{PA}$
$\vec{PC}$	$\vec{PA}$	$\vec{PB}$	$(\vec{PC}+\vec{PA})+\vec{PB}$
$\vec{PC}$	$\vec{PB}$	$\vec{PA}$	$(\vec{PC}+\vec{PB})+\vec{PA}$

ახლა უკვე ძნელი არაა გავიგოთ, როგორ შევადგინოთ ოთხი $\vec{PA}$, $\vec{PB}$, $\vec{PC}$, $\vec{PD}$ ვექტორის ჯამიც (იმისდა მიუხედავად, როგორი რიგითაა ისინი მოცემული). ამოვარჩიოთ ამ ვექტორებიდან რომელიმე სამი (ვთქვათ, $\vec{PC}$, $\vec{PA}$, $\vec{PD}$) და შევადგინოთ მათი ჯამი: $\vec{PC}+\vec{PA}+\vec{PD}$. თუ ამ ჯამს მივუმატებთ დარჩენილ მეოთხე შესაკრებს, მივიღებთ ვექტორს:

$$(\vec{PC}+\vec{PA}+\vec{PD})+\vec{PB}=\vec{PS}_1.$$

შეკრება რომ სხვა სამი შესაკრებიდან დაგვეწყო, მივიღებდით კიდევ სამ შესაძლებელ ვექტორს:

$$(\vec{PB}+\vec{PC}+\vec{PD})+\vec{PA}=\vec{PS}_2,$$
$$(\vec{PD}+\vec{PA}+\vec{PB})+\vec{PC}=\vec{PS}_3,$$
$$(\vec{PA}+\vec{PB}+\vec{PC})+\vec{PD}=\vec{PS}_4.$$

ამ ოთხი $\vec{PS}_i$ ვექტორიდან რომელი შეიძლება დავასახელოთ ჩვენი ოთხი შესაკრების ჯამად?

ამ კითხვაზე ძნელი (და შეუძლებელიც კი) იქნებოდა პასუხის გაცემა, ორი ვექტორის შეკრების ოპერაციას კომუტატიურობისა და ასოციაციურობის თვისებები რომ არ გააჩნდეს. მაგრამ, საბედნიეროდ, ეს თვისებები არსებობს, მათგან კი ლოგიკურად გამომდინარეობს, რომ ოთხივე $\vec{PS}_i$ ვექტორი ერთმანეთის ტოლია.

ასე, მაგალითად:

$$(\vec{PC}+\vec{PA}+\vec{PD})+\vec{PB}=\{(\vec{PC}+\vec{PA})+\vec{PD}\}+$$
$$+\vec{PB}=(\vec{PC}+\vec{PA})+(\vec{PB}+\vec{PD}),$$
$$(PC\vec{+}\vec{PA}+\vec{PB})+\vec{PD}=\{(\vec{PC}+\vec{PA})+\vec{PB}\}+$$
$$+\vec{PD}=(\vec{PC}+\vec{PA})+(\vec{PB}+\vec{PD}).$$

ამ ფორმულის მარჯვენა ნაწილები ერთმანეთის ტოლია და. მაშასადამე,

$$(\vec{PC}+\vec{PA}+\vec{PD})+\vec{PB}=(\vec{PC}+\vec{PA}+\vec{PB})+\vec{PD}. \quad (7)$$

ახლა ადვილი გასაგებია, რომ ხუთი შესაკრების (ექვსი, შვიდი და ა. შ.) შეკრების შედეგი აგრეთვე არაა დამოკიდებული იმ რიგზე, რომლითაც ისინი შეიკრიბება. შეიძლება აგრეთვე დავრწმუნდეთ მრავალი შესაკრების ჯამის ასოციაციურობის თვისების სამართლიანობაში, ე. ი. დავამტკიცოთ, რომ ნებისმიერი რაოდენობის შესაკრები ვექტორების ჯამის მოსაძებნად ვექტორები დავყოთ ორ ჯგუფად: პირველ ჯგუფში მოვათავსოთ რომელიმე შესაკრებები, მეორეში კი ყველა დანარჩენი. ახლა თუ შევადგენთ პირველ ჯგუფში შემავალი ყველა შესაკრების ჯამს და მივუმატებთ მეორე ჯგუფში შემავალი ყველა შესაკრების ჯამს, მივიღებთ ვექტორს, რომელიც

ტოლი იქნება ყველა მოცემული ვექტორის ჯამისა.

შემდეგში მკითხველს გავაცნობთ ვექტორებზე სხვა არითმეტიკულ მოქმედებებსაც — ვექტორის გამოკლებას და ვექტორისა და რიცხვის გამრავლებას. ამ ოპერაციების ძირითად თვისებებს ჩვენ ზოგადი, ასოითი ფორმით ჩავწერთ და ამრიგად ვექტორული ალგებრის საფუძვლებს გავეცნობით.

ვექტორთა ალგებრა მხმარება გეომეტრიას

რატომ სწავლობენ ვექტორთა ალგებრას?

სწავლობენ იმიტომ, რომ იგი საშუალებას იძლევა ამოვხსნათ გეომეტრიული, მექანიკური და ფიზიკური ამოცანები, რომლებშიც ცხადი ფორმით (ზოგჯერ კი ფარულადაც) მონაწილეობენ მიმართული მონაკვეთები.

ჩვენ უკვე ვთქვით, რომ მექანიკასა და ფიზიკაში განხილული ძალები ფრიად თვალსაჩინოდ გამოისახება ვექტორებით; ასეთივე თვალსაჩინოებით ხასიათდება გადაადგილების, სიჩქარის ვექტორული გამოსახულება.

მაგრამ, ერთი შეხედვით, არც ისე ნათელია, თუ რა როლი შეუძლიათ ითამაშონ ვექტორებმა გეომეტრიის შესწავლისას; სწორედ ამ დარგში შეიძლება განსაკუთრებული წარმატებით გამოვიყენოთ ვექტორული ალგებრა ამოცანების ამოსახსნელად.

საქმე ისაა, რომ მრავალი გეომეტრიული პრობლემის შესწავლა დაიყვანება სივრცეში იმ ცალკეული წერტილების ურთიერთმდებარეობის შესწავლამდე, რომლებიც ამოცანაში განხილულ ნაკვთებს შეადგენენ. ამიტომ მიზანშეწონილი იქნება, ავირჩიოთ სივრცეში რომელიმე ერთი განსაზღვრული წერტილი (აღვნიშნოთ იგი P ასოთი და ვუწოდოთ საწყისი წერტილი, ანუ მოკლედ სათავე) და მიმართული მონაკვეთით შევაერთოთ შესასწავლი ნაკვთის ყოველ A, B, C წერტილთან.

ამრიგად, მივიღებთ ვექტორებს:

$$\vec{PA},\ \vec{PB},\ \vec{PC},\ \ldots,$$

ე. ი. M ნაკვთის ყოველ წერტილს ექნება თავისი ვექტორი $\vec{PM}$. მას M წერტილის რადიუს-ვექტორს[1] უწოდებენ და სავსებით ახასიათებს წერტილის მდებარეობას სათავის მიმართ.

გეომეტრიისათვის მნიშვნელოვანი ალგებრული ფორმულა

ეს ფორმულა ძალზე ადვილად მიიღება — საკმარისია (2) ფორმულის გამოყენებით ალგებრულად ჩავწეროთ შუა წერტილის წესი. თუ C წერტილი AB მონაკვეთის შუა წერტილია, მაშინ შუა წერტილის წესით:

$$\vec{PA} + \vec{PB} = \vec{PQ},$$

სადაც Q წერტილი P წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ. თუ გავითვალისწინებთ, რომ (2) ფორმულის ძალით

$$\vec{PQ} = 2 \cdot \vec{PC},$$

მივიღებთ გეომეტრიული გამოყენებისათვის მნიშვნელოვან ძირითად წესს:

$$\vec{PA} + \vec{PB} = 2 \cdot \vec{PC}. \qquad (8)$$

ძალზე სასარგებლოა მისი სიტყვიერი ფორმულირების დამახსოვრება: ორი რომელიმე წერტილის რადიუს-ვექტორების ჯამი უდრის ამ წერტილებით განსაზღვრული მონაკვეთის შუა წერტილის გაორკეცებულ რადიუს-ვექტორს. ამ ფორმულის ჩაწერა (იხ. (3) ფორმულა), შეიძლება შემდეგი სახითაც:

$$\vec{PC} = \frac{1}{2} \cdot (\vec{PA} + \vec{PB}), \qquad (8')$$

---

[1] ეს სახელწოდება, რომელიც პირველად კეპლერმა შემოიღო, დღემდე შემორჩა, თუმცა იგი მაინცდამაინც კარგი ვერაა; სიტყვა „ვექტორის“ წინასიტყვამ „რადიუსმა“ შეიძლება მკითხველს ყალბი წარმოდგენა შეუქმნას, რომ რადიუს-ვექტორთან ერთად განსახილველია რომელიღაც წრეწირი, მაგრამ ეს ასე როდია; მთელი ამბავი მხოლოდ ისაა, რომ არსებობს ერთიანი ცენტრი P (ჩვენ მას სათავე ვუწოდეთ), საიდანაც იწყება PA, PB, ... რადიუს-ვექტორები იმ წერტილებისა, რომლებსაც შევისწავლით.

ანუ სიტყვიერად: მონაკვეთის შუა წერტილის რადიუს-ვექტორი უდრის ამ მონაკვეთის ბოლოების რადიუს-ვექტორთა ჯამის ნახევარს.

(8) და (8′) ფორმულებით ჩაწერილია (ალგებრულ ენაზე) უბრალო გეომეტრიული ფაქტი: ნებისმიერი მონაკვეთის შუა წერტილის ურთიერთმდებარეობა ბოლოების მიმართ. ამ გარემოებას ძალზე მნიშვნელოვანი შედეგები აქვს — იგი საშუალებას გვაძლევს ალგებრულად ჩავწეროთ (როგორც მალე დავრწმუნდებით ამაში) უფრო რთული გეომეტრიული ფაქტებიც; აქედან წარმოიშვება ალგებრული (უფრო სწორად, ვექტორულ-ალგებრული) ხერხი მრავალი გეომეტრიული ამოცანის ამოხსნისა.

გეომეტრიის შესწავლის ეს მეთოდი ნაკლებ სასარგებლო როდია, ვიდრე არითმეტიკული ამოცანების ამოხსნის ალგებრული მეთოდი. განვიხილოთ ეს მაგალითებზე.

ამოცანა ორი პარალელოგრამის შესახებ

ვთქვათ, A, B, C, D წერტილები პარალელოგრამის თანმიმდევრული წვეროებია; A', B', C', D' კი მეორე პარალელოგრამის თანმიმდევრული წვეროები. წერტილები, რომლებიც AA', BB', CC', DD' მონაკვეთების შუა წერტილებს წარმოადგენენ, შესაბამისად აღვნიშნოთ A'', B'', C'', D'' ასოებით.

რა შეიძლება ითქვას $A''B''C''D''$ ოთხკუთხედზე? გირჩევთ, ჯერ დახაზოთ ზუსტი ნახაზი, რომელიც შეესაბამება ამოცანის პირობას; იგი მაშინვე გიკარნახებთ პასუხს: $A''B''C''D''$ ოთხკუთხედი პარალელოგრამია, რომლის წერტილები A'', C'' და B'', D'' ურთიერთსაწინააღმდეგო წვეროებია.

ახლა საჭიროა გეომეტრიულად დავამტკიცოთ ჩვენი (ახლახან ჩატარებული ცდით ნაკარნახევი) ვარაუდი; ეს მკითხველმა გააკეთოს დამოუკიდებლად. ახლა კი გავეცნოთ ამ ამოცანის ამოხსნის ახალ — ალგებრულ — მეთოდს.

დავიწყოთ იმით, რომ, როგორც ამას ყოველთვის აკეთებენ ამოხსნის ალგებრული მეთოდის დროს, ფორმულების დახმარებით ჩავწეროთ ამოცანის პირობა. ამ მიზნით, უპირველეს ყოვლისა, ამოვირჩიოთ რომელიმე წერტილი იმ რვა წერტილის ყველა რადიუს-ვექტორის სათავედ, რომლებიც ამოცანის პირობაშია მოცემული:

$$\vec{PA},\ \vec{PB},\ \vec{PC},\ \vec{PD};\ \vec{PA'},\ \vec{PB'},\ \vec{PC'},\ \vec{PD'}.$$

გამოსახეთ ისინი თქვენს ნახაზზე.

აღვნიშნოთ M ასოთი პირველი პარალელოგრამის AC დიაგონალის შუა წერტილი. მაშინ (8) ფორმულის ძალით:

$$\vec{PA} + \vec{PC} = 2 \cdot \vec{PM}. \qquad (\alpha)$$

ახლა მხედველობაში მივიღოთ, რომ ეს M წერტილი არის აგრეთვე BD დიაგონალის შუა წერტილიც; ამიტომ:

$$\vec{PB} + \vec{PD} = 2 \cdot \vec{PM}. \qquad (\alpha')$$

(α) და (α') ტოლობებიდან გამომდინარეობს, რომ:

$$\vec{PA} + \vec{PC} = \vec{PB} + \vec{PD}. \qquad (9)$$

სიტყვიერად: თუ A, B, C, D რომელიმე პარალელოგრამის თანმიმდევრული წვეროებია, მაშინ მათი რადიუს-ვექტორები (ნებისმიერად არჩეული სათავის მიმართ) დააკმაყოფილებენ (9) ტოლობას.

ადვილად დავრწმუნდებით შებრუნებული თეორემის სამართლიანობაშიც: თუ რადიუს-ვექტორები A, B, C, D წერტილებისა, რომლებიც არ მდებარეობენ ერთ წრფეზე, აკმაყოფილებენ (9) ტოლობას, მაშინ ეს წერტილები პარალელოგრამის თანმიმდევრულ წვეროებს წარმოადგენენ.

მართლაც, ვთქვათ M არის AC მონაკვეთის შუა წერტილი, N კი BD მონაკვეთის შუა წერტილი. მაშინ ძირითადი (8) წესის ძალით მივიღებთ:

$$\vec{PA} + \vec{PC} = 2 \cdot \vec{PM}; \quad \vec{PB} + \vec{PD} = 2 \cdot \vec{PN}.$$

თეორემის პირობის თანახმად

$$\vec{PA} + \vec{PC} = \vec{PB} + \vec{PD}, \qquad (\alpha)$$

ამიტომ

$$2\cdot\vec{PM}=2\cdot\vec{PN},$$

და, მაშასადამე,

$$\vec{PM}=\vec{PN},$$

ეს კი გვიჩვენებს, რომ M და N წერტილები ერთმანეთს ემთხვევა; ამრიგად, $ABCD$ ოთხკუთხედის AC და BD დიაგონალები ერთმანეთს შუაზე ყოფენ. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ $ABCD$ პარალელოგრამია, რისი დამტკიცებაც იყო საჭირო.

ამრიგად, (9) ტოლობით ჩაწერილია ამოცანის პირობის პირველი მესამედი; მეორე მესამედი ჩაიწერება ტოლობით:

$$\vec{PA'}+\vec{PC'}=\vec{PB'}+\vec{PD'}. \qquad (9')$$

ახლა გადავიდეთ იმ მოთხოვნების ალგებრულ ჩაწერაზე, რომლებსაც ჩვენი დასამტკიცებელი თეორემა შეიცავს; ცხადია, მათი არსი ისაა, რომ საჭიროა შემდეგი ტოლობის მართებულობის დამტკიცება:

$$\vec{PA''}+\vec{PC''}=\vec{PB''}+\vec{PD''} \qquad (10)$$

(რადგან მისი მართებულობა, როგორც ზემოთ დავადგინეთ, არის იმის პირობა, რომ A'', B'', C'', D'' წერტილები პარალელოგრამის წვეროებია).

სანამ შევუდგებოდეთ (10) ფორმულის მართებულობის დამტკიცებას, ჯერ მხედველობაში მივიღოთ, რომ ამოცანის პირობის თანახმად (ჯერ კიდევ ჩაუწერელია პირობის დარჩენილი მესამედი!)

$$2\cdot\vec{PA''}=\vec{PA}+\vec{PA'};\quad 2\cdot\vec{PC''}=\vec{PC}+\vec{PC'}$$

და, მაშასადამე,

$$2\cdot\vec{PA''}+2\cdot\vec{PC''}=\vec{PA}+\vec{PA'}+\vec{PC}+\vec{PC'};$$

ამიტომ

$$2\cdot(\vec{PA''}+\vec{PC''})=\vec{PA}+\vec{PA'}+\vec{PC}+\vec{PC'}. \qquad (3)$$

გავითვალისწინოთ კიდევ, რომ ამოცანის პირობის თანახმად

$$2\cdot\vec{PB''}=\vec{PB}+\vec{PB'};\quad 2\cdot\vec{PD''}=\vec{PD}+\vec{PD'},$$

და მივიღებთ:

$$2\cdot(\vec{PB''}+2\vec{PD''})=\vec{PB}+\vec{PB'}+\vec{PD}+\vec{PD'}. \qquad (\beta')$$

მაგრამ ძნელი არაა დავრწმუნდეთ, რომ (β) და (β′) ტოლობების მარჯვენა ნაწილები ურთიერთტოლია; ეს გამომდინარეობს (9) და (9′) ფორმულებიდან, რომელთა საშუალებით ჩავწერეთ ამოცანის პირობა (თუ მათ წევრ-წევრად შევკრებთ და ვისარგებლებთ მრავალი ვექტორის ჯამის იმ შესანიშნავი ასოციაციურობის თვისებით, რომლის შესახებაც გვქონდა საუბარი). აქედან გამომდინარეობს, რომ (β) და (β′) ფორმულების მარცხენა ნაწილებიც ტოლია, ე. ი.

$$2\cdot(\vec{PA''}+\vec{PC''})=2\cdot(\vec{PB''}+\vec{PD''});$$

ამიტომ მართებულია ტოლობა, რისი დამტკიცებაც იყო საჭირო.

რადიუს-ვექტორის ეკონომიური აღნიშვნა

ეს შესაძლებელია, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ A, B, C, ... წერტილების $\vec{PA}$, $\vec{PB}$, $\vec{PC}$, ... რადიუს-ვექტორებს, რომლებიც რომელიმე ამოცანაშია განხილული, აქვთ ერთი საერთო P სათავე. ამიტომ მიზანშეწონილია ამ სათავის აღმნიშვნელი P ასო რადიუს-ვექტორის აღნიშვნაში კი არ შევიტანოთ, არამედ იქ დავტოვოთ მხოლოდ მისი ბოლო, ე. ი. წერტილი, რომელსაც ის აღნიშნავს. ამრიგად, $\vec{PA}$, $\vec{PB}$, $\vec{PC}$, ... ვექტორებს აღვნიშნავთ $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$, ... ეს გაამარტივებს ფორმულების გარეგნულ სახეს. ასეთ აღნიშვნებს რომ შევეჩვიოთ, სასარგებლოა დავუბრუნდეთ ორი პარალელოგრამის შესახებ ამოცანის ამოხსნას და ახალი აღნიშვნებით ჩავწეროთ მისი ამოხსნა.

კიდევ შევნიშნოთ, რომ ბეჭდურ ტექსტში რადიუს-ვექტორების გამომსახველი $\vec{A}$, $\vec{B}$, ... სიმბოლოების ნაცვლად გამოიყენება $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, ... სიმბოლოები, ე. ი. იგივე ასოები, მხოლოდ უფრო შავი.

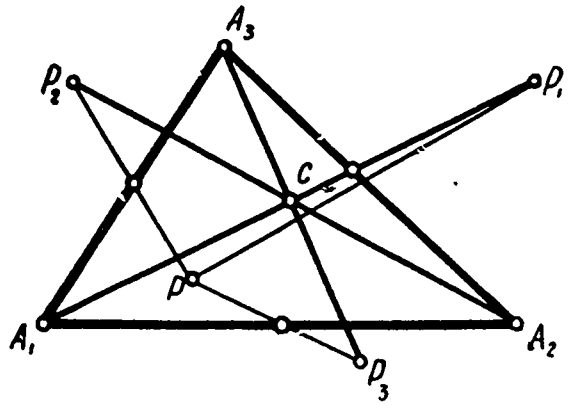
სამი ამოცანა სამკუთხედის შესახებ

1. ნებისმიერი P წერტილი არეკლილია $A_1A_2A_3$ სამკუთხედის გვერდების შუა წერტილებიდან, ე. ი. აგებულია:

P_1 წერტილი P წერტილის სიმეტრიული A_2A_3 გვერდის შუა წერტილის მიმართ,

P_2 წერტილი P წერტილის სიმეტრიული A_3A_1 გვერდის შუა წერტილის მიმართ,

P_3 წერტილი P წერტილის სიმეტრიული A_1A_2 გვერდის შუა წერტილის მიმართ.



ნახ. 9 ა. პირველი ამოცანა სამკუთხედის შესახებ.

რა შეიძლება ითქვას A_1P_1, A_2P_2, A_3P_3 მონაკვეთებზე?

პასუხს გვიკარნახებს ცდა, ე. ი. ზუსტად შესრულებული ნახაზი. ის გვიჩვენებს, რომ ეს სამი მონაკვეთი კვეთს ერთმანეთს ერთ წერტილში, რომელიც ყოველ მათგანს შუაზე ყოფს.

დასამტკიცებლად ამოვირჩიოთ რადიუს-ვექტორების სათავე P წერტილში და ეკონომიური აღნიშვნის გამოყენებით აღვნიშნოთ მოცემული სამკუთხედის წვეროების რადიუს-ვექტორები $\mathbf{A}_1$, $\mathbf{A}_2$, $\mathbf{A}_3$-ით (ნახ. 9 ა). (არ გირჩევთ ამ რადიუს-ვექტორების გავლებას ნახაზზე, სამაკრისია წარმოვიდგინოთ ისინი.) მაშინ ამოცანის პირობის ძალით P წერტილის ანარეკლი P_1, P_2, P_3 წერტილების რადიუს-ვექტორები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\boldsymbol{P_1}=\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3};\quad \boldsymbol{P_2}=\boldsymbol{A_3}+\boldsymbol{A_1};\quad \boldsymbol{P_3}=\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}.$$

ვთქვათ, C_1 არის A_1P_1 მონაკვეთის შუა წერტილი; მაშინ:

$$2\cdot\boldsymbol{C_1}=\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{P_1}=\boldsymbol{A_1}+(\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3}).$$

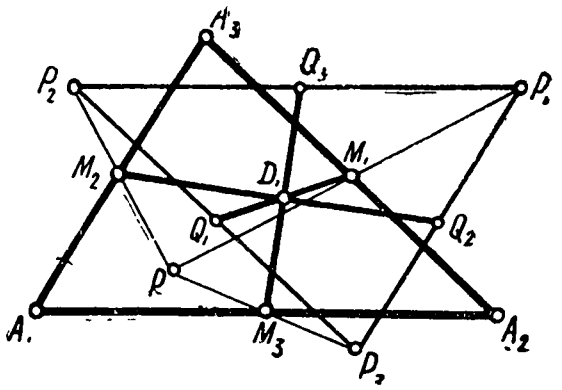
ვთქვათ, C_2 წარმოადგენს A_2P_2 მონაკვეთის შუა წერტილს; მაშინ:

$$2\cdot\boldsymbol{C_2}=\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{P_2}=\boldsymbol{A_2}+(\boldsymbol{A_3}+\boldsymbol{A_1}).$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ ფორმულების პირველი ნაწილები ერთმანეთის ტოლია, მივალთ დასკვნამდე, რომ $2\cdot\boldsymbol{C_1}=2\cdot\boldsymbol{C_2}$, ე. ი. დავრწმუნდებით, რომ A_1P_1 და A_2P_2 მონაკვეთებს აქვთ საერთო შუა წერტილი C, რომლის რადიუს-ვექტორია $\boldsymbol{C_1}=\boldsymbol{C_2}$. ანალოგიურად დავრწმუნდებით, რომ A_1P_1 და A_3P_3 მონაკვეთების შუა წერტილიც არის C, რომლის რადიუს-ვექტორია $\boldsymbol{C_1}=\boldsymbol{C_3}$. ამრიგად, სამივე მონაკვეთს აქვს საერთო შუა წერტილი C. სწორედ ამის დამტკიცება იყო საჭირო. დავიმახსოვროთ, რომ

$$2\cdot\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3}. \qquad (\alpha)$$

2. ვთქვათ, Q_1, Q_2, Q_3 წერტილები წინა ამოცანაში განხილული P_2P_3, P_3P_1, P_1P_2 მონაკვეთების შუა წერტილებია, ხოლო M_1, M_2, M_3 წერტილები A_2A_3, A_3A_1, A_1A_2 გვერდების შუა წერტილებია. რა შეიძლება ითქვას M_1Q_1, M_2Q_2, M_3Q_3 მონაკვეთების შესახებ?



ნახ. 9 ბ. მეორე ამოცანა სამკუთხედის შესახებ.

მე-9 ბ ნახაზიდან ჩანს, რომ ისინი ერთმანეთს კვეთენ ერთ წერტილში, რომელიც მათი საერთო შუა წერტილია. აი, ალგებრული დამტკიცება:

$$2\cdot\boldsymbol{Q_1}=\boldsymbol{P_2}+\boldsymbol{P_3}=(\boldsymbol{A_3}+\boldsymbol{A_1})+(\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2})=$$
$$=2\cdot\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3}, \qquad (\beta)$$
$$2\cdot\boldsymbol{Q_2}=\boldsymbol{P_3}+\boldsymbol{P_1}=(\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2})+(\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3})=$$
$$=2\cdot\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3}+\boldsymbol{A_1}, \qquad (\beta')$$
$$2\cdot\boldsymbol{Q_3}=\boldsymbol{P_1}+\boldsymbol{P_2}=(\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3})+(\boldsymbol{A_3}+\boldsymbol{A_1})=$$
$$=2\cdot\boldsymbol{A_3}+\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}. \qquad (\beta'')$$

თუ D_1 არის M_1Q_1 მონაკვეთის შუა წერტილი, მაშინ

$$2\cdot\boldsymbol{D_1}=\boldsymbol{M_1}+\boldsymbol{Q_1}$$

და, მაშასადამე,

$$2\cdot(2\boldsymbol{D_1})=(\boldsymbol{M_1}+\boldsymbol{Q_1})+(\boldsymbol{M_1}+\boldsymbol{Q_1})=2\cdot\boldsymbol{M_1}+2\cdot\boldsymbol{Q_1}=$$
$$=(\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3})+(2\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3})=(\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3})+$$
$$+(\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3})=2\cdot(\boldsymbol{A_1}+\boldsymbol{A_2}+\boldsymbol{A_3}). \qquad (\gamma)$$

ანალოგიურად მივიღებთ:

$$2\cdot(2D_2)=(M_2+Q_2)+(M_2+Q_2)=A_3+A_1+$$
$$+(2\cdot A_2+A_3+A_1)=2\cdot(A_2+A_3+A_1), \quad (\gamma')$$
$$2\cdot(2D_3)=2\cdot(A_3+A_1+A_2). \quad (\gamma'')$$

(γ), (γ') და (γ'') ფორმულების მარჯვენა ნაწილები ერთმანეთის ტოლია და ამიტომ $D_1=D_2=D_3$, რისი დამტკიცებაც გვინდოდა.

3. რა შეიძლება ითქვას A_1Q_1, A_2Q_2, A_3Q_3 წრფეების შესახებ?

პასუხი: ისინი იკვეთებიან ერთ წერტილში, რომელიც P წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ (შეადგინეთ ნახაზი).

დამტკიცება. აღვნიშნოთ P' ასოთი წერტილი, რომელიც P წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ; მაშინ $P'=2C$ და (α) ფორმულის ძალით

$$P'=A_1+A_2+A_3.$$

ახლა A'_1 ასოთი აღვნიშნოთ A_1P' მონაკვეთის შუა წერტილი; მაშინ:

$$2\cdot A'_1=A_1+P'=2\cdot A_1+A_2+A_3.$$

ამ ფორმულის მარჯვენა ნაწილი (β) ფორმულის მარჯვენა ნაწილს ემთხვევა და ამიტომ $A'_1=Q_1$ ე. ი. A'_1 წერტილი სხვა არაფერია, თუ არა ჩვენთვის უკვე ცნობილი Q_1 წერტილი. აქედან გამომდინარეობს, რომ P' წერტილი A_1Q_1 წრფეზე მდებარეობს.

ანალოგიურად დავამტკიცებთ, რომ იგი დევს როგორც A_2Q_2 წრფეზე, ისე A_3Q_3 წრფეზეც. სწორედ ამის დამტკიცება იყო საჭირო.

ამოცანა ორი ცენტრალური ექვსკუთხედის შესახებ

$A_1A_2A_3A_4A_5A_6$ ექვსკუთხედს ცენტრალურს ვუწოდებთ, თუ მისი მთავარი დიაგონალები A_1A_4, A_2A_5, A_3A_6 ერთ წერტილში კვეთენ ერთმანეთს და შუაზე იყოფიან ამ წერტილში. ამ წერტილს ცენტრალური ექვსკუთხედის ცენტრი ვუწოდოთ[1].

[1] თუ ექვსკუთხედის წვეროები ერთ სიბრტყეზე მდებარეობენ, მაშინ მას ბრტყელი ეწოდება, ხოლო თუ წვეროები ერთ სიბრტყეზე არ მდებარეობენ, მაშინ მას ირიბი ექვსკუთხედი ეწოდება. ცენტრალური ექვსკუთხედი ან ბრტყელი იქნება, ან ირიბი. მაგრამ ცენტრალური ოთხკუთხედი აუცილებლად ბრტყელია — იგი პარალელოგრამს წარმოადგენს.

ახლა $A_1A_2A_3A_4A_5A_6$ ცენტრალურ ექვსკუთხედთან ერთად განვიხილოთ რომელიმე სხვა $B_1B_2B_3B_4B_5B_6$ ცენტრალური ექვსკუთხედი, განვიხილოთ აგრეთვე A_1B_1, A_2B_2, ... , A_6B_6 მონაკვეთების C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 შუა წერტილები.

დავამტკიცოთ, რომ ეს წერტილები ცენტრალური ექვსკუთხედის თანმიმდევრული წვეროებია და ამ ექვსკუთხედის ცენტრი შუაზე ყოფს მონაკვეთს, რომელიც ორივე საწყისი ექვსკუთხედის ცენტრებს აერთებს.

ამის დასადასტურებლად კარგი იქნება უპირველეს ყოვლისა დავამტკიცოთ: თუ P_1, ... , P_6 წერტილები ცენტრალური ექვსკუთხედის თანმიმდევრული წვეროებია, მაშინ მისი წვეროების $P_1, \dots, P_6$ რადიუს-ვექტორები დააკმაყოფილებენ ორ ტოლობას:

$$P_1+P_4=P_2+P_5; \quad P_2+P_5=P_3+P_6 \qquad (\alpha)$$

და პირიქით.

შემდეგ ალგებრული ფორმით უნდა ჩაიწეროს ამოცანის პირობა (ეს მიგვიყვანს ოთხ ვექტორულ ტოლობამდე), უნდა გავითვალისწინოთ, რომ C_i წერტილების რადიუს-ვექტორები განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_i=\frac{1}{2}(A_i+B_i) \quad (i=1,\ 2, \dots ,6),$$

და უნდა დავრწმუნდეთ, რომ ხსენებული ოთხი პირობიდან გამომდინარეობს შემდეგი მოსაზრება: C_i ვექტორები დააკმაყოფილებენ (α) თანაფარდობას.

ამოცანა ორი შუა წერტილის შესახებ

მოცემული სამი A, B, C წერტილის მიხედვით ავაგოთ:

ა) AB მონაკვეთის შუა წერტილი C', შემდეგ კი CC' მონაკვეთის C'' შუა წერტილი.

ბ) BC მონაკვეთის A' შუა წერტილი, შემდეგ კი AA' მონაკვეთის A'' შუა წერტილი.

შესაძლოა თუ არა გამოსავალი სამი A, B, C წერტილის ისეთი მდებარეობა, რომლის დროსაც A'' წერტილი C'' წერტილს დაემთხვევა?

პასუხი. მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა A და C წერტილები ერთმანეთს დაემთხვევა.

ამოხსნა.

$$2\cdot C'=A+B,$$
$$2\cdot C''=C'+C,$$

ამიტომ

$$2\cdot(2\cdot C'')=(C'+C)+(C'+C)=2\cdot C'+2\cdot C;$$

ამრიგად,

$$2\cdot(2\cdot C'')=(A+B)+2\cdot C=(A+B+C)+C. \quad (\alpha)$$

ანალოგიურად მივიღებთ:

$$2\cdot(2\cdot A'')=(B+C+A)+A. \quad (\alpha')$$

C'' და A'' წერტილები ერთმანეთს ემთხვევა, თუ $C''=A''$, ე. ი. (α) და (α') ფორმულების ძალით, თუ

$$(A+B+C)+C=(B+C+A)+A;$$

ეს ტოლობა კი შესაძლებელია მხოლოდ $C=A$ შემთხვევაში, ე. ი. თუ A წერტილი C წერტილს დაემთხვევა.

თქვენ თვითონ ამოხსენით შემდეგი ამოცანები

1. შევთანხმდეთ შემდეგ აღნიშვნებზე:

$$\vec{PA}=1\cdot\vec{PA};\ \vec{PA}+\vec{PA}=2\cdot\vec{PA};$$
$$\vec{PA}+\vec{PA}+\vec{PA}=3\cdot\vec{PA};$$
$$A+A+A+A=4\cdot A \text{ და ა. შ.} \quad (\alpha)$$

დაამტკიცეთ, რომ ნებისმიერი m და n მთელი რიცხვებისათვის მართებულია ტოლობა:

$$m\cdot A+n\cdot A=(m+n)\cdot A; \quad (\beta_1)$$
$$m\cdot(A+B)=m\cdot A+m\cdot B; \quad (\beta_2)$$
$$n\cdot(m\cdot A)=(n\cdot m)\cdot A. \quad (\beta_3)$$

(β) ფორმულების მართებულობა მიზანშეწონილს ხდის ვუწოდოთ $m\cdot A$ ვექტორს m რიცხვისა და A ვექტორის ნამრავლი. ამრიგად, ამ ოპერაციას აქვს დისტრიბუტიულობისა (ფორმულები β_1 და β_2) და ასოციაციურობის (ფორმულა β_3) თვისებები.

2. ვთქვათ, C არის AB მონაკვეთის შუა წერტილი, C' კი AC მონაკვეთის შუა წერტილი, ხოლო C'' წარმოადგენს $C'B$ მონაკვეთის შუა წერტილს.

გამოვსახოთ C' და C'' წერტილების რადიუს-ვექტორები A და B წერტილების რადიუს-ვექტორებით.

პასუხი. $4\cdot C'=3\cdot A+B$; $4\cdot C''=A+3\cdot B$.

3. ნებისმიერი ოთხკუთხედის (თუნდაც არა ბრტყელის) შუა მონაკვეთს უწოდებენ ისეთ მონაკვეთს, რომელიც მისი ორი ერთმანეთის მოპირდაპირე გვერდების შუა წერტილებს აერთებს. დაამტკიცეთ, რომ ოთხკუთხედის შუა მონაკვეთები იკვეთებიან და ერთმანეთს შუაზე ყოფენ.

მითითება. თუ A, B, C, D ოთხკუთხედის თანმიმდევრული წვეროებია და თუ M წერტილი შუა მონაკვეთის შუა წერტილია, რომელიც AB გვერდის შუა წერტილს CD გვერდის შუა წერტილთან აერთებს, მაშინ $4\cdot M=(A+B)+(C+D)$. ორივე შუა მონაკვეთის გადაკვეთის წერტილს $ABCD$ ოთხკუთხედის ცენტროიდს უწოდებენ.

4. ყოველ $ABCD$ სამკუთხა პირამიდას აქვს სამი წყვილი ურთიერთმოპირდაპირე წიბო: AB და CD; AC და BD; AD და BC. პირამიდის შუა მონაკვეთი ეწოდება ისეთ მონაკვეთს, რომელიც ურთიერთმოპირდაპირე გვერდების რომელიმე წყვილის შუა წერტილებს აერთებს.

დაამტკიცეთ, რომ პირამიდის სამივე შუა მონაკვეთი ერთ წერტილში იკვეთება და შუაზე იყოფა. ამ წერტილს პირამიდის ცენტროიდს უწოდებენ.

5. დაამტკიცეთ, რომ თუ S_1, S_2, S_3, S_4 ნებისმიერი (თუნდაც არა ბრტყელი) ოთხკუთხედის A_1A_2, A_2A_3, A_3A_4, A_4A_1 გვერდების შუა წერტილებია, მაშინ ისინი პარალელოგრამის თანმიმდევრული წვეროებია.

6. ნებისმიერი $A_1A_2\ldots A_8$ რვაკუთხედისათვის აგებულია $A_1A_2A_3A_4$, $A_2A_3A_4A_5,\ldots,$ $A_5A_6A_7A_8$, $A_6A_7A_8A_1,\ldots,$ $A_8A_1A_2A_3$ ოთხკუთხედების S_1, $S_2,\ldots,$ S_8 ცენტროიდები[1].

დაამტკიცეთ, რომ $S_1S_2\ldots S_8$ რვაკუთხედი ცენტრალურია, ე. ი. რომ მისი დიამეტრები S_1S_5, S_2S_6, S_3S_7, S_4S_8 იკვეთებიან ერთ წერტილში, რომელიც ყოველ მათგანს შუაზე ყოფს.

7. ვთქვათ, B_1, $B_2,\ldots,$ B_6 არის ცენტრალური ექვსკუთხედის A_1A_2, $A_2A_3,\ldots,$ A_5A_6, A_6A_1 გვერდე-

[1] იხ. ამოცანა 3.

ბის შუა წერტილები. დაამტკიცეთ, რომ ისინიც აგრეთვე წარმოადგენენ ცენტრალური ექვსკუთხედის თანმიმდევრულ წვეროებს.

როგორია ორივე ექვსკუთხედის ცენტრების ურთიერთმდებარეობა?

პასუხი. ისინი ერთმანეთს ემთხვევიან.

8. ორი მოცემული $A_1A_2\ldots A_6$ და $B_1B_2\ldots B_6$ ცენტრალური ექვსკუთხედების მიხედვით ავაგოთ ისეთი $C_1C_2\ldots C_6$ ექვსკუთხედი, რომ მისი C_i წვერო A_i წვეროს სიმეტრიული იყოს B_iB_{i+1} მონაკვეთის შუა წერტილის მიმართ ($i=1, 2, \ldots, 6$; $B_7=B_1$).

რა შეიძლება ითქვას $C_1C_2\ldots C_6$ მრავალკუთხედის შესახებ?

პასუხი. იგი ცენტრალურია; მისი ცენტრი $A_1\ldots A_6$ მრავალკუთხედის ცენტრის სიმეტრიულია $B_1\ldots B_6$ მრავალკუთხედის ცენტრის მიმართ.

9. ჩამოაყალიბეთ და ამოხსენით წინა ამოცანის ანალოგიური ამოცანა ორი ცენტრალური რვაკუთხედისათვის.

10. დაამტკიცეთ, რომ

$$-(A+B)=(-A)+(-B).$$

მითითება. შეკრების ასოციაციურობის თვისებისა და (4′) და (4″) ფორმულების გამოყენებით დარწმუნდით შემდეგი ტოლობის მართებულობაში:

$$(A+B)+\{(-A)+(-B)\}=\vec{PP}.$$

11. იპოვეთ X ვექტორი, რომელიც დააკმაყოფილებს განტოლებას:

$$X+A=B.$$

დაამტკიცეთ, რომ ეს ამონახსნი ერთადერთია.

პასუხი. $X=B+(-A)$.

შენიშვნა. $B+(-A)$ ვექტორს ეწოდება B (სამცირი ვექტორი) და A (მამცირი) ვექტორების სხვაობა.

ვექტორულ ალგებრაში მას ასე აღნიშნავენ: $B-A$. ამიტომ შემდგომ ამოცანებში გამოიყენება ტოლობა:

$$B-A=B+(-A).$$

12. დაამტკიცეთ, რომ $(A+B)-C=A+(B-C)$. ყოველი ამ ვექტორისათვის მიღებულია შემდეგნაირად ჩაწერა:

$$A+B-C.$$

13. დაამტკიცეთ, რომ

$$A-(B+C)=(A-B)-C.$$

(მიღებულია ჩაწერა:

$$(A-B)-C=A-B-C.)$$

14. დაამტკიცეთ, რომ

$$A-(B-C)=(A-B)+C.$$

(მიღებულია ჩაწერა:

$$(A-B)+C=A-B+C.$$

15. მოცემული A და C წერტილების რადიუს-ვექტორებით გამოსახეთ იმ A' წერტილის რადიუს-ვექტორი, რომელიც A წერტილის სიმეტრიულია C წერტილის მიმართ. პასუხი. $A'=2\cdot C-A$.

16. M წერტილი ირეკლება ნებისმიერი $A_1A_2A_3$ სამკუთხედის A_1 წვეროდან, ე. ი. იგება A_1 წერტილის მიმართ M წერტილის სიმეტრიული M_1 წერტილი. მიღებული M_1 წერტილი A_2 წვეროდან ირეკლება; ვღებულობთ M_2 წერტილს, რომელსაც A_3 წვეროდან ავრეკლავთ; წარმოიშვება M_3 წერტილი.

რა შეიძლება ითქვას გამოსავალი M წერტილის და M_3 წერტილის ურთიერთგანლაგების შესახებ?

პასუხი. M_3 წერტილი სიმეტრიულია M წერტილისა A_4 წერტილის მიმართ, რომელიც $\vec{A_2A_1}$ და $\vec{A_2A_3}$ ვექტორებზე აგებული პარალელოგრამის მეოთხე წვეროს წარმოადგენს.

17. MN მონაკვეთზე M_1 და M_2 წერტილები ისეა განლაგებული, რომ M_1 არის MM_2 მონაკვეთის შუა წერტილი, M_2 კი M_1N მონაკვეთის შუა წერლიტი. გამოსახეთ M_1, და M_2 წერტილების რადიუს-ვექტორები M და N წერტილების რადიუს-ვექტორებით.

პასუხი. $M_1=\frac{1}{3}\cdot(2\cdot M+N)$;

$$M_2=\frac{1}{3}(M+2\cdot N).$$

18. გავყოთ ABC სამკუთხედის რომელიმე მედიანა სამ ტოლ მონაკვეთად და განვიხილოთ გაყოფის ის S წერტილი, რომელიც უფრო ახლოა ფუძესთან.

გამოსახეთ S წერტილის რადიუს-ვექტორი A, B, C წერტილების რადიუს-ვექტორებით.

მ ი თ ი თ ე ბ ა. AA' მედიანის A' ბოლოს აქვს $\frac{1}{2}(B+C)$ რადიუს-ვექტორი; შემდეგ გამოიყენეთ წინა ამოცანის შედეგი.

პ ა ს უ ხ ი. $S=\frac{1}{3}\cdot(A+B+C)$;

ეს გვიჩვენებს, რომ S წერტილი მდებარეობს BB' და CC' მედიანებზეც (ამრიგად, მიიღება სამი მედიანის შესახებ ცნობილი თეორემის ვექტორული დამტკიცება). S წერტილს სამკუთხედის ც ე ნ ტ რ ო ი დ ი ეწოდება.

19. მოცემული ნებისმიერი $A_1A_2A_3A_4A_5A_6$ ექვსკუთხედისათვის ავაგოთ $A_1A_2A_3$, $A_2A_3A_4$, ..., $A_5A_6A_1$, $A_6A_1A_2$ სამკუთხედების S_1,S_2,S_3, S_4, S_5, S_6 ცენტროიდები.

დაამტკიცეთ, რომ S_i წერტილები ცენტრალური ექვსკუთხედის თანმიმდევრული წვეროებია.

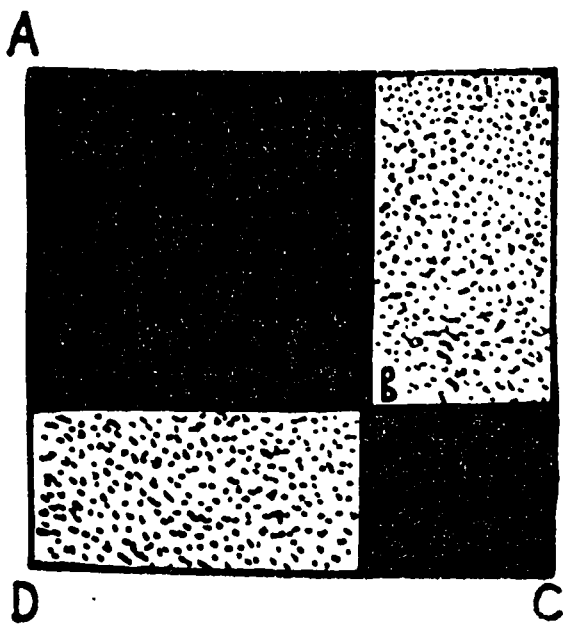
რას შეისწავლის ალგებრა

რიცხვები და მოქმედებანი

უჩვეულო კონფერენცია

წარმოვიდგინოთ, რომ მოვახერხეთ სხვადასხვა საუკუნისა და ქვეყნის მათემატიკოსთა შეკრება, და მათ ვკითხეთ: „რა შეგიძლიათ თქვათ ჯამის კვადრატის ფორმულის შესახებ?“ ამ უჩვეულო კონფერენციის სტენოგრამას შეიძლება დაახლოებით ასეთი სახე ჰქონოდა:

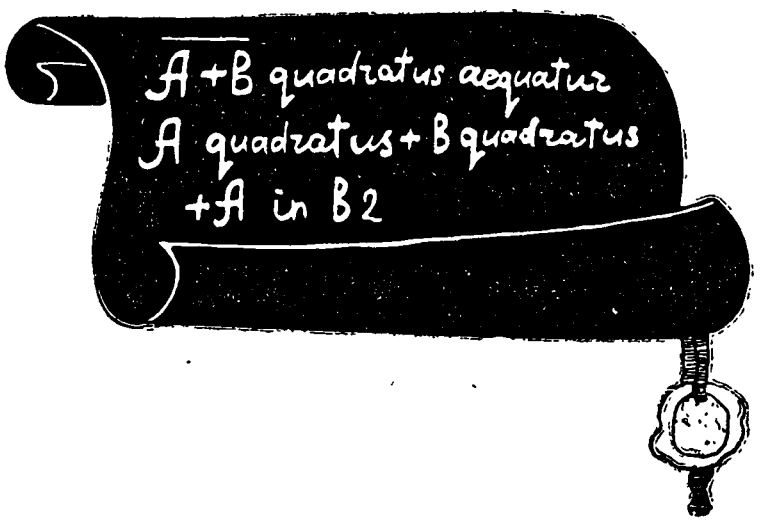
4000 წლის წინათ მცხოვრებმა ბაბილონელმა მათემატიკოსმა თქვა, არავითარი ფორმულა არ ვიცი, რადგან რიცხვებით ვითვლი და არა ასოებითო. მაგრამ მისთვის ცნობილია, რომ თუ ავიღებთ ორ რიცხვს, მაგალითად 20 და 3, მათი ჯამის კვადრატის გამოსაანგარიშებლად ორივე ცალ-ცალკე უნდა ავიყვანოთ კვადრატში, შემდეგ ეს კვადრატები შევკრიბოთ და ჯამს რიცხვთა ორმაგი ნამრავლი მივუმატოთ. ხსენებული წესი გამოდგება სხვა ნებისმიერი ორი რიცხვისთვისაც.



ნახ. 1.

ეს წესი დაამტკიცა 2300 წლის წინათ მცხოვრებმა ბერძენმა. მან შეადგინა ნახაზი (ნახ. 1) და თქვა, რომ AC კვადრატის ფართობი (ე. ი. კვადრატისა, რომლის A და C წერტილები დიაგონალის ბოლოებს წარმოადგენენ) უდრის AB და BC კვადრატების ფართობების ჯამსა და BD მართკუთხედის ორმაგ ფართს. ამიტომ, თუ AB კვადრატის გვერდი 20-ს უდრის, ხოლო BC კვადრატისა 3-ს, მაშინ AC კვადრატის ფართობი მართლა შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ისე, როგორც მისმა ბაბილონელმა კოლეგამ შემოგვთავაზა.

XVI ს. ალგებრაისტმა ჯამის კვადრატის ფორმულა შემდეგნაირად ჩაწერა:



თარგმანში იგი დაახლოებით ასე წაიკითხებოდა: $\overline{A+B}$ კვადრატში უდრის A კვადრატში $+B$ კვადრატში $+A$ გამრავლებული $B2$ (როგორც ხედავთ, ფრჩხილების ნაცვლად იგი ხაზს სვამდა, ხარისხს სიტყვებით აღნიშნავდა, კოეფიციენტებს კი ბოლოში წერდა).

— არც თუ ისე მოსახერხებელი აღნიშვნებია,— ირონიულად თქვა XVII ს. მათემატიკოსმა.

— მაგრამ ჩვენ ამ აღნიშვნებითაც გაცილებით მეტის გაკეთება შეგვიძლია, ვიდრე ძველ ბერძნებს,— შეედავა განაწყენებული ორატორი.— მათ მხოლოდ კვადრატული განტოლებების ამოხსნა შეეძლოთ, ჩვენ კი მესამე და მეოთხე ხარისხის განტოლებებსაც ვუმკლავდებით. მხოლოდ სამწუხარო ისაა, რომ ძალზე ხშირად ეს განტოლებები არ ამოიხსნება, რადგან მიღებულ ფორმულებს უარყოფითი რიცხვიდან კვადრატული ფესვის ამოღების უაზრო ოპერაციამდე მივყავართ.

XVII ს. ალგებრაისტმა ჯამის კვადრატის ფორმულა ჩვენთვის ნაცნობი სახით დაწერა:

$$(a+b)^2=a^2+2ab+b^2.$$

მან დაუმატა, რომ მის წინამორბედებს ძალზე შეზღუდულად ესმოდათ ეს ფორმულა. უწინარეს ყოვლისა, აუცილებელი არაა მასში a და b მონაკვეთების სიგრძეები იყოს, ისინი შეიძლება თვითონვე წარმოადგენდნენ ფართობებს, მოცულობებს, წონებს და უარყოფით რიცხვებსაც კი. უფრო მეტიც, ამ ფორმულაში a და b ნაცვლად შეიძლება ჩავსვათ ნებისმიერი მრავალწევრები, მაგალითად:

$$[x^2+(x+1)]^2=x^4+2x^2(x+1)+(x+1)^2.$$

მან ისიც თქვა, რომ ხსენებული ფორმულა მხოლოდ ერთ-ერთია მისთვის ნაცნობ მრავალ ალგებრულ ფორმულას შორის, რომ კარგად იცნობს ასოითი გამოანგარიშების ხელოვნებას, და ეს ხელოვნება სწორედ ალგებრაა.

XVIII ს. ალგებრაისტმა განაცხადა, რომ ჯამის კვადრატის ფორმულის შესახებ არა ღირს ბევრი ლაპარაკი: ეს ფორმულა, როგორც ყველა ასოითი გამოანგარიშება, სასკოლო მათემატიკას განეკუთვნება. ამასთან აღნიშნა: ხსენებული ფორმულა ყოველთვის სწორია, და არა მარტო დადებითი და უარყოფითი რიცხვებისათვის, არამედ კომპლექსური რიცხვებისთვისაც; ეს რიცხვები კი არც ისეთი უაზრობაა! რაც შეეხება ალგებრული მეცნიერების საგანს, ეს ასოითი გამოანგარიშების ხელოვნება კი არაა, არამედ განტოლებებისა და განტოლებათა სისტემების ამოხსნის ცოდნა. პირველი ხარისხის განტოლებათა სისტემებისათვის მე ამოხსნის ზოგადი ფორმულაც კი მაქვსო.

XIX ს. მათემატიკოსს ლაპარაკს ხშირად აწყვეტინებდნენ უნდობლობის წამოძახილებითა და ხმაურით. აშკარად ჩანდა, რომ კონფერენციის მონაწილეები მისმა სიტყვამ შეაცბუნა. მართლაც, ორატორმა განაცხადა: ფორმულა $(a+b)^2=a^2+2ab+b^2$ ყველა შემთხვევაში არ არის სწორი! მაგალითად, ინგლისელი მათემატიკოსი ჰამილტონი კომპლექსური რიცხვების განზოგადებაზე მუშაობდა. მან ააგო კვატერნიონებად წოდებული რიცხვები, რომლებსაც ერთი კი არა, სამი წარმოსახვითი ერთეული i, j, k გააჩნია. კვატერნიონებისთვის ჯამის კვადრატის ფორმულა სწორი არაა. სწორი იმიტომ არ არის, რომ აქ გამრავლება არაკომუტატიურია, ე. ი. არ სრულდება გამრავლების კომუტატიურობის კანონი (მაგალითად, $ij=k$, $ji=-k$), ხოლო ჯამის კვადრატის ფორმულის გამოყვანისას ვსარგებლობთ $ab=ba$ ტოლობით.

ორატორმა თქვა, რომ სხვა მათემატიკოსებმა განიხილეს კიდევ უფრო საოცარი განზოგადებანი კომპლექსური რიცხვებისა, რომლებისთვისაც გამრავლება არა მარტო არაკომუტატიურია, არამედ არააასოციაციურიც, ე. ი. ზოგად შემთხვევაში

$$(ab)c\neq a(bc).$$

XX ს. ალგებრაისტმა აღნიშნა, რომ ჰიპერკომპლექსური რიცხვები მხოლოდ მაგალითებია იმ ზოგადი თეორიებისა, რომლებსაც ის ამუშავებს. მას შეუძლია დაამტკიცოს თეორემები, რომლებიც სწორია არა მარტო ერთი სახის ჰიპერკომპლექსური რიცხვებისათვის, არამედ ყველა ჰიპერკომპლექსური რიცხვისთვის (ან ასეთი რიცხვების მრავალი სახისათვის); შეუძლია მიუმატოს და გაამრავლოს არა მარტო რიცხვები და მრავალწევრები, არამედ კვადრატული ცხრილები, გეომეტრიული და ალგებრული გარდაქმნები, ლოგიკური მსჯელობანი და ა. შ. (იხ. სტატია „სიმრავლეთა ალგებრა და ლოგიკის ალგებრა“).

— როგორ ახერხებთ ისეთ განსხვავებულ ობიექტებზე მოქმედებას, როგორიცაა კვადრატული ცხრილები, ჰიპერკომპლექსური რიცხვები, გეომეტრიული გარდაქმნები? რა უნდა იყოს საერთო

მათზე წარმოებულ მოქმედებებში? და როგორ უნდა გაიგოთ, რომელი ფორმულა გაქვთ, ამა თუ იმ შემთხვევაში?

— ეს სულაც არაა რთული; ამისათვის ჩემს ვანკარგულებაშია ისეთი მძლავრი იარაღი, როგორიცაა აქსიომატური მეთოდი, რომელიც...

— შეუძლებელია, — წამოიძახა წონასწორობიდან გამოსულმა ბერძენმა, — აქსიომები ხომ გეომეტრიის სფეროს განეკუთვნება?!

... აქ შევწყვიტოთ ჩვენი კონფერენცია და ვცადოთ გავერკვეთ ნათქვამში.

ალგებრის საფუძველი

სკოლის კედლის გაზეთის კორესპონდენტს ვიას, რომელიც კონფერენციას ესწრებოდა, ყველაზე სწორად მოეჩვენა XVII ს. ალგებრაისტის აზრი, რომ ალგებრა ასოითი გამოანგარიშების ხელოვნებაა. გია მაშინ მეშვიდე კლასში სწავლობდა და ბევრ დროს ანდომებდა ასოით გამოანგარიშებებს. მას ხვდებოდა შემოკლებული გამრავლების ფორმულებიც, კოეფიციენტებიც, ხარისხთა მაჩვენებლებიც და თვალები უჭრელდებოდა. გია ხშირად ფიქრობდა: „კარგი იქნებოდა ლარიჩევის მაგალითების ყველა პასუხი მქონოდა!“ მაგრამ მალე მიხვდა, რომ ეს ვერ უშველიდა, — საკონტროლო სამუშაოებისათვის მასწავლებელი რომელიღაც სხვა სახელმძღვანელოდან იწერდა მაგალითებს. ხოლო ყველა სახელმძღვანელოდან ყველა ამოცანის ამოხსნის დამახსოვრება, ალბათ, არავის შეუძლია გარდა ცირკის მსახიობებისა, რომლებიც ფენომენალური მახსოვრობის სეანსებით გამოდიან ხოლმე.

გია იძულებული გახდა წესები ეზეპირებინა: რა ემართება კოეფიციენტებსა და მაჩვენებლებს ერთწევრების გამრავლებისას, როგორ ავიყვანოთ კვადრატში ჯამი და ნამრავლი და მრავალი სხვა.

გია ცნობისმოყვარე ბიჭი იყო და მოისურვა გაეგო, როგორ გაჩნდა ეს წესები. მან ყურადღებით წაიკითხა სახელმძღვანელო და მიხვდა, რომ ყველა წესი, რომლითაც სრულდება მოქმედება მრავალწევრებზე, რამდენიმე ძირითადი წესიდან გამომდინარეობს. ეს პირველდაწყებითი წესები შემდეგია:

$$a+0=a;$$
$$a+(-a)=0;$$
$$a+b=b+a \qquad \text{(შეკრების კომუტატიურობა);}$$
$$(a+b)+c=a+(b+c) \qquad \text{(შეკრების ასოციაციურობა);}$$
$$a\cdot 1=a;$$
$$ab=ba \qquad \text{(გამრავლების კომუტატიურობა);} \qquad (1)$$
$$a(bc)=(ab)c \qquad \text{(გამრავლების ასოციაციურობა),}$$
$$a(b+c)=ab+ac \qquad \text{(დისტრიბუტიულობა).}$$

ამ წესებიდან შეიძლება გამოვიყვანოთ ყველა დანარჩენი წესი. ვნახოთ, მაგალითად, როგორ გამოიყვანება ფორმულა:

$$(a+b)^2=a^2+2ab+b^2, \qquad (2)$$

რომელსაც უჩვეულო კონფერენციაზე განიხილავდნენ.

დისტრიბუტიულობის კანონის მიხედვით გვაქვს:

$$(a+b)^2=(a+b)(a+b)=(a+b)a+(a+b)b.$$

თუ გამოვიყენებთ გამრავლების კომუტატიურობას, მივიღებთ:

$$(a+b)^2=a(a+b)+b(a+b).$$

თუ მეორედ გამოვიყენებთ დისტრიბუტიულობას, აგრეთვე გამრავლების კომუტატიურობასა და შეკრების ასოციაციურობას, მივიღებთ:

$$(a+b)^2=(a^2+ab)+(ba+b^2)=(a^2+ab)+$$
$$+(ab+b^2)=a^2+(ab+ab)+b^2.$$

აქ $ab+ab=ab\cdot 1+ab\cdot 1=ab(1+1)=ab\cdot 2=2ab$, ამიტომ

$$(a+b)^2=a^2+2ab+b^2.$$

ამავე ხერხით სინჯეთ გამოიყვანოთ ფორმულა:

$$(a+b)^3=a^3+3a^2b+3ab^2+b^3.$$

თქვენ დაინახავთ, რომ ამ დროს უნდა გამოვიყენოთ გამრავლების ასოციაციურობის კანონიც.

ამრიგად, ალგებრის ყველა წესი ჩვენს მიერ დაწერილი პირველდაწყებითი წესებიდან გამომდინარეობს. მაშასადამე, ასოითი გამოანგარიშების ხელოვნება არის ამ ძირითადი წესების გამოყენება. ამასთან ერთად ამ ფორმულების ზოგიერთი შედეგი (მაგალითად, ჯამის კვადრატის ფორმულა) იმდენად ხშირად გამოიყენება, რომ ისინი ისევე კარგად უნდა დავიმახსოვროთ და გამოვიყენოთ, როგორც პირველდაწყებითი წესები.

ეს ძალიან მოგვაგონებს გეომეტრიას. იქაც არის აგრეთვე რამდენიმე აქსიომა (ე. ი. პირველადი დებულება), რომლებიდანაც გამოიყვანება სხვადასხვა შედეგები (ამ შედეგებს თ ე ო რ ე მ ე ბ ი ეწოდება). ამოცანების ამოხსნისას კი ვიყენებთ აქსიომებსაც და თეორემებსაც. ამიტომ ისევე, როგორც გეომეტრიაში, (1) ფორმულებს ვუწოდებთ აქსიომებს, ხოლო (2) სახის ფორმულებს თეორემებს.

გეომეტრიული აქსიომების მსგავსად არც ალგებრული აქსიომები მტკიცდება. ისინი კაცობრიობის პრაქტიკული საქმიანობის მრავალი ათასი წლის გამოცდილების განზოგადებაა. ვიდრე ჩამოაყალიბებდნენ დებულებას: $a + b = b + a$, საჭირო იყო მრავალ ათასჯერ შეენიშნათ ისეთი არითმეტიკული დამოკიდებულებანი, როგორიცაა $2+ 5 = 5 + 2$, $4 + 6 = 6 + 4$ და ა. შ.

ყველა დანარჩენი (1) აქსიომა მრავალჯერ შემოწმებული კანონების ასოით ჩანაწერს წარმოადგენს.

ასოების ძალა

უკვე მეექვსეკლასელებსაც ესმით, რამდენად ძლიერია ალგებრა არითმეტიკაზე: ნაცვლად იმისა, რომ ამოიხსნას რამდენიმე ამოცანა, რომლებიც მხოლოდ რიცხვითი მონაცემებით განსხვავდებიან ერთმანეთისგან, შეიძლება ამოვხსნათ ერთი ამოცანა ასოითი მონაცემებით, შემდეგ კი მიღებულ პასუხში სხვადასხვაგვარი რიცხვითი მონაცემები ჩავსვათ. საკმარისია გავიხსენოთ ამოცანა:

a კგ კამფეტი, რომლის 1 კგ m მანეთი ღირს, შეურიეს b კგ კამფეტს, რომლის 1 კგ n მანეთი ღირს. რა ეღირება ნარევის 1 კგ?

ამ ამოცანის ამოხსნა მოცემულია ასოითი ფორმულით:

$$A = \frac{ma+nb}{a+b},$$

სადაც A არის 1 კგ ნარევის ღირებულება.

ამასთანავე ალგებრული პასუხი ხშირად შეიძლება გავამარტივოთ ალგებრულ გარდაქმნათა წესების გამოყენებით, და მაშინ რიცხვითი მონაცემების წარმოდგენა გაცილებით ადვილი იქნება.

ამაზეა დამყარებული ჩაფიქრებული რიცხვების გამოცნობის მრავალი „ფოკუსი“.

მაგალითად, ვთხოვოთ ამხანაგს შეასრულოს შემდეგი მოქმედებები: 1) ჩაიფიქროს რიცხვი; 2) ჩაფიქრებულ რიცხვს მიუმატოს 5; 3) მიღებული შედეგი გაამრავლოს სამზე; 4) ახლა მიღებულ შედეგს გამოაკლოს ჩაფიქრებული რიცხვი; 5) გამოაკლოს 11; 6) მიღებული პასუხი გაყოს ორზე. თუ მიღებულ შედეგს ვეტყვით „ოინბაზს“, იგი მაშინვე დაასახელებს ჩაფიქრებულ რიცხვს. ამისათვის მას არ დასჭირდება მთელი ამ რთული თანმიმდევრული მოქმედებების პირიქით შესრულება. მართლაც, თუ ჩაფიქრებულ რიცხვს x-ით აღვნიშნავთ, მაშინ შესასრულებელი მოქმედებები შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$[(x + 5) \cdot 3 - x - 11] : 2.$$

ამ გამოსახულების გამარტივების შემდეგ ადვილად ვიპოვით, რომ იგი უდრის $x + 2$. ამიტომ საკმარისია ცნობილ შედეგს „ოინბაზმა“ ორი გამოაკლოს, რომ მიიღოს ჩაფიქრებული რიცხვი.

მაგრამ მეექვსეკლასელს (მასაც კი, ვინც სკოლას ამთავრებს) კარგად არ ესმის ასოითი ფორმულების ძალა. ჰგონია, რომ ასოები რომელიღაც რიცხვებია (წინასწარ ცნობილი ან საძიებელი). სინამდვილეში კი ასოებზე მოქმედებისას ის მხოლოდ აქსიომებსა და მის შედეგებს იყენებს. ამიტომ ყველა მისი გამოანგარიშება ვარგისია არა მარტო რიცხვებისათვის, არამედ ნებისმიერი ალგებრული გამოსახულებისათვის, რომლისათვისაც სრულდება ეს აქსიომები; მაგალითად, ასოები შეიძლება გამოსახავდეს არა ცალკეულ რიცხვებს, არამედ მრავალწევრებს, ალგებრულ წილადებს და სხვა ალგებრულ გამოსახულებებს.

ხომ კარგადაა ცნობილი, რომ მრავალწევრების შეკრებისა და გამრავლებისათვის იგივე (1) აქსიომები სრულდება, რაც რიცხვების შეკრებისა და გამრავლებისათვის. მაგალითად თუ a და b რომელიღაც მრავალწევრებია, მაშინ $a + b = b + a$, $ab = ba$ და ა. შ. აქედან გამომდინარეობს, რომ ნებისმიერ ალგებრულ იგივეობაში შეიძლება ასოების ნაცვლად ჩავსვათ არა მარტო რიცხვები, არამედ ნებისმიერი მრავალწევრებიც. მაგალითად იქიდან, რომ

$$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2),$$

გამომდინარეობს იგივეობა:

$$(x^2 + x + 1)^3 - (x^2 - x + 1)^3 = 2x[(x^2 + x + 1)^2 + (x^2 + x + 1)(x^2 - x + 1) + (x^2 - x + 1)^2].$$

თუ გარდა რიცხვებისა და მრავალწევრებისა გვხვდება სხვა გამოსახულებანი, რომელთა შეკრება და გამოკლება შეიძლება, ამასთანავე სრულდება (1) აქსიომები, მაშინ მათთვის მართებული იქნება ალგებრის ყველა ფორმულა და შედეგი.

მაგალითად, უფროსკლასელებს ხვდებათ კომპლექსური რიცხვები. ასეთი რიცხვებისათვის სწორია ალგებრის ფორმულები, თუ თავიდან უნდა გამოვიკვლიოთ, რას უდრის კომპლექსური რიცხვების ჯამის კუბი?

ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ კომპლექსური რიცხვებისათვის ალგებრის ყველა ფორმულის თავიდან შემოწმება საჭირო არაა. საკმარისია შევამოწმოთ (1) აქსიომები, მათგან კი ყველა დანარჩენ ფორმულას მივიღებთ.

რგოლები

ახლა ნათელია, როდისაა სწორი ფორმულა:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2,$$

და ალგებრის ყველა დანარჩენი ფორმულაც. ისინი მართებულია ნებისმიერი ობიექტებისათვის, რომელთა შეკრება და გამრავლება შეიძლება, თანაც სრულდება ზემოთ მოყვანილი (1) აქსიომები. ჩვენ უკვე ვიცით იმ ობიექტთა სამი მაგალითი, რომლებისთვისაც სრულდება ეს აქსიომები. ესაა ნამდვილი რიცხვები, კომპლექსური რიცხვები და მრავალწევრები.

მათემატიკოსებმა იციან ბევრი სხვა მაგალითი სიმრავლეებისა, რომლებსაც ანალოგიური თვისებები აქვთ:

1) ასეთი სიმრავლის ელემენტები შეიძლება შევკრიბოთ და გავამრავლოთ, ამასთანავე ორი ელემენტის ჯამი და ნამრავლი კვლავ იმავე სიმრავლეს ეკუთვნის;

2) სიმრავლის ელემენტებს შორის განსაკუთრებით გამოყოფილია ორი ელემენტი, რომლებიც აღნიშნულია 0 და 1 სიმბოლოებით;

3) ყოველი a ელემენტისათვის განსაზღვრულია მოპირდაპირე ელემენტი $-a$, რომელიც იმავე სიმრავლეს ეკუთვნის;

4) განსახილავ სიმრავლეში შეკრებისა და გამრავლებისათვის სრულდება ყველა (1) აქსიომა.

რადგანაც ასეთი სიმრავლეები ხშირად გვხვდება, მათთვის შემოიღეს სპეციალური სახელწოდება „რ გ ო ლ ი“.

გარდა ზემოთ განხილული სამი მაგალითისა, შეიძლება დავასახელოთ რგოლების შემდეგი მაგალითები: ა) ყველა მთელი რიცხვის სიმრავლე (მთელი რიცხვების ჯამი და ნამრავლი მთელი რიცხვებია, ისე როგორც მთელის მოპირდაპირე რიცხვიც); ბ) ყველა მთელკოეფიციენტებიანი მრავალწევრის სიმრავლე; გ) $a + b\sqrt{7}$ სახის რიცხვების სიმრავლე, სადაც a და b ნებისმიერი მთელი რიცხვებია.

დადებითი რიცხვები (ჩვეულებრივი შეკრებისა და გამრავლების მიმართ) რგოლებს არ ქმნიან — დადებითი რიცხვის მოპირდაპირე რიცხვი ხომ უკვე დადებითი არაა.

შემდგომ რგოლის ცნება გაფართოვდა. ჯერ ერთი, უარი თქვეს მოთხოვნაზე, რომ რგოლში შედის ელემენტი 1, რომლისთვისაც $a \cdot 1 = 1 \cdot a = a$. მაგალითად, ყველა ლუწი რიცხვი (როგორც დადებითი, ისევე უარყოფითიც) ქმნიან რგოლს, რომელსაც ერთეული არა აქვს. კენტი რიცხვები კი საერთოდ არ ქმნიან რგოლებს, რადგან ორი კენტი რიცხვის ჯამი ლუწია.

შემდეგ გამრავლების კომუტატიურობის მოთხოვნაზეც უარი თქვეს, ე. ი. გამორიცხეს აქსიომა $ab = ba$ (შეინარჩუნეს დანარჩენი აქსიომები). ასეთ რგოლებს ა რ ა კ ო მ უ ტ ა ტ ი უ რ ი რგოლები უწოდეს. არაკომუტატიური რგოლის მაგალითია ყველა კვატერნიონის რგოლი. ბოლოს გამორიცხეს გამრავლების ასოციაციურობის აქსიომაც და ის სხვა აქსიომებით შეცვალეს.

მაგალითად, დაიწყეს ისეთი რგოლების განხილვა, რომლებშიც გამრავლების კომუტატიურობისა და ასოციაციურობის აქსიომები შეცვლილია შემდეგი აქსიომებით:

$$ab = -ba \text{ (ანტიკომუტატიურობა);}$$

$$(ab)\,c + (bc)\,a + (ca)\,b = 0.$$

ასეთ რგოლებს უწოდებენ ლის ალგებრებს (ნორვეგიელი მათემატიკოსის ს. ლის სახელის მიხედვით).

ყოველივე იმიტომ კი არ ხდებოდა, რომ მათემატიკოსებს განზოგადება უყვართ, არამედ იმიტომ, რომ მოიძებნა პრაქტიკულად გამოსადეგი მნიშვნელოვანი ობიექტები, რომლებისთვისაც არსებობდა ბუნებრივი შეკრება და გამრავლება, მაგრამ გამრავლება არც კომუტატიური იყო, არც

ასოციაციური. მრავალი ასეთი ობიექტი გვხვდება, მაგალითად, თანამედროვე კვანტურ ფიზიკაში.

რა თქმა უნდა, ახალი აქსიომების შემოღების შედეგად საჭირო გახდა ალგებრის მრავალი ფორმულის ახლით შეცვლა. მაგალითად, ლის ალგებრებისთვის $(a-b)(a+b)=a^2-b^2$ ფორმულის ნაცვლად მართებულია $(a-b)(a+b)=2ab$ ფორმულა.

ველები

ჩვენ უკვე ვთქვით, რომ რგოლის ცნება, რომელიც ყველა (1) აქსიომას აკმაყოფილებს, მათემატიკის ზოგიერთ საკითხში ძალზე ვიწრო აღმოჩნდა, მაგრამ მათემატიკის სხვა საკითხებში კი ძალზე ფართო — რგოლის განსაზღვრაში ხომ ერთი სიტყვაც არაა ნათქვამი გაყოფაზე. მერედა, ყველა რგოლში როდია გაყოფა შესაძლებელი. ავიღოთ, მაგალითად, ყველა მთელი რიცხვის (დადებითის და უარყოფითის) რგოლი. 3 რომ გავყოთ 5-ზე, მთელ რიცხვს ვერ მივიღებთ. ხოლო გაყოფის გარეშე შეუძლებელია პირველი ხარისხის განტოლების ამოხსნაც კი.

განტოლებების შესასწავლად საჭირო გახდა შემოვზღუდულიყავით იმ რგოლებით, რომლებშიც არის გაყოფის ოპერაცია. ასეთ რგოლებს მათემატიკოსებმა ველები უწოდეს. როგორც ნამდვილ ველზე შეიძლება ყოველ მხარეს წასვლა და არ შეგვხვდება არავითარი დაბრკოლება, ისე მათემატიკურ ველში შეიძლება დაუბრკოლებლად შევასრულოთ ყველა არითმეტიკული მოქმედება. თუმცა ერთი შეზღუდვა მაინც არსებობს — ველში ნულზე გაყოფა არ შეიძლება.

მკითხველი ჯერ კიდევ მეექვსე კლასში გაეცნო ერთ ველს — ყველა რაციონალური რიცხვის (დადებითის და უარყოფითის) ველს. გვიან ის გაეცნო მეორე, უფრო ფართო ველს — ყველა ნამდვილი რიცხვის (როგორც რაციონალურის, ისე ირაციონალურის) ველს, დაბოლოს, ყველა კომპლექსური რიცხვიც ველს ქმნის.

გარდა ამ სამი ველისა (რაციონალური, ნამდვილი, კომპლექსური რიცხვებისა) არის კიდევ ბევრი სხვა ველიც, რომლებიც რიცხვებისაგან შედგება. ავიღოთ, მაგალითად, $a+b\sqrt{3}$ სახის ყველა რიცხვი, სადაც a და b რაციონალური რიცხვებია. რიცხვთა ამ სიმრავლეში შედის, მაგალითად, $\sqrt{3}=0+1\cdot\sqrt{3}$, მაგრამ არ შედის $\sqrt{5}$. ვაჩვენოთ, რომ რიცხვთა ეს სიმრავლე ველს ქმნის.

მართლაც, ჩვენი სიმრავლიდან ავიღოთ ორი რიცხვი: $a+b\sqrt{3}$ და $c+d\sqrt{3}$. მათ ჯამს აქვს ასეთი სახე:

$$(a+b\sqrt{3})+(c+d\sqrt{3})=(a+c)+(b+d)\sqrt{3}.$$

რადგან $a+c$ და $b+d$ რაციონალური რიცხვებია, ამიტომ $(a+b\sqrt{3})+(c+d\sqrt{3})$ რიცხვიც აგრეთვე ჩვენს სიმრავლეს ეკუთვნის. ზუსტად ასევე ტოლობიდან:

$$(a+b\sqrt{3})(c+d\sqrt{3})=ac+ad\sqrt{3}+bc\sqrt{3}+3bd=(ac+3bd)+(ad+bc)\sqrt{3}$$

გამომდინარეობს, რომ განსახილავი სიმრავლის ორი რიცხვის ნამრავლი ისევ მას მიეკუთვნება.

უფრო რთულადაა საქმე განაყოფთან. ავიღოთ რიცხვი $\frac{a+b\sqrt{3}}{c+d\sqrt{3}}$. ის რომ $m+n\sqrt{3}$ სახით დავწეროთ, გავთავისუფლდეთ მნიშვნელში ირაციონალობისაგან:

$$\frac{a+b\sqrt{3}}{c+d\sqrt{3}}=\frac{(a+b\sqrt{3})(c-d\sqrt{3})}{(c+d\sqrt{3})(c-d\sqrt{3})}=$$

$$=\frac{(ac-3bd)+(bc-ad)\sqrt{3}}{c^2-3d^2}=$$

$$=\frac{ac-3bd}{c^2-3d^2}+\frac{bc-ad}{c^2-3d^2}\sqrt{3}.$$

რიცხვები $\frac{ac-3bd}{c^2-3d^2}$ და $\frac{bc-ad}{c^2-3d^2}$ რაციონალურია, ამიტომ $\frac{a+b\sqrt{3}}{c+d\sqrt{3}}$ ჩვენს სიმრავლეს ეკუთვნის.

თუმცა ნუ იჩქარებთ: ყველა რიცხვი როდი იყოფა ერთმანეთზე (რაციონალური რიცხვების ველშიც კი). ამიტომ თუ რიცხვი c^2-3d^2 ნულის ტოლი აღმოჩნდა, მაშინ არაფერი გამოგვივა. მაგრამ როცა c და d რაციონალურია, $c^2-3d^2=0$ ტოლობა მხოლოდ მაშინ გვექნება, თუ $c=d=0$. ამ შემთხვევაში კი რიცხვი $c+d\sqrt{3}$ უდრის ნულს და მასზე გაყოფა არ შეიძლება.

თქვენ თვითონ დაამტკიცეთ, რომ $a+b\sqrt{5}$ რიცხვები, სადაც a და b რაციონალურია, ქმნიან ველს, ხოლო $a+b\sqrt{2}+c\sqrt{3}$ სახის რიცხვები, სადაც a, b, c რაციონალურია, არ ქმნიან ველებს, რადგან

$\sqrt{2}\cdot\sqrt{3}=\sqrt{6}$. ველის მისაღებად უნდა გავაფართოვოთ რიცხვთა ეს სიმრავლე, კერძოდ, განვიხილოთ $a+b\sqrt{2}+c\sqrt{3}+d\sqrt{6}$ სახის რიცხვები, სადაც a, b, c, d რაციონალურია.

ველების აგება მარტო რიცხვებით როდი შეიძლება. მაგალითად, ყველა ალგებრული წილადის სიმრავლე ველს ქმნის.

მამრავლებად დაშლა და განტოლებების ამოხსნა

რიცხვების მამრავლებად დაშლა

რიცხვების მამრავლებად დაშლას მოსწავლეები ჯერ კიდევ დაწყებით სკოლაში ეცნობიან. საერთო მნიშვნელის მოძებნისას მათ უხდებათ შესაკრებთა მნიშვნელების მამრავლებად დაშლა. მამრავლებად დაშლა საჭიროა წილადების შეკვეცის დროსაც.

არითმეტიკის ერთ-ერთი ძირითადი დებულებაა: ყოველი ნატურალური რიცხვი ერთადერთი სახით იშლება მარტივ მამრავლებად. მაგალითად:

$$72=2\cdot2\cdot2\cdot3\cdot3;\quad 1001=7\cdot11\cdot13$$

(რა თქმა უნდა, დაშლები, რომლებიც მხოლოდ მამრავლთა რიგით განსხვავდებიან, ერთი და იგივედ მიგვაჩნია). შეგახსენებთ, რომ მარტივი რიცხვი ეწოდება ნატურალურ რიცხვს, რომელსაც აქვს მხოლოდ ორი სხვადასხვა გამყოფი (თვითონ რიცხვი და 1). რიცხვი 1 მარტივად არ ითვლება.

ახლა განვიხილოთ არა მარტო ნატურალური რიცხვები, არამედ ნულიც და უარყოფითი მთელი რიცხვებიც. სხვა სიტყვებით, ავიღოთ ყველა მთელი რიცხვის სიმრავლე. ერთი შეხედვით აქ მარტივი რიცხვის ცნების გარკვევაა უფრო ძნელი. მაგალითად, $7=(-1)\cdot(-7)$. ეს ნიშნავს თუ არა, რომ რიცხვი 7 მარტივი არ არის, თუ მას ყველა მთელი რიცხვის სიმრავლეში განვიხილავთ? თურმე არა, საჭიროა მხოლოდ იმის დაზუსტება, რას ეწოდება მარტივი რიცხვი.

შევნიშნოთ, რომ -1 რიცხვს აქვს შემდეგი თვისება: თუ 1 გავყოფთ -1-ზე, განაყოფში მთელ რიცხვს მივიღებთ. ასეთივე თვისების მეორე მთელ რიცხვს თვითონ ერთიანი წარმოადგენს. ამ რიცხვებს (1 და -1) ერთის გამყოფებს ვუწოდებთ.

ვუწოდოთ მთელ p რიცხვს მარტივი, თუ იგი ერთის გამყოფს არ წარმოადგენს, მაგრამ ორი მთელი მამრავლის ნამრავლად მის ნებისმიერ დაშლაში ერთი თანამამრავლი აუცილებლად წარმოადგენს ერთის გამყოფს. ასეთი განსაზღვრისას რიცხვი 7 ყველა მთელი რიცხვის სიმრავლეში გადასვლის შემდეგაც მარტივ რიცხვად რჩება. მარტივი იქნება -7 რიცხვიც.

თავის ძალას ინარჩუნებს არითმეტიკის ძირითადი კანონიც, მაგრამ მისი ფორმულირება ოდნავაა შეცვლილი: ნულისაგან განსხვავებული ყოველი მთელი რიცხვი იშლება მარტივი მთელი რიცხვების ნამრავლად; ეს დაშლა ცალსახად განსაზღვრულია თანამამრავლთა გადაჯგუფებისა და ზოგიერთი თანამამრავლის -1-ზე, ე. ი. ერთის გამყოფზე გამრავლების სიზუსტით. მაგალითად,

$$21=3\cdot7=7\cdot3=(-3)(-7)=(-7)(-3).$$

მიღებულია, რომ ასეთი დაშლები არ განასხვავონ ერთმანეთისაგან.

საოცარი დაშლა

რიცხვთა თეორიის ზოგიერთი რთული საკითხის გადაწყვეტისას საჭირო გახდა მთელი რიცხვების არა მარტო მთელ მამრავლებად, არამედ $a+b\sqrt{5}$ სახის მამრავლებად დაშლაც, სადაც a და b მთელი რიცხვებია. ასეთი სახის რიცხვები თვითონ ქმნიან რგოლებს. მათთვის, როგორც მთელი რიცხვებისთვისაც, შეიძლება განვსაზღვროთ ცნება მარტივი რიცხვის, ერთის გამყოფის და ა. შ. მაგალითად, რიცხვი $2+\sqrt{5}$ წარმოადგენს ერთის გამყოფს, რადგან

$$(2+\sqrt{5})(-2+\sqrt{5})=1.$$

რაოდენ დიდი იყო მათემატიკოსთა გაოცება, როცა აღმოჩნდა, რომ $a+b\sqrt{5}$ რიცხვთა რგოლში დარღვეულია არითმეტიკის ძირითადი კანონი მარტივ მამრავლებად დაშლის ერთადერთობის შესახებ. მაგალითად,

$$4=2\cdot2=(3+\sqrt{5})(3-\sqrt{5})$$

ცალსახა არ არის მარტივ მამრავლებად დაშლა $a + b\sqrt{-5}$ სახის რიცხვთა რგოლშიც, სადაც a და b მთელი რიცხვებია. ამ რგოლში ერთის ერთადერთი გამყოფებია იგივე რიცხვები 1 და -1, რაც მთელი რიცხვების რგოლშიც. მაგრამ

$$21=3\cdot 7=(4+\sqrt{-5})(4-\sqrt{-5})=$$
$$=(1-2\sqrt{-5})(1+2\sqrt{-5}).$$

აი, $a + b\sqrt{3}$ (a და b მთელი რიცხვებია) სახის რიცხვების რგოლში ერთის 1 და -1 გამყოფების გარდა გვაქვს კიდევ, მაგალითად,

$$(2+\sqrt{3})(2-\sqrt{3})=1.$$

მაგრამ ამ რგოლში მამრავლებად დაშლა ცალსახაა (როგორც ყოველთვის, მამრავლთა გადაჯგუფებისა და ამ მამრავლების ერთის გამყოფებზე გამრავლების სიზუსტემდე).

რიცხვთა თეორიაში სრულადაა შესწავლილი **საკითხი** $a + b\sqrt{\pm D}$ სახის რომელ რგოლებშია მარტივ მამრავლებად დაშლის ცალსახობა, და რომლებში — არა. ჩვენ ამაზე არ შევჩერდებით.

მრავალწევრთა მამრავლებად დაშლა

მთელი რიცხვების მამრავლებად დაშლა ძალზე მოგვაგონებს ელემენტარული მათემატიკის მეორე განყოფილებას — მრავალწევრთა დაშლას მამრავლებად. ეს განყოფილება ძალზე მოეწონა ჩვენს ნაცნობ გიას, როცა ის მეშვიდე კლასში სწავლობდა. გიას შეეძლო მამრავლებად დაეშალა არა მარტო ისეთი მარტივი მრავალწევრები, როგორიცაა $x^2-4=(x-2)(x+2)$, არამედ დაჯგუფების საშუალებით შეეძლო დაეშალა:

$$x^2-3x+2=x^2-x-2x+2=x(x-1)-$$
$$-2(x-1)=(x-1)(x-2).$$

ამ მაგალითებს იგი სხვადასხვა ამოცანათა კრებულიდან იღებდა. მაგრამ, როცა თვითონ სცადა მაგალითის მოგონება და x^2+6x+4 მრავალწევრის მამრავლებად დაშლა დაიწყო, არაფერი გამოუვიდა. შემდეგ მოისაზრა, რომ x^2-2 მრავალწევრიც არ იშლებოდა მამრავლებად. მან მიაგდო ფურცელი, რომელზეც მაგალითს ხსნიდა, და იპოვა ერთი წლის შემდეგ, როცა მერვე კლასში იყო. „რაზე ვფიქრობდი!“ — წამოიძახა მან, — აკი

$$x^2-2=(x-\sqrt{2})(x+\sqrt{2}),$$
$$x^2+6x+4=(x+3+\sqrt{5})(x+3-\sqrt{5})“.$$

გია ფიქრობდა, რომ კვადრატული განტოლების ამოხსნის შესწავლის შემდეგ შეუძლია ნებისმიერი კვადრატული სამწევრის მამრავლებად დაშლა. მაგრამ მისი სიხარული ნაადრევი გამოდგა; როცა $x^2+6x+10$ მრავალწევრის ამოხსნას შეუდგა, ირაციონალური რიცხვების გამოყენებამაც ვერ უშველა. $x^2+6x+10=0$ კვადრატული განტოლების ამოხსნისას თავი იჩინა კვადრატულმა ფესვებმა უარყოფითი რიცხვებიდან, ასეთი ფესვების შესახებ კი მან არაფერი იცოდა.

მხოლოდ მეათე კლასში ისწავლა გიამ ასეთი მრავალწევრების დაშლა; მასწავლებელმა უამბო კომპლექსური რიცხვების შესახებ, რის შემდეგაც არა მარტო ყველა კვადრატული განტოლების ამოხსნა შეძლო, არამედ ყველა კვადრატული სამწევრის მამრავლებად დაშლაც:

$$x^2+6x+10=(x+3+i)(x+3-i).$$

რატომაა, რომ სხვადასხვა კლასში გია სხვადასხვაგვარად უდგებოდა მრავალწევრთა დაშლის ამოცანას, რატომ ფართოვდებოდა სულ უფრო იმ მრავალწევრთა კლასი, რომელთა დაშლაც შეეძლო მამრავლებად? ეს ადვილად აიხსნება — მამრავლების დაშლის ამოცანა არც თუ ისე ზუსტადაა დაყენებული. ამას გარდა, საჭიროა გავარჩიოთ, როგორი შეიძლება იყოს ეს მამრავლები, როგორი რიცხვები უნდა იყოს მათი კოეფიციენტები. მეშვიდე კლასში გიამ მხოლოდ რაციონალური რიცხვები იცოდა. ამიტომ მრავალწევრებს იგი მხოლოდ რაციონალურ კოეფიციენტებიან მამრავლებად შლიდა. მერვე კლასში ირაციონალურ რიცხვებს გაეცნო. ახლა უკვე შეეძლო ნებისმიერი ნამდვილ კოეფიციენტებიანი მამრავლებით სარგებლობა. გია წელში გაიმართა მეათე კლასში, როცა კომპლექსურ კოეფიციენტებიან მრავალწევრებს ხვდებოდა. ამრიგად, საკმარისი როდია, ვთქვათ: „მამრავლებად დაშალეთ $f(x)=a_0x^n+a_1x^{n-1}+\dots+a_n$ მრავალწევრი“. უნდა ვთქვათ აგრეთვე, რომელ ველს უნდა ეკუთვნოდეს ამ მამრავლების კოეფიციენტები.

თუ $f(x)$ მრავალწევრის ყველა კოეფიციენტი რიცხვთა P ველს ეკუთვნის, მაშინ ამბობენ, რომ $f(x)$ წარმოადგენს მრავალწევრს P ველზე. მაგალი-

თად, $x^2 + 6x + 10$ არის მრავალწევრი რაციონალურ რიცხვთა ველზე, $x^2 + 2x + \pi$ კი — ნამდვილ რიცხვთა ველზე, ხოლო მრავალწევრი $x^2 + ix + 3 - i$ — კომპლექსურ რიცხვთა ველზე.

ცხადია, თუ P ველი P_1 ველის ნაწილია (ანუ, როგორც მათემატიკოსები ამბობენ, მისი ქვეველი), მაშინ ნებისმიერი მრავალწევრი P ველზე შეიძლება განვიხილოთ როგორც მრავალწევრი P_1 ველზე, რადგან მისი კოეფიციენტები P ველს ეკუთვნის და, მაშასადამე, ეკუთვნის P_1 ველსაც. ასეთი მიდგომა მოსახერხებელია მრავალწევრების მამრავლებად დაშლისას. მაგალითად, შეიძლება ვილაპარაკოთ $x^2 + 6x + 10$ მრავალწევრის დაშლაზე კომპლექსურ რიცხვთა ველზე.

თავისი თვისებებით მრავალწევრების მამრავლებად დაშლა მთელი რიცხვების დაშლას ჰგავს. მხოლოდ მარტივი რიცხვების ნაცვლად უნდა ავიღოთ ეგრეთ წოდებული დაუყვანადი მრავალწევრები, რომელთა წარმოდგენაც უფრო მცირე ხარისხის ორი მრავალწევრის ნამრავლად (მოცემულ ველზე) არ შეიძლება. ერთის გამყოფებს წარმოადგენენ მხოლოდ ნული ხარისხის მრავალწევრები, ე. ი. ნულისაგან განსხვავებული რიცხვები. როგორც მთელი რიცხვებიც, აქ ყოველი მრავალწევრი დაუყვანადი მრავალწევრების ნამრავლად ერთადერთი სახით იშლება. ცხადია, ორი ასეთი დაშლა:

$$x^2+3x+2=(x+1)(x+2)=(2x+2)\left(\frac{1}{2}x+1\right),$$

რომლებიც მხოლოდ ერთის გამყოფებით განირჩევიან, ერთმანეთისაგან განუსხვავებლად მიიჩნევა.

მრავალწევრთა მამრავლებად დაშლა და განტოლებების ამოხსნა

რატომაა საჭირო მრავალწევრების მამრავლებად დაშლა? ერთი მიზეზი ნათელია — ალგებრულ წილადებზე მოქმედების შესასრულებლად. მაგრამ არის მეორე მიზეზიც — მამრავლებად დაშლა განტოლებების ამოხსნას აადვილებს. ვთქვათ, მოცემულია

$$x^5 + 2x^4 - x - 2 = 0$$

განტოლება. მეხუთე ხარისხის განტოლებების ამოხსნა ჩვენ არ ვიცით. მაგრამ მარცხენა ნაწილში წევრები რომ დავაჯგუფოთ, მივიღებთ:

$$(x + 2)(x^4 - 1) = 0.$$

ანუ

$$(x + 2)(x - 1)(x + 1)(x^2 + 1) = 0.$$

ახლა კი ჩანს, რომ მარცხენა ნაწილი ნულად იქცევა, როცა $x_1 = -2$, $x_2 = 1$, $x_3 = -1$. მაშასადამე, ეს რიცხვები ჩვენი განტოლების ფესვებს წარმოადგენენ. სხვა ნამდვილი ფესვები მას არა აქვს, რადგან ნამრავლი ნულის ტოლია მხოლოდ მაშინ, როდესაც რომელიმე მამრავლი უდრის ნულს, ხოლო $x^2 + 1$ მამრავლი x-ის არც ერთი ნამდვილი მნიშვნელობისათვის ნულად არ იქცევა.

საერთოდ, თუ $f(x) = 0$ ალგებრული განტოლების მარცხენა ნაწილი შეიძლება $(x - \alpha)\,p\,(x) = 0$ სახით ჩაიწეროს, სადაც $p(x)$ აგრეთვე მრავალწევრია, მაშინ $x = \alpha$ იქნება ჩვენი განტოლების ერთერთი ფესვი. პირიქითაც: თუ α რიცხვი $f(x) = 0$ ალგებრული განტოლების ფესვს წარმოადგენს, მაშინ $f(x)$ მრავალწევრი უნაშთოდ იყოფა $x - \alpha$-ზე. ამასთანავე, თუ $f(x)$ მრავალწევრის კოეფიციენტები და α ფესვი P ველს ეკუთვნის, მაშინ იმავე ველს მიეკუთვნება $p(x)$ მრავალწევრის კოეფიციენტებიც, — მრავალწევრების „სვეტით“ გაყოფისას ჩვენ ხომ მხოლოდ ოთხ არითმეტიკულ მოქმედებას ვასრულებთ მათ კოეფიციენტებზე. განსაკუთრებით ადვილია ისეთი განტოლებების ამოხსნა, რომელთა მარცხენა ნაწილიც პირველი ხარისხის მამრავლებადაა დაშლილი:

$$(x-\alpha_1)(x-\alpha_2)\ \ldots\ (x-\alpha_n)=0.$$

ამ შემთხვევაში ცხადია, რომ ფესვები იქნება α_1, α_2, ..., α_n რიცხვები, სხვა ფესვები კი არ გვექნება (რადგან თუ x განსხვავებულია ყველა α_1, α_2, ..., α_n რიცხვისაგან, მაშინ პირველი ხარისხის არც ერთი მამრავლი ნულად არ იქცევა).

სწორია საწინააღმდეგოც: თუ ვიცით

$$f(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \ldots + a_n,$$

მრავალწევრის n ფესვი α_1, α_2,..., α_n, მაშინ

$$f(x) = a_0(x - \alpha_1)(x - \alpha_2)\ldots(x - \alpha_n).$$

ნათქვამიდან ნათლად ჩანს, რომ n ხარისხის განტოლებას არ შეიძლება ჰქონდეს n ფესვზე მეტი. მაგრამ ნებისმიერ განტოლებას აქვს თუნდაც ერთი ფესვი? სხვათა შორის, ეს ამოცანა ისევ არაა მკაფიოდ დასმული: გაუგებარია, რას ნიშნავს „ნებისმიერი განტოლება“, როგორი უნდა იყოს მისი კოეფიციენტები. გაუგებარია ისიც, როგორ ფესვებს განვიხილავთ.

მრავალწევრთა ალგებრის ძირითადი თეორემა

ჩვენ ვნახეთ, რომ რაც უფრო მდიდარია ელემენტებით P ველი, მით უფრო ადვილია მასზე მოცემული $f(x)$ მრავალწევრის მამრავლებად დაშლა. მაგალითად, მრავალწევრი x^4-2 სულ არ იშლება რაციონალური რიცხვების ველზე, მაგრამ სამ მამრავლად იშლება ნამდვილ რიცხვთა ველზე:

$$x^4-2=(x-\sqrt[4]{2})(x+\sqrt[4]{2})(x^2+\sqrt{2})$$

და ოთხ მამრავლად — კომპლექსურ რიცხვთა ველზე:

$$x^4-2=$$
$$=(x-\sqrt[4]{2})(x+\sqrt[4]{2})(x-i\sqrt[4]{2})(x+i\sqrt[4]{2}).$$

მაგრამ ველის გაფართოებით ფართოვდება დაშლელ მრავალწევრთა სიმრავლე. თუ კოეფიციენტებად ავიღებთ არა მარტო რაციონალურ, არამედ ნამდვილ რიცხვებსაც, მაშინ დაგვჭირდება დაშლა არა მარტო ისეთი მრავალწევრებისა, როგორიცაა x^4-2, არამედ ისეთებისაც, როგორიცაა $x^4-\sqrt{2}$ და ისეთებისაც კი, როგორიცაა $x^4-\pi$; ხოლო თუ გამოვიყენებთ კომპლექსურ რიცხვებს, მაშინ უნდა განვიხილოთ x^4+i სახის მრავალწევრებიც.

საბედნიეროდ, აღმოჩნდა, რომ ველის გაფართოება უფრო ხელსაყრელია: კომპლექსურ რიცხვთა ველზე ნებისმიერი მრავალწევრი (არა მარტო რაციონალური, არამედ ნებისმიერ კომპლექსურ კოეფიციენტებიანიც) ბოლომდე იშლება, ე. ი. იშლება პირველი ხარისხის მამრავლებად. ეს კი ნიშნავს, რომ კომპლექსურ კოეფიციენტიანი n ხარისხის განტოლებას აქვს ზუსტად n ფესვი. ამ თეორემას მრავალწევრთა ალგებრის ძირითადი თეორემა ეწოდება. იგი 1799 წ. დაამტკიცა კ. გაუსმა.

უფრო რთულია ნამდვილ რიცხვთა ველზე მრავალწევრის დაშლა. როგორც ვნახეთ, ამ ველზე $x^2+6x+10$ მრავალწევრი პირველი ხარისხის მამრავლებად არ იშლება. მაგრამ ნამდვილ კოეფიციენტებიანი ნებისმიერი მრავალწევრი, რომლის ხარისხიც ორს აღემატება, ყოველთვის იშლება ამავე სახის კოეფიციენტებიან მამრავლებად. ამიტომ ნამდვილ კოეფიციენტებიანი ყოველი მრავალწევრი ნამდვილ რიცხვთა ველზე პირველი და მეორე ხარისხის მამრავლებად იშლება.

განტოლებების ამოხსნა რადიკალებში

ალგებრის ძირითადი თეორემა გვარწმუნებს, რომ ყოველ ალგებრულ განტოლებას აქვს ფესვები (ასეთი სახის თეორემებს მათემატიკაში არსებობის თეორემები ეწოდება). მაგრამ იგი არაფერს გვეუბნება, როგორ ვეძებოთ ეს ფესვები. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, საკითხი, თუ როგორ ამოვხსნათ მოცემული განტოლება, ღიად რჩება ძირითადი თეორემის დამტკიცების შემდეგაც.

დიდი ხანია, რაც ადამიანები განტოლებებს ხსნიდნენ. ამასთან ცდილობდნენ (ოთხი არითმეტიკული მოქმედებისა და ამოფესვის დახმარებით) კოეფიციენტებით გამოეხატათ განტოლების ფესვები. ეს შესაძლებელი გახდა კვადრატული განტოლებებისათვის, შემდგომში კი მესამე და მეოთხე ხარისხის განტოლებებისათვისაც (იხ. სტატია „როგორ სწავლობდნენ ძველად განტოლებათა ამოხსნას“).

მათემატიკოსები მრავალი წლის მანძილზე ცდილობდნენ, მეხუთე ხარისხის ნებისმიერი განტოლება რადიკალებში ამოეხსნათ (ე. ი. იმავე ხუთი მოქმედების დახმარებით). ყველა ამ ცდას წარმატება არ მოჰყოლია. დიდხანს ფიქრობდნენ, რომ წარუმატებლობის მიზეზი მათემატიკოსთა არასაკმაო ცოდნა იყო და, რომ ოდესმე გამოჩნდებოდა გენიოსი, რომელიც ამოხსნიდა ამ ამოცანას.

გენიოსი მართლაც გამოჩნდა. ეს იყო ახალგაზრდა ნორვეგიელი მათემატიკოსი ნ. აბელი. მაგრამ სასურველი ფორმულის დასახელების ნაცვლად მან უარყოფითად უპასუხა — ამოცანის



ნილს ჰენრიკ აბელი.

ამოხსნა არ შეიძლებაო. სხვათა შორის აბელი თავდაპირველად შეცდა (გენიოსებიც უშვებენ შეცდომებს); მას მოეჩვენა, რომ იპოვა ფორმულა, რომელიც მეხუთე ხარისხის განტოლებას რადიკალებში ამოხსნიდა. მაგრამ შემდეგ შენიშნა შეცდომა, გაანალიზა თავისი მსჯელობები და გამოიტანა შესანიშნავი დასკვნა: არა მარტო მცდარია მის მიერ გამოყვანილი ფორმულა, არამედ საერთოდაც არ არსებობს ზოგადი ფორმულა, რომელიც გამოსახავს მეხუთე ხარისხის ნებისმიერი განტოლების ფესვებს ამ განტოლების კოეფიციენტებით, შეკრების, გამოკლების, გამრავლების, გაყოფისა და ამოფესვის საშუალებით.

ფარგალი და სახაზავი

განტოლებების თეორიის განვითარებაზე დიდი გავლენა მოახდინა ფარგლითა და სახაზავით აგების ამოცანებმა, განსაკუთრებით, წესიერი მრავალკუთხედების აგების ამოცანებმა. სასკოლო კურსიდან ცნობილია, როგორ აიგოს ფარგლითა და სახაზავით წესიერი სამკუთხედი, კვადრატი და ექვსკუთხედი. უფრო სრულ კურსებში მოთხრობილია წესიერი ხუთკუთხედის აგების შესახებ. მაგრამ წესიერი შვიდკუთხედის ან ცხრაკუთხედის აგებაზე არაფერია ნათქვამი. ეს შემთხვევითი როდია: არც წესიერი შვიდკუთხედი, არც წესიერი ცხრაკუთხედი არ შეიძლება აიგოს ფარგლითა და სახაზავით.

როგორ გაიგეს ეს? ამოხსნადობის დამტკიცება ხომ შედარებით ადვილია — საკმარისია მივუთითოთ მისი ამოხსნის გზა. მაგრამ იმის დამტკიცება, რომ ამოცანის ამოხსნა არ შეიძლება, ძალიან ძნელია. ამოცანის ამოხსნის გზა უამრავია, და დამტკიცება იმისა, რომ არც ერთი მათგანი არ მიგვიყვანს მიზნამდე, ერთი შეხედვით, შეუძლებელია.

მაგრამ მათემატიკოსებმა თავი გაართვეს ამ ამოცანას. ამისათვის ჯერ გამოიკვლიეს საკითხი, ერთი მოცემული მონაკვეთიდან გამომდინარე როგორი მონაკვეთების აგება შეიძლება ფარგლითა და სახაზავით (წესიერი მრავალკუთხედის აგების შემთხვევაში მოცემულია შემოხაზული წრეწირის რადიუსი ან საძიებელი წესიერი მრავალკუთხედის გვერდი).

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად საჭირო გახდა კვადრატული ირაციონალობის ცნების შემოღება. ასე ეწოდება რიცხვებს, რომლებიც ერთიდან მიიღება ოთხი არითმეტიკული მოქმედებისა და კვადრატული ფესვის ამოღების ოპერაციის დახმარებით. აი, მაგალითად, ზოგიერთი რიცხვი, რომლებიც კვადრატულ ირაციონალობებს წარმოადგენენ:

$$\sqrt{3},\ 2-\sqrt{7},\ \sqrt[4]{5}=\sqrt{\sqrt{5}},\ \frac{\sqrt{\sqrt[8]{7}-\sqrt{2}}}{\sqrt{5}+\sqrt[16]{3}},\ \ldots.$$

ერთად აღებული ყველა კვადრატული ირაციონალობა ქმნის რიცხვთა ველს, თანაც ამ ველზე ყოველთვის შეიძლება შესრულდეს დადებითი რიცხვიდან კვადრატული ფესვის ამოღების ოპერაცია.

დამტკიცდა, რომ, თუ მოცემულია a ნონაკვეთი, რომლის სიგრძე მიღებულია ერთეულად, მაშინ ფარგლითა და სახაზავით შეიძლება აიგოს ნებისმიერი მონაკვეთები, რომელთა სიგრძეები კვადრატულ ირაციონალობებს წარმოადგენს, და მხოლოდ ეს მონაკვეთები.

მაგალითად, მოცემულგვერდიანი წესიერი ხუთკუთხედის ასაგებად საკმარისია ავაგოთ მისი დიაგონალი (მაშინ წრეწირის ჰდეებით შეიძლება ყველა წვეროს პოვნა). გამოთვლები გვიჩვენებს,

რომ თუ ხუთკუთხედის გვერდი უდრის 1-ს, მაშინ მისი დიაგონალის სიგრძეა $\frac{\sqrt{5}+1}{2}$. რადგან ეს რიცხვი კვადრატულ ირაციონალობას წარმოადგენს, წესიერი ხუთკუთხედის აგება ფარგლითა და სახაზავის დახმარებით შესაძლებელია.

მაგრამ წესიერი ცხრაკუთხედის აგება არ შეიძლება. მისი აგება დაიყვანება 120°-იანი კუთხის სამ ტოლ ნაწილად დაყოფამდე. ტრიგონომეტრიის ფორმულების მიხედვით:

$$\cos 3\varphi = 4\cos^3\varphi - 3\cos\varphi.$$

ვთქვათ, $3\varphi = 120°$. რადგანაც $\cos 120° = -\frac{1}{2}$, ამიტომ $\cos\varphi$ სიდიდის მოსაძებნად მივიღებთ კუბურ განტოლებას:

$$4\cos^3\varphi - 3\cos\varphi + \frac{1}{2} = 0,$$

ან, თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $2\cos\varphi = x$, მივიღებთ განტოლებას:

$$x^3 - 3x + 1 = 0. \qquad (3)$$

დამტკიცებული იყო, რომ, თუ მთელკოეფიციენტებიანი კუბური განტოლების ერთ-ერთი ფესვი კვადრატულ ირაციონალობას წარმოადგენს, მაშინ მას აქვს რაციონალური ფესვიც. ადვილი დასამტკიცებელია, რომ (3) განტოლებას რაციონალური ფესვები არა აქვს; მაშასადამე, არა აქვს ფესვებიც, რომლებიც კვადრატულ ირაციონალობებს წარმოადგენენ. ამიტომ არ შეიძლება ავაგოთ ფარგლითა და სახაზავით წესიერი ცხრაკუთხედი. (რამდენადაც 120°-იანი კუთხის სამ ნაწილად გაყოფა ფარგლითა და სახაზავით შეუძლებელია, ჰით უფრო შეუძლებელია ნებისმიერი კუთხის გაყოფა სამ ტოლ ნაწილად ფარგლითა და სახაზავით. ზოგიერთი კუთხისათვის, მაგალითად, 90°-იანი კუთხისთვის, ეს ამოცანა ამოხსნადია.) ზუსტად ასევე ჰტკიცდება ფარგლითა და სახაზავით წესიერი ჵვიდკუთხედის აგების შეუძლებლობა.

ფარგლითა და სახაზავით წესიერი ვრავალკუთხედის აგების ამოცანის საბოლოო ამოხსნა მოგვცა გაუსმა 1796 წ. მან დაამტკიცა, რომ, თუ p მარტივი რიცხვია, მაშინ მოცემულგვერდიანი წესიერი p-კუთხედის აგება ფარგლითა და სახაზავით მხოლოდ იმ შემთხვევაში მოხერხდება, როცა p რიცხვი შეიძლება ჩაიწეროს $p = 2^{2^n} + 1$ სახით, სადაც n მთელი რიცხვია. მაგალითად, როცა $n = 0$, გვაქვს $p = 3$, ხოლო როცა $n = 1$, ვღებულობთ $p = 5$. ამიტომ წესიერი სამკუთხედი და წესიერი ხუთკუთხედი შეიძლება აიგოს ფარგლითა და სახაზავით. როცა $n = 2$, მივიღებთ $p = 17$. მაშასადამე, წესიერი ჩვიდმეტკუთხედიც ფარგლითა და სახაზავით აიგება. ფარგლითა და სახაზავით შეიძლება ავაგოთ 257 და 65536 გვერდიანი წესიერი მრავალკუთხედებიც კი. ხოლო როცა $n = 5$, რიცხვი $2^{2^5} + 1$ შედგენილი აღმოჩნდება. ამიტომ წესიერი $(2^{2^5} + 1)$-კუთხედი ფარგლითა და სახაზავით არ აიგება.

უძველეს ხანაში მათემატიკოსებმა ბევრი დრო დახარჯეს კუბის გაორკეცების შემდეგი ამოცანის ამოსახსნელად: მოცემულია a გვერდიანი კუბი; ავაგოთ ისეთი კუბი, რომლის მოცულობა ორჯერ მეტია მოცემული კუბის მოცულობაზე. გამოვარკვიოთ, როგორი მონაკვეთის აგებაა საჭირო ამ ამოცანის ამოსახსნელად. a მონაკვეთის სიგრძე მივიჩნიოთ ერთეულად, ხოლო საძიებელი კუბის წიბოს სიგრძე x-ით აღვნიშნოთ. მაშინ მოცემული კუბის მოცულობა უდრის ერთს, ხოლო საძიებელი კუბისა—ორს. ამოცანის პირობით უნდა იყოს: $x^3 = 2$. ამ განტოლებას არ აქვს რაციონალური ფესვები. ამიტომ ზემოთ აღნიშნული თეორემის თანახმად მას არ აქვს ფესვებიც, რომლებიც კვადრატულ ირაციონალობებს წარმოადგენენ. მაშასადამე, კუბის გაორკეცების ამოცანის ამოხსნა ფარგლითა და სახაზავით შეუძლებელია.

გაცილებით ძნელი იყო იმის დამტკიცება, რომ ფარგლითა და სახაზავით შეუძლებელია აიგოს ერთეულ რადიუსიანი წრის ტოლდიდი კვადრატი (ამოცანა წრის კვადრატურაზე). ეს დამტკიცება არაალგებრული მეთოდით იქნა ჩატარებული. დამტკიცდა, რომ ასეთი კვადრატის გვერდი არა თუ არ წარმოადგენს კვადრატულ ირაციონალობას, არამედ შეუძლებელია იყოს მთელკოეფიციენტებიანი რომელიმე ალგებრული განტოლების ფესვიც კი (ასეთ რიცხვებს არაალგებრულ, ანუ ტრანსცენდენტურს უწოდებენ).

ᲮᲒᲣᲤᲔᲑᲘ

გეომეტრიული გარდაქმნების გამრავლება

იმის შესახებ, თუ რა არის გეომეტრიული გარდაქმნები და როგორ გამოიყენება ისინი ამოცანების ამოსახსნელად, დაწვრილებით იყო მოთხრობილი სტატიაში „გეომეტრიული გარდაქმნები“. ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ მათემატიკის ეს ნაწილი მთლიანად გეომეტრიას განეკუთვნება, ხოლო ალგებრაისტებს მასთან არავითარი საქმე არა აქვთ. მაგრამ ეს ასე არაა; თურმე შეიძლება გ ა მ რ ა ვ ლ დ ე ს გეომეტრიული გარდაქმნები, ხოლო ალგებრა ხომ სხვადასხვა მოქმედებების, მათ შორის გარდაქმნების გამრავლების, თვისებებს შეისწავლის.

როგორღა გავამრავლოთ გეომეტრიული α გარდაქმნა გეომეტრიულ β გარდაქმნაზე? სრულიად უბრალოდ — ჯერ შევასრულოთ α გარდაქმნა, შემდეგ კი β. ამის შედეგად მივიღებთ ახალ გარდაქმნას. მას α და β გარდაქმნების ნამრავლს უწოდებენ და აღნიშნავენ $\alpha\beta$ სიმბოლოთი. ვთქვათ, მაგალითად, α წარმოადგენს სიბრტყის მობრუნებას O წერტილის ირგვლივ 30°-ით, ხოლო β — მობრუნებას იმავე O წერტილის ირგვლივ 45°-ით. თუ ამ მობრუნებებს ერთიმეორის მიყოლებით შევასრულებთ, მივიღებთ სიბრტყის მობრუნებას O წერტილის ირგვლივ 75°-ით. ეს მობრუნება წარმოადგენს სწორედ α და β მობრუნებების ნამრავლს.

გარდაქმნების გამრავლება თავისი თვისებით რიცხვთა გამრავლებას ჰგავს. მაგალითად, გარდაქმნების გასამრავლებლად მართებულია ასოციაციურობის კანონი:

$$\alpha(\beta\gamma) = (\alpha\beta)\gamma$$

($\alpha(\beta\gamma)$ და $(\alpha\beta)\gamma$ დაიყვანება α, β, γ, გარდაქმნების თანმიმდევრულ გამოყენებაზე). არის გარდაქმნაც, რომელიც ერთეულის როლს ასრულებს, ე. ი. ისეთი, რომ ნებისმიერი α გარდაქმნისათვის მართებულია ფორმულა $\alpha \cdot e = e \cdot \alpha = \alpha$. ეს არის იგივეური გარდაქმნა e, რომელიც ადგილზე ტოვებს ყველა წერტილს. ცხადია, თუ ჯერ შევასრულებთ e გარდაქმნას, ე. ი. ყველაფერს უცვლელად დავტოვებთ, ხოლო შემდეგ α გარდაქმნას, ეს იგივეა, რომ ჩავატაროთ მხოლოდ α გარდაქმნა. ამიტომ $e \cdot \alpha = \alpha$. ზუსტად ასევე მტკიცდება, რომ $\alpha \cdot e = \alpha$.

მაგრამ საჭიროა თუ არა ბოლო ტოლობის დამტკიცება? — იკითხავს მკითხველი. ხომ დამტკიცებულია უკვე, რომ $e \cdot \alpha = \alpha$, ხოლო თანამამრავლთა გადაადგილებით ნამრავლი არ იცვლება. მაგრამ გაიხსენეთ, რომ კ ვ ა ტ ე რ ნ ი ო ნ ე ბ ი ს გამრავლებისას თანამამრავლთა გადაადგილება არ შეიძლება. თურმე მათი გადაადგილება არ შეიძლება გარდაქმნების გამრავლების დროსაც. აი, უბრალო მაგალითი.

ვთქვათ, α არის Ox ღერძის გასწვრივ გადაწევა 6 ერთეულით, ხოლო β წარმოადგენს O წერტილის ირგვლივ მობრუნებას 90°-ით. α გარდაქმნის დროს კოორდინატთა სათავე გადავა A (6; 0) წერტილში. β გარდაქმნის დროს (ე. ი. 90°-ით მობრუნებისას) A წერტილი გადავა B (0; 6) წერტილში. ამრიგად, $\alpha \cdot \beta$ გარდაქმნას O წერტილი B წერტილში გადაჰყავს. ახლა ჩავატაროთ იგივე გარდაქმნები შებრუნებული რიგით. α მობრუნებისას O წერტილი ადგილზე რჩება. ხოლო β გადაწევისას O წერტილი გადავა A წერტილში. მაშასადამე, $\beta \cdot \alpha$ გარდაქმნას O გადაჰყავს A წერტილში და არა B წერტილში. ჩვენ ვხედავთ, რომ $\alpha\beta \neq \beta\alpha$.

ამრიგად, გარდაქმნათა გამრავლებას კომუტატიურობის თვისება არა აქვს. $\alpha\beta = \beta\alpha$ ტოლობის შესრულება გარდაქმნებისათვის გამონაკლისს წარმოადგენს. ერთი ამ გამონაკლისთაგანი მოცემულია ფორმულით: $\alpha e = e\alpha$.

გარდაქმნები შეიძლება არა მარტო გამრავლდეს, არამედ გაიყოს კიდეც ერთმანეთზე. რიცხვებისათვის გაყოფა დაიყვანება გამრავლებაზე შებრუნებულ რიცხვზე. მაგალითად: $2:5 = 2 \cdot \frac{1}{5} = 2 \cdot 5^{-1}$. გარდაქმნებისთვისაც გაყოფა უნდა შევცვალოთ შ ე ბ რ უ ნ ე ბ უ ლ გ ა რ დ ა ქ მ ნ ა ზ ე გამრავლებით. ამ გარდაქმნას შემდეგნაირად განსაზღვრავენ.

ვთქვათ, α გარდაქმნას P წერტილი Q წერტილში გადაჰყავს. მაშინ მის შებრუნებულ α^{-1} გარდაქმნას Q წერტილი ისევ P წერტილში გადაჰყავს. მაგალითად, თუ α მარჯვნივ გადაწევაა a მონაკვეთზე, მაშინ α^{-1} იმავე a მონაკვეთზე მარცხნივ გადაწევაა.

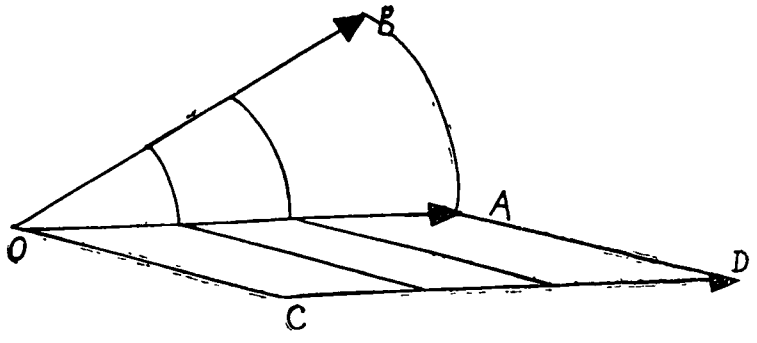
ცხადია, რომ, თუ ჯერ ჩავატარებთ α გარდაქმნას, ხოლო შემდეგ α^{-1} გარდაქმნას, ამის შედეგად ყველა წერტილი თავის ადგილს დაუბრუნდება და იგივური გარდაქმნა მიიღება. ამიტომ $\alpha \cdot \alpha^{-1} = e$. ზუსტად ასევე $\alpha^{-1} \cdot \alpha = e$.

ახლა ცხადია, როგორ შეიძლება გარდაქმნების გაყოფა. მხოლოდ, რიცხვებისაგან განსხვავებით, გარდაქმნებისათვის ორი სახის გაყოფა გვაქვს — მარცხნიდან და მარჯვნიდან. თუ α გარდაქმნას მარცხნიდან β-ზე გავყოფთ, მივიღებთ $\beta^{-1}\alpha$, თუ მარჯვნიდან — მაშინ $\alpha\beta^{-1}$.

რატომაა საჭირო გარდაქმნების გამრავლება? ამაში რომ გავერკვეთ, გავეცნოთ გეომეტრიული ნაკვთების ტოლობის ცნებას.

რა არის ტოლი ნაკვთები

სტატიაში „გეომეტრიული გარდაქმნები“ ნათქვამია, რომ ორ გეომეტრიულ ნაკვთს ტოლი ეწოდება, თუ არის მოძრაობა, რომლის საშუალებით შეიძლება ერთი ნაკვთი მეორეს შევუთავსოთ. ტოლი ნაკვთების გეომეტრიული თვისებები სავსებით ერთნაირია. ამიტომ შეიძლება ვთქვათ, რომ გეომეტრია შეისწავლის ნაკვთების მხოლოდ იმ თვისებებს, რომლებიც არ იცვლება მოძრაობისას.



ნახ. 2.

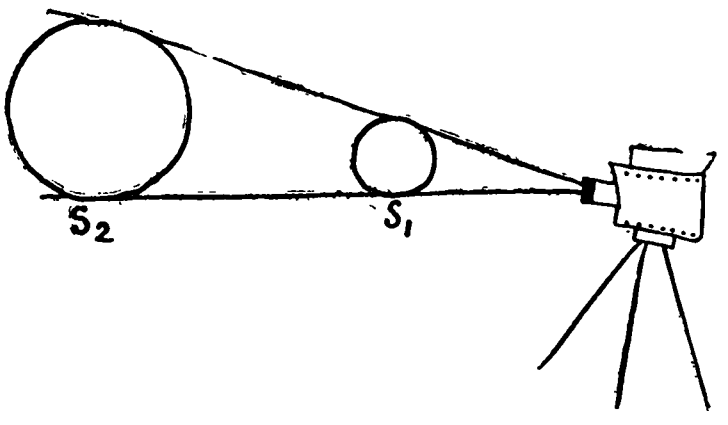
მაგრამ ეს განსაზღვრა ყოველთვის როდია დამაკმაყოფილებელი. მაგალითად, ვექტორების შესწავლისას (ხოლო ვექტორთა თეორია გეომეტრიის ნაწილია) იგულისხმება, რომ ორი ვექტორი ტოლია, თუ მათ აქვთ არა მარტო ერთნაირი სიგრძე, არამედ ურთიერთპარალელური არიან და აქვთ ერთნაირი მიმართულება. ამიტომ, მაგალითად, $\overrightarrow{OA}$ და $\overrightarrow{OB}$ ვექტორები (ნახ. 2) არ ითვლება ტოლად, თუმცა ერთი მათგანი მიიღება მეორისაგან O წერტილის ირგვლივ ბრუნვით. იმავე ნახაზზე $\overrightarrow{OA}$ და $\overrightarrow{CD}$ ვექტორები კი ტოლია. $\overrightarrow{OA}$ ვექტორიდან $\overrightarrow{CD}$ ვექტორი რომ მივიღოთ, საჭიროა სიბრტყის პარალელური გადატანა $\overrightarrow{OC}$ ვექტორზე.

ამრიგად, ორ ვექტორს ტოლი ეწოდება, თუ ერთი მათგანი მიიღება მეორისაგან პარალელური გადატანის საშუალებით. შეიძლება ითქვას, რომ ვექტორული ალგებრა შეისწავლის თვისებებს, რომლებიც უცვლელი რჩება პარალელური გადატანისას.

სხვა შემთხვევებში საჭირო ხდება ნაკვთების იმ თვისებათა შესწავლა, რომლებიც უცვლელი რჩება მხოლოდ რაიმე წერტილის ირგვლივ მობრუნებისას. თუ მაგალითად, ინჟინერმა ტურბინი უნდა გაიანგარიშოს, მისთვის ტურბინის ყველა ნიჩაბი ტოლუფლებიანია — ერთი მათგანი მიიღება მეორისაგან ტურბინის ღერძის ირგვლივ ბრუნვით. ხოლო რადიუსის გასწვრივ ნიჩბის გადატანა არ შეიძლება — ამ შემთხვევაში შეიცვლება ცენტრიდანული ძალა და მთელი გაანგარიშება არასწორი აღმოჩნდება.

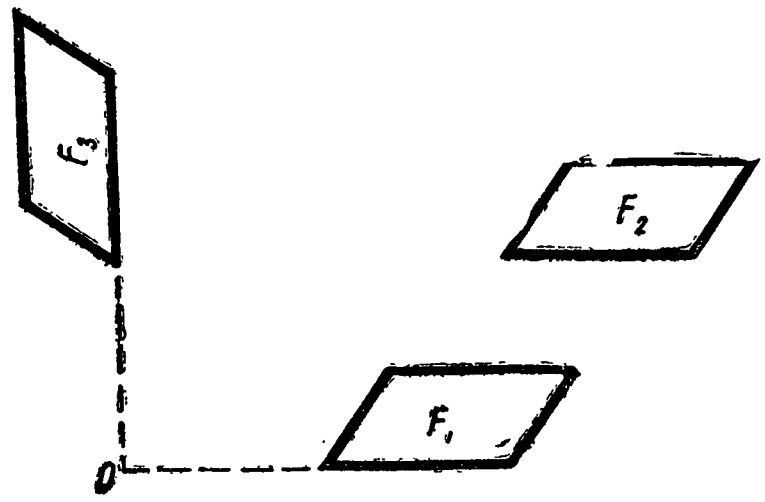
ზუსტად ასევე, ორი ნაკვთი სფეროზე ტოლად უნდა ჩავთვალოთ, თუ ერთი მათგანი მიიღება მეორისგან სფეროს ცენტრის ირგვლივ მობრუნებით.

შეიძლება დავასახელოთ ისეთი შემთხვევებიც, როცა მიზანშეწონილია ტოლად მივიჩნიოთ გეომეტრიული ნაკვთები, რომლებიც ჩვეულებრივი თვალსაზრისით ტოლი არაა; მაგალითად, წრეწირის კუთხობრივი თვისებების შესწავლისას შეიძლება სულაც არ გავითვალისწინოთ მისი ზომები. მაშინ ყველა წრეწირი ჩვენთვის ერთნაირი იქნება. მაგრამ მე-3 ნახაზზე S_1 წრეწირი შეუძლებელია



ნახ. 3.

მოძრაობით გადავიყვანოთ S_2 წრეწირში. ამისათვის საჭიროა მსგავსების უფრო ზოგადი გარდაქმნა გამოვიყენოთ. არის შემთხვევებიც, როცა მიზანშეწონილია ტოლად ჩავთვალოთ ისეთი ნაკვთები, რომლებიც ერთმანეთში გადაიყვანება აფინური, გეგმილური და ა. შ. გარდაქმნებით (ამის შესახებ უფრო დაწვრილებით იხ. სტატიაში „გეომეტრიული გარდაქმნები“).



ნახ. 4.

ამიტომ გეომეტრიული ნაკვთების ტოლობას შეიძლება მივცეთ ასეთი განსაზღვრა. ვთქვათ, გვაქვს გეომეტრიული გარდაქმნების რაიმე G სიმრავლე. F_1 ნაკვთს ამ გარდაქმნათა სიმრავლის მიმართ F_2 ნაკვთის ტოლი ეწოდება, თუ არსებობს ისეთი α გარდაქმნა G-დან, რომელსაც F_1 ნაკვთი გადაყავს F_2 ნაკვთში. მაგალითად, თუ G სიმრავლე პარალელური გადატანებისაგან შედგება, მაშინ, მე-4 ნახაზის F_1 და F_2 ნაკვთები ტოლია, ხოლო F_1 და F_3 ნაკვთები ტოლი არაა. ხოლო თუ G სიმრავლე O წერტილის ირგვლივ მობრუნებებისაგან შედგება, მაშინ ტოლი აღმოჩნდება F_1 და F_3 ნაკვთები, ხოლო F_1 და F_2 ტოლი არ იქნება. დაბოლოს, თუ ავიღებთ სიბრტყეთა ყველა მოძრაობის სიმრავლეს, მაშინ მის მიმართ სამივე ნაკვთი ტოლი იქნება.

ცხადია, რომ რაც უფრო მეტ გარდაქმნას შეიცავს G სიმრავლე, მით უფრო მეტი ნაკვთი აღმოჩნდება ტოლი ამ გარდაქმნების სიმრავლის მიმართ.

გეომეტრიულ გარდაქმნათა ჯგუფები

გეომეტრიული გარდაქმნების ყოველი G სიმრავლე როდია გამოსადეგი ნაკვთების ტოლობის განსასაზღვრად. ხომ შეიძლება, რომ G სიმრავლეში არ იყოს გარდაქმნა, რომელიც რომელიღაც F ნაკვთს უცვლელად ტოვებს. მაშინ აღმოჩნდება, რომ ეს ნაკვთი არ უდრის თავის თავს. რასაკვირველია, ტოლობის ასეთი განსაზღვრა არ ივარგებდა. ამიტომ მოვითხოვთ, რომ G სიმრავლის გარდაქმნებს შორის იყოს იგივური გარდაქმნა e, ე. ი. ისეთი, რომლის დროსაც ყველა ნაკვთი უცვლელი რჩება. მაშინ ამ სიმრავლის მიმართ ნებისმიერი ნაკვთი თავისი თავის ტოლი იქნება.

მაგრამ მხოლოდ იგივური გარდაქმნის არსებობა როდია საკმარისი. შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ G სიმრავლეში არის გარდაქმნა, რომელსაც F_1 ნაკვთი F_2 ნაკვთში გადაყავს, არის გარდაქმნაც, რომელსაც F_2 ნაკვთი F_3 ნაკვთში გადაყავს, მაგრამ არ არის გარდაქმნა, რომელიც F_1 ნაკვთს პირდაპირ F_3 ნაკვთში გადაიყვანს. მაშინ გამოდის, რომ $F_1 = F_2$, $F_2 = F_3$, მაგრამ $F_1 \neq F_3$.

რომ ავიცილოთ ეს უსიამოვნება, მივიღოთ შემდეგი პირობა: ორ ნებისმიერ α და β გარდაქმნასთან ერთად G სიმრავლეში შედის მათი ნამრავლიც $\alpha\beta$.

ბოლოს, საჭიროა, რომ $F_1 = F_2$ ტოლობიდან გამომდინარეობდეს $F_2 = F_1$ ტოლობა. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, საჭიროა, იმ გარდაქმნასთან ერთად, რომელსაც F_1 ნაკვთი F_2 ნაკვთში გადაყავს, G სიმრავლე შეიცავდეს გარდაქმნასაც, რომელიც F_2 ნაკვთს F_1 ნაკვთში გადაიყვანს. ამისათვის საკმარისია, G სიმრავლე α გარდაქმნასთან ერთად შეიცავდეს მის შებრუნებულ α^{-1} გარდაქმნასაც.

შევაჯამოთ ზემოთქმული: იმისათვის, რომ გეომეტრიული ნაკვთების ტოლობას, რომელიც გარდაქმნათა G სიმრავლითაა განსაზღვრული, „კარგი“ თვისებები ჰქონდეს, საჭიროა, შემდეგი: 1) G სიმრავლე უნდა შეიცავდეს იგივურ გარდაქმნას; 2) თუ α და β ორი ნებისმიერი გარდაქმნაა G-დან, მაშინ მათი ნამრავლიც $\alpha\beta$ შედის G-ში; 3) G სიმრავლე უნდა შეიცავდეს ყოველ α გარდაქმნასთან ერთად მის შებრუნებულ α^{-1} გარდაქმნასაც.

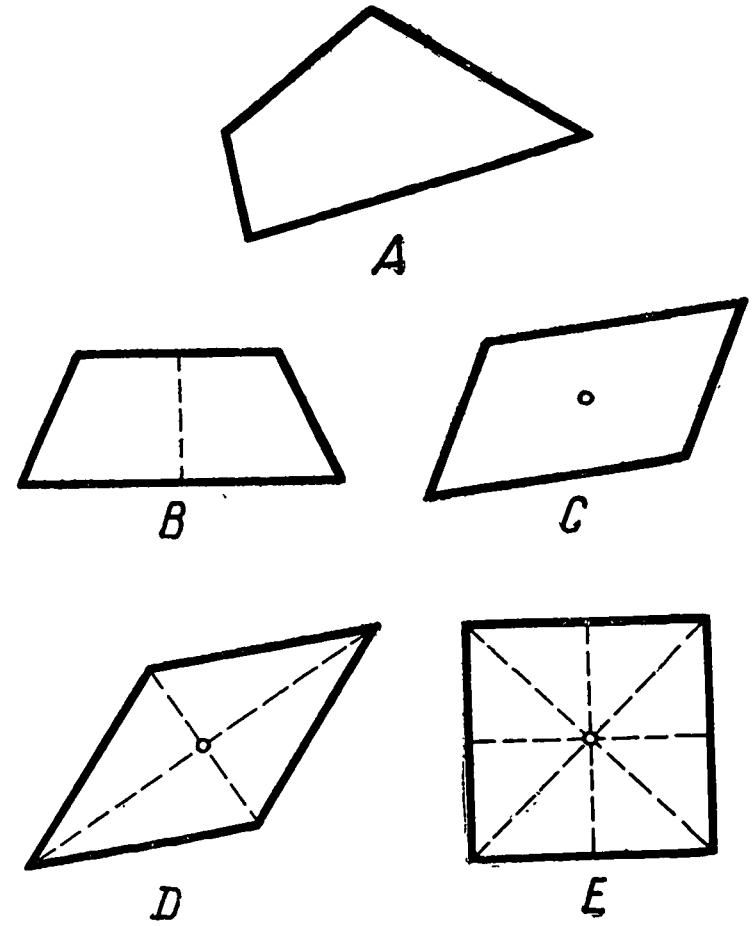
გარდაქმნათა სიმრავლეს, რომლისთვისაც შესრულებულია ეს სამი პირობა, გეომეტრიული გარდაქმნების ჯგუფი ეწოდება. ამრიგად, იმისათვის, რომ გეომეტრიული გარდაქმნების G სიმრავლის დახმარებით შესაძლებელი იყოს გეომეტრიული ნაკვთების ტოლობის ცნების განსაზღვრა, საჭიროა, ეს სიმრავლე იყოს ჯგუფი.

სხვადასხვა გეომეტრიები

იმ დრომდე, ვიდრე მათემატიკოსებმა ვერ გაიგეს, რომ გეომეტრიული ნაკვთების ტოლობის განსაზღვრა შეიძლება გეომეტრიული გარდაქმნების სხვადასხვა ჯგუფების დახმარებით, ეგონათ, რომ არსებობს მხოლოდ ერთი გეომეტრია, კერძოდ ის, რომელსაც სკოლაში შეისწავლიან. ეს შეხედულება პირველად შეარყია ნ. ლობაჩევსკიმ, რომელმაც ააგო ჩვეულებრივისაგან მკვეთრად განსხვავებული ახალი გეომეტრია (იხ. სტატია „სხვადასხვა გეომეტრიების შესახებ“). ლობაჩევსკისა და ევკლიდეს გეომეტრიათა განსხვავებულობის ჭეშმარიტი მიზეზი პირველად ღრმად გააშუქა გერმანელმა მათემატიკოსმა ფ. კლაინმა. მან გვიჩვენა, რომ ამის მიზეზია გარდაქმნათა იმ ჯგუფებს შორის განსხვავება, რომლებიც ნაკვთების ტოლობის განსასაზღვრავად ამ გეომეტრიებში გამოიყენება: ევკლიდეს გეომეტრიაში ამისათვის ჩვეულებრივი მოძრაობის ჯგუფები გამოიყენება, ლობაჩევსკის გეომეტრიაში კი სულ სხვა გარდაქმნების ჯგუფი (მათ სიბრტყის ჰიპერბოლური მოძრაობები ეწოდება).

საზოგადოდ, სიბრტყის გარდაქმნების ყოველი ჯგუფი განსაზღვრავს ტოლობის თავის ცნებას და, მაშასადამე, თავის გეომეტრიასაც. გარდაქმნათა რომელიმე ჯგუფის შესაბამის გეომეტრიაში შეისწავლება მხოლოდ ის თვისებები, რომლებიც ერთნაირია ამ ჯგუფის მიმართ ტოლი ნაკვთებისათვის. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, შეისწავლება ნაკვთების ის გეომეტრიული თვისებები, რომლებიც უცვლელი რჩება განხილული ჯგუფის ყველა გარდაქმნის დროს. გეომეტრიაზე ეს შეხედულება პირველად მკაფიოდ ჩამოაყალიბა 1872 წ. ქ. ერლანგენში ფ. კლაინმა. მას შემდეგ გეომეტრიის გაგების ასეთმა მიდგომამ ერლანგენის პროგრამის სახელწოდება მიიღო.

სასკოლო გეომეტრიის თეორემებიც ფაქტიურად სხვადასხვა გეომეტრიებს მიეკუთვნება. ზოგი მათგანი ეხება ისეთი ნაკვთების თვისებას, რომლებიც მოძრაობისას არ იცვლებიან, ზოგიერთნი კი — უფრო ძლიერ თვისებებს, რომლებიც არ იცვლებიან ნებისმიერი აფინური გარდაქმნებისა და ნებისმიერი გეგმილური გარდაქმნების დროსაც კი (ამის შესახებ დაწვრილებით იხილეთ სტატიაში „გეომეტრიული გარდაქმნები“).



ნახ. 5.

სიმეტრიის ჯგუფები

დახედეთ მე-5 ნახაზზე გამოსახულ გეომეტრიულ ნაკვთებს. ამ ნახაზზე არ შეიძლება A ნაკვთს სიმეტრიული ვუწოდოთ. B და C ნაკვთებს კი აქვთ გარკვეული სიმეტრია. უფრო სიმეტრიულია D ნაკვთი და, რა თქმა უნდა, ამ დახაზულ ნაკვთებს შორის ყველაზე სიმეტრიულ ნაკვთს კვადრატი წარმოადგენს. მაგრამ ეს ჯერ მხოლოდ სიტყვებია — სიმეტრიულობა არც სიგრძეა და არც ფართობი, ამიტომ სიმეტრიულობის შესაფასებლად ცნებებს „მეტი“ და „ნაკლები“ ჯერ ზუსტი აზრი არა აქვთ.

როგორ შეიძლება შევაფასოთ ნაკვთის მეტი თუ ნაკლები სიმეტრიულობა? ამისათვის საჭიროა განვიხილოთ სიბრტყის ყველა იმ მოძრაობის სიმრავლე, რომლებსაც განხილული ნაკვთი თავის თავში გადაყავთ. A ნაკვთისათვის (ნახ. 5) ერთადერთ ასეთ მოძრაობას იგივური გარდაქმნა წარმოადგენს. B და C ნაკვთებისათვის, გარდა იგივური გარდაქმნისა, არის კიდევ თითო მოძრაობა, რომლებსაც ისინი თავიანთ თავში გადაყავთ. სახელდობრ, ტოლფერდა ტრაპეციისათვის არის ღერძული სიმეტრია (იმ წრფის მიმართ, რომელიც ფუძეების შუა წერტილებს აერთებს), პარალელოგრამისათვის კი ცენტრალური სიმეტრია. D რომბისათვის უკვე გვაქვს ოთხი მოძრაობა, რომლებიც მას თავის თავთან ათავსებს: იგივური გარდაქმნა, ორი ღერძული სიმეტრია დიაგონალების მიმართ და ცენტრალური სიმეტრია. ბოლოს, კვადრატისათვის გვაქვს რვა ასეთი გარდაქმნა (ოთხი ღერძული სიმეტრია შუა წრფისა და დიაგონალების მიმართ და ოთხი ბრუნვა 0°, 90°, 180°, 270° კუთხით).

ცხადია, რომ ყველა იმ მოძრაობის ერთობლიობა, რომლებსაც მოცემული გეომეტრიული ნაკვთი თავის თავში გადაყავს, ქმნის ჯგუფს. მართლაც, თუ α და β გარდაქმნებს F ნაკვთი თავის თავში გადაყავს, მათ ნამრავლსაც $\alpha \cdot \beta$ იგი გადაყავს თავის თავში. მას, რა თქმა უნდა, ვერ შეცვლის იგივური გარდაქმნაც. ზემოთქმული მართებულია შებრუნებული გარდაქმნისათვისაც. ყველა იმ მოძრაობის ჯგუფს, რომლებსაც ნაკვთი თავის თავში გადაყავს, ამ ნაკვთის სიმეტრიის ჯგუფი ეწოდება.

რაც უფრო ფართოა მოცემული ნაკვთის სიმეტრიის ჯგუფი, მით უფრო სიმეტრიულია იგი. სწორედ ამიტომ კვადრატი ყველაზე სიმეტრიულია იმ ნაკვთებს შორის, რომლებიც მე-5 ნახაზზეა ნაჩვენები. სიმეტრიის სხვადასხვა ტიპების სიმეტრიული ნაკვთების საინტერესო მაგალითებს ნაყშები გვაძლევს.

თუ ნაკვთი თავის თავში გადადის ყველა მობრუნებისას $\frac{360° \cdot k}{n}$ სახის კუთხით, სადაც k მთელია, ხოლო n — ფიქსირებული, მაშინ ამბობენ, რომ მას აქვს n რიგის სიმეტრია. ასეთი სიმეტრია აქვს, მაგალითად, წესიერ n-კუთხედს.

არის ნაკვთები, რომელთა სიმეტრიის ჯგუფები უსასრულოა. მაგალითებად გამოგვადგება წრეწირი, რგოლი.

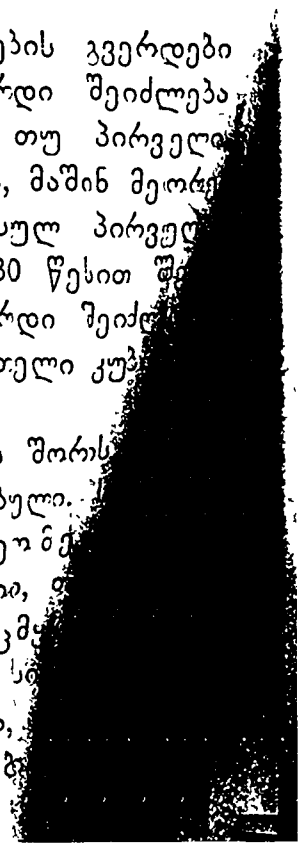
რა თქმა უნდა, სიმეტრიის ჯგუფის შესახებ ლაპარაკი შეიძლება არა მარტო ბრტყელი, არამედ სივრცითი ნაკვთებისთვისაც. ამ შემთხვევაში ჩვეულებრივ განიხილავენ მხოლოდ სივრცის მოძრაობებს, რომლებიც სიბრტყეების მიმართ სიმეტრიული არ არიან (მათი შესრულება არ შეიძლება სივრცეში სივრცითი სხეულების მოძრაობით როგორც მთლიანი მყარისა). მაგალითად, შეიძლება ვილაპარაკოთ წესიერი ტეტრაედრის, კუბის, იკოსაედრის, წესიერი n-კუთხოვანი პრიზმის და ა. შ. სიმეტრიების ჯგუფზე. დაე, მკითხველი დარწმუნდეს, რომ კუბის სიმეტრიების ჯგუფი შედგება 24 ელემენტისაგან, წესიერი n-კუთხა პრიზმისა კი $2n$ ელემენტისაგან.

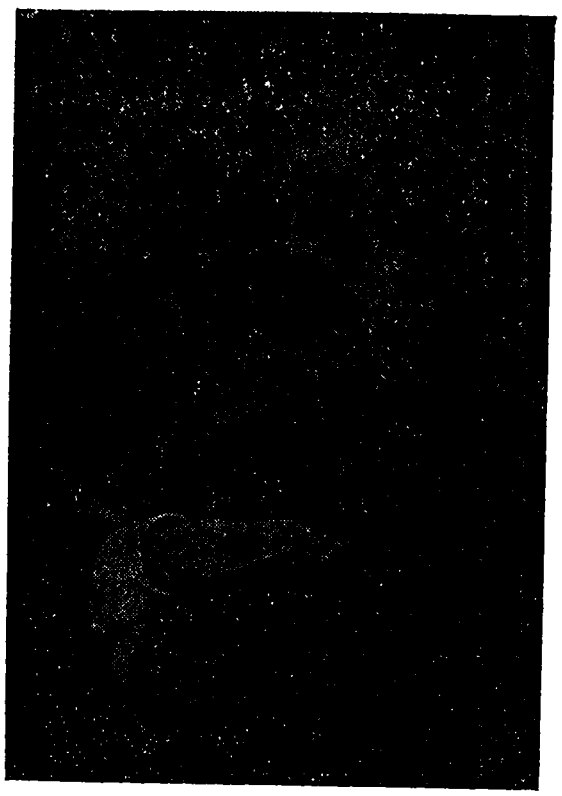
ამოცანა კუბის შეფერვის შესახებ

კუბის სიმეტრიების ჯგუფის გამოყენებით ადვილად ამოიხსნება საინტერესო ამოცანა კუბის შეფერვის შესახებ. ვთქვათ, მოცემულია კუბი და 6 საღებავი: ლურჯი, მწვანე, ყვითელი, წითელი, ყავისფერი და შავი. რამდენი სხვადასხვა წესით შეიძლება შეიღებოს ამ საღებავებით კუბის 6 გვერდი ისე, რომ ყოველ გვერდს სხვადასხვა ფერი ჰქონდეს?

ამ ამოცანის ამოსახსნელად კუბის გვერდები დავნომროთ. მაშინ პირველი გვერდი შეიძლება 6 სხვადასხვა წესით შეიღებოს. თუ პირველი გვერდისათვის საღებავი არჩეულია, მაშინ მეორე გვერდისათვის 5 ფერი რჩება. სულ პირველი ორი გვერდი შეიძლება $6 \cdot 5 = 30$ წესით შეიღებოს. ასევე, პირველი სამი გვერდი შეიძლება $6 \cdot 5 \cdot 4 = 120$ წესით შეიღებოს, მთელი კუბი — $6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 720$ წესით.

ახლა გამოვარკვიოთ, ამ წესებს შორის რამდენია გეომეტრიულად განსხვავებული. სახელდობრ, კუბის ორ შეფერილობას ჩვენ გეომეტრიულად დამთხვევადი ვუწოდოთ, თუ ერთი მეორისაგან მიიღება მეორისაგან კუბის, როგორც მყარი სხეულის, მოძრაობით. რადგან კუბის სიმეტრიების ჯგუფი 24 ელემენტისაგან შედგება, ამიტომ შეფერილობათა რაოდენობა, რომელიც





ევგრაფი სტეფანეს ძე
ფედოროვი.

რიულად ემთხვევა მოცემულს (თვით მისი ჩათვლით), 24 უდრის. მაშასადამე, კუბის გეომეტრიულად განსხვავებული შეფერილობა 24-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე შეფერილობის საერთო რაოდენობა, ე. ი. 720 : 24 = 30.

სიმეტრია ბუნებაში

სიმეტრია აქვთ არა მარტო გეომეტრიულ ნაკვთებს ან ადამიანის ხელით გაკეთებულ საგნებს, არამედ ბუნების ბევრ ქმნილებასაც (პეპლებს, ჭრიჭინებს, ფოთლებს, ზღვის ვარსკვლავებს და ა. შ.). განსაკუთრებით მრავალფეროვანია კრისტალების სიმეტრიის თვისებები. მათი ერთი ნაწილი უფრო სიმეტრიულია, მეორე — ნაკლებად. კარგა ხანს ვერ შეძლეს კრისტალოგრაფებმა აეწერათ კრისტალების ყველა სახის სიმეტრია. ეს ამოცანა 1890 წ. რუსმა მეცნიერმა ე. ფედოროვმა ამოხსნა. მან დაამტკიცა, რომ არსებობს ზუსტად 230 ჯგუფი, რომლებსაც თავის თავში გადაყავთ კრისტალური მესერი. ამ აღმოჩენამ მნიშვნელოვნად შეუმსუბუქა კრისტალოგრაფებს იმ კრისტალების სახეობების შესწავლა, რომლებიც შეიძლება არსებობდეს ბუნებაში.

მაგრამ უნდა შევნიშნოთ: ბუნებაში კრისტალების მრავალსახეობა იმდენად დიდია, რომ ჯერჯერობით ჯგუფობრივი მიდგომის გამოყენებამაც კი არ მოგვცა საშუალება აგვეწერა კრისტალების ყველა შესაძლებელი ფორმა.

ძალზე ფართოდ გამოიყენება სიმეტრიის ჯგუფების თეორია კვანტურ ფიზიკაში. განტოლებები, რომლებითაც ატომში ელექტრონების მოქმედება აიწერება (ე. წ. შრედინგერის ტალღური განტოლება), ელექტრონების მცირე რაოდენობის დროსაც კი იმდენად რთულია, რომ უშუალოდ მათი ამოხსნა პრაქტიკულად შეუძლებელია. მაგრამ თუ გამოვიყენებთ ატომის სიმეტრიის თვისებებს (ბირთვის ელექტრომაგნიტური ველის უცვლელობას მობრუნებისა და სიმეტრიების დროს, ზოგი ელექტრონის ერთმანეთს შორის გადანაცვლების შესაძლებლობას, ე. ი. ატომში ამ ელექტრონების სიმეტრიულ განლაგებას, და ა. შ.), შესაძლებელი ხდება ამ განტოლებათა ამონახსნების გამოკვლევა განტოლებების ამოხსნათა გარეშე.

საზოგადოდ, ჯგუფთა თეორიის გამოყენება ბუნების მოვლენების სიმეტრიის გამოკვლევისა და აღრიცხვის მძლავრ მათემატიკურ მეთოდს წარმოადგენს.

ალგებრულ გარდაქმნათა ჯგუფები

გარდაქმნები შეიძლება მოვახდინოთ არა მარტო გეომეტრიულ ნაკვთებზე, არამედ ალგებრულ გამოსახულებებზეც. რა თქმა უნდა, აქ ლაპარაკია არა იგივურ გარდაქმნებზე (ფრჩხილების გახსნა, მსგავს წევრთა შეერთება და ა. შ.). ჩვენ განვიხილავთ ისეთ გარდაქმნებს, როგორიცაა ცვლადების ნიშნების შეცვლა, ცვლადების გადაადგილება და ა. შ.

მაგალითად, მრავალწევრი

$$x^3 - y^2 + 3xy^4$$

x და y ცვლადების ნიშნების შეცვლის შემდეგ გადაიქცევა მრავალწევრად

$$-x^3 - y^2 - 3xy^4,$$

ხოლო x და y ცვლადების გადაადგილების შედეგად მივიღებთ მრავალწევრს

$$y^3 - x^2 + 3yx^4.$$

ალგებრულ გამოსახულებათა გარდაქმნა ფ. კლაინის ერლანგენური პროგრამის თვალსაზრისით თავისებურ გეომეტრიას წარმოადგენს. ამ გეომეტრიაში „ნაკვთები“ არის ალგებრული გამოსახულებანი (მრავალწევრები, წილადები და ა. შ.), ხოლო გარდაქმნების ჯგუფი ერთ შემთხვევაში შედგება ცვლადების ყველა გადანაცვლებისაგან, მეორე შემთხვევაში — ცვლადების ციკლური გადანაცვლებისაგან (რომლის დროსაც ყოველი ცვლადი იცვლება შემდეგით, ხოლო უკანასკნელი — პირველით), მესამე შემთხვევაში—ცვლადების ნიშნების ყველა შესაძლებელი შეცვლისაგან და ა. შ.

ასეთი გეომეტრიის ამოცანას, როგორც ჩვეულებრივი გეომეტრიისას, წარმოადგენს „ნაკვთების“ (ე. ი. ალგებრული გამოსახულებების) ისეთი თვისებების პოვნა, რომლებიც შეიძლება შევინარჩუნოთ მოცემული ჯგუფის ყველა გარდაქმნის დროს. კერძოდ, ძალზე საინტერესოა მოცემული ჯგუფისათვის „სიმეტრიული ნაკვთების“ პოვნა და შესწავლა, ე. ი. ალგებრული გამოსახულებებისა, რომლებიც არ იცვლება მოცემული ჯგუფის გარდაქმნების დროს. მაგალითად, თუ განვიხილავთ ნიშნების ყველა შეცვლის ჯგუფს, მაშინ „სიმეტრიული ნაკვთები“ იქნება ლუწი გამოსახულებანი, ე. ი. ისეთები, რომლებსაც ცვლადების ყველა ხარისხის მაჩვენებელი ლუწი აქვთ (მაგალითად, $x^2 + y^4$, $x^2 + 5 - x^8y^6$, $\frac{x^2 - y^2}{x^4 + y^4}$ და ა. შ.).

ცვლადების ყველა გადანაცვლების ჯგუფისათვის „სიმეტრიული ნაკვთები“ იქნება ისეთი გამოსახულებანი, რომლებიც ცვლადების არც ერთი გადანაცვლებისას არ იცვლებიან. მათ სიმეტრიული ფუნქციები ეწოდება. მაგალითად, ორი x, y ცვლადის სიმეტრიულ მრავალწევრებს წარმოადგენენ:

$$x^2y^2 - x^4 - y^4, \quad x^2 + xy + y^2, \quad x^5 + y^5, \quad xy^3 + x^3y.$$

ასეთ გეომეტრიას თავისი თეორემებიც აქვს. მაგალითად, შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ x და y ცვლადების ნებისმიერი სიმეტრიული მრავალწევრი გამოისახება ორი უმარტივესი $x + y$ და xy მრავალწევრის საშუალებით. მაგალითად:

$$x^5 + y^5 = (x+y)^5 - 5(x+y)^3xy + 5(x+y)(xy)^2.$$

ამ თეორემის გამოყენება შეიძლება განტოლებათა სისტემების ამოხსნისას. თუ ორუცნობიანი ორი განტოლების სისტემის ორივე განტოლება სიმეტრიულია x და y მიმართ, მაშინ სასარგებლოა ახალი უცნობების შემოღება: $u = x + y$, $v = xy$. როგორც წესი, ამის შემდეგ განტოლებათა მოცემული სისტემა მარტივდება. მაგალითად, განტოლებათა სისტემა

$$\begin{cases} x^5 + y^5 = a^5, \\ x + y = b \end{cases}$$

ასეთი ჩასმით დაიყვანება სისტემამდე:

$$\begin{cases} u^5 - 5u^3v + 5uv^2 = a^5, \\ u = b. \end{cases}$$

ამ სისტემიდან ადვილია u და v უცნობების პოვნა, შემდეგ კი x და y-ის პოვნაც.

საინტერესოა, რომ ჯგუფთა თეორია სწორედ ალგებრულ გარდაქმნათა ჯგუფების განხილვისას წარმოიშვა. რომ გაეგოთ, ამოიხსნება თუ არა რადიკალებში მოცემული ალგებრული განტოლება

$$x^n + a_1x^{n-1} + \ldots + a_n = 0, \qquad (4)$$

ალგებრაისტებმა განიხილეს მნიშვნელობები, რომლებსაც ღებულობს n ცვლადის მრავალწევრები, თუ მათში $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ნაცვლად ჩავსვამთ (4) განტოლების ფესვებს $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$. გამოირკვა, რომ რადიკალებში განტოლებების ამოხსნადობის საკითხი მჭიდროდაა დაკავშირებული მრავალწევრთა ამ მნიშვნელობების ქცევასთან ფესვთა ერთმანეთს შორის სხვადასხვა გადანაცვლების დროს.

ამ განხილვებმა მიგვიყვანა ალგებრის ახალი, ძალზე მნიშვნელოვანი შტოს შექმნამდე—ჯგუფთა თეორიის გამოყენებამდე განტოლებების გამოკვლევისათვის. ამ თეორიის ძირითადი შედეგები 1830 — 1832 წწ. მიიღო ფრანგმა მათემატიკოსმა ე. გალუამ. მის პატივსაცემად ალგებრის მთელ ამ განყოფილებას ახლა გალუას თეორია ეწოდება.

ჯგუფთა აბსტრაქტული თეორია

განვიხილოთ გარდაქმნების ორი შემდეგი ჯგუფი. პირველი წარმოადგენს რომბის სიმეტრიების

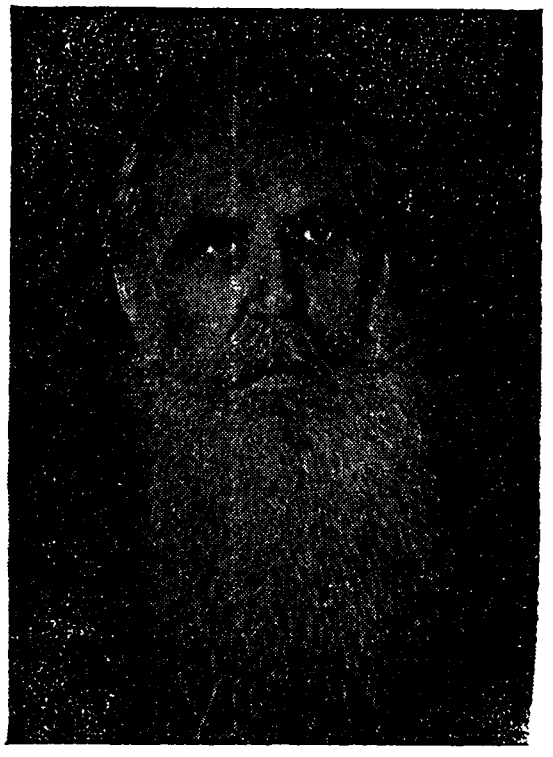
ჯგუფს, მეორე x და y ცვლადების ნიშნების შეცვლათა ჯგუფს. რომბის იგივური გარდაქმნა აღვნიშნოთ e-თი, დიაგონალების მიმართ სიმეტრიები a და b-თი, ცენტრალური სიმეტრია კი c-თი. შეამოწმეთ, რომ ამ ჯგუფში „გამრავლების ტაბულას“ შემდეგი სახე აქვს:

	e	a	b	c
e	e	a	b	c
a	a	e	c	b
b	b	c	e	a
c	c	b	a	e

ახლა განვიხილოთ x და y ცვლადების ნიშნების შეცვლათა ჯგუფი. აქაც იგივური გარდაქმნა $x \longrightarrow x$, $y \longrightarrow y$ აღვნიშნოთ აგრეთვე e-თი. მხოლოდ ერთი x-სათვის ნიშნის შეცვლა (ე. ი. $x \longrightarrow -x$, $y \longrightarrow y$ გარდაქმნა) აღვნიშნოთ a-თი, ხოლო მხოლოდ ერთი y-სათვის ნიშნის შეცვლა b-თი. დაბოლოს, $x \longrightarrow -x$, $y \longrightarrow -y$ გარდაქმნა (ორივე ცვლადის ნიშნების შეცვლა) აღვნიშნოთ c-თი. მაშინ ადვილად შემოწმდება, რომ გარდაქმნების განხილულ ჯგუფში „გამრავლების ტაბულას“ ასეთი სახე აქვს:

	e	a	b	c
e	e	a	b	c
a	a	e	c	b
b	b	c	e	a
c	c	b	a	e

მაშინვე გვხვდება თვალში, რომ მოყვანილი გამრავლების ტაბულები ზუსტად ერთნაირია. ამრიგად, გარდაქმნების სხვადასხვა ჯგუფი შეიძლება ზუსტად ერთნაირად აგებული აღმოჩნდეს, ე. ი. ჰქონდეს ელემენტების ერთნაირი გამრავლების ტაბულა. ბევრი საკითხის გადასაწყვეტად, რომლებიც გარდაქმნების ჯგუფს მიეკუთვნება, სულაც არაა მნიშვნელოვანი იმის ცოდნა, რა გარდაიქმნება; არსებითია ის, თუ რამდენი სხვადასხვა გარდაქმნაა ჯგუფში და როგორ გადამრავლდებიან ისინი ერთმანეთზე.



ოტო იულის ძე შმიდტი.

ამ თვალსაზრისით ჯგუფებს ე. წ. ჯ გ უ ფ თ ა ა ბ ს ტ რ ა ქ ტ უ ლ ი თ ე ო რ ი ა სწავლობს. ამ თეორიაში განიხილება იმ ნებისმიერი ელემენტებისაგან (აუცილებელი არაა გარდაქმნებისაგან) შემდგარი G სიმრავლე, რომლებისთვისაც რაიმე წესით განსაზღვრულია გამრავლება; ამ გამრავლებას შემდეგი თვისებები აქვს:

1. G სიმრავლის ორი a და b ელემენტის ab ნამრავლი ეკუთვნის G-ს.

2. არსებობს e ელემენტი (ერთეული), რომელსაც აქვს ის თვისება, რომ G-ს ყველა a ელემენტისათვის სრულდება ტოლობა $ae = a$.

3. ნებისმიერი a ელემენტისათვის არსებობს მისი შებრუნებული a^{-1} ელემენტი, ე. ი. ისეთი, რომ $aa^{-1}=e$.

4. ნებისმიერი სამი a, b, c ელემენტისათვის შესრულებულია ტოლობა $a(bc) = (ab)c$.

შევნიშნოთ, რომ გამრავლების ასოციაციურობის გამომსახველი უკანასკნელი ტოლობა ყოველთვის სრულდება გარდაქმნებისათვის.

G სიმრავლეს ზემოთ აღნიშნული თვისებებით ეწოდება ჯ გ უ ფ ი. მკითხველისათვის ალბათ საინტერესოა იმის გაგება, რომ 1916 წ. რუსეთში

გამოცემული ჯგუფთა თეორიის პირველი წიგნი ეკუთვნოდა ო. შმიდტს, რომელიც შემდგომში ცნობილი პოლარული მკვლევარი გახდა.

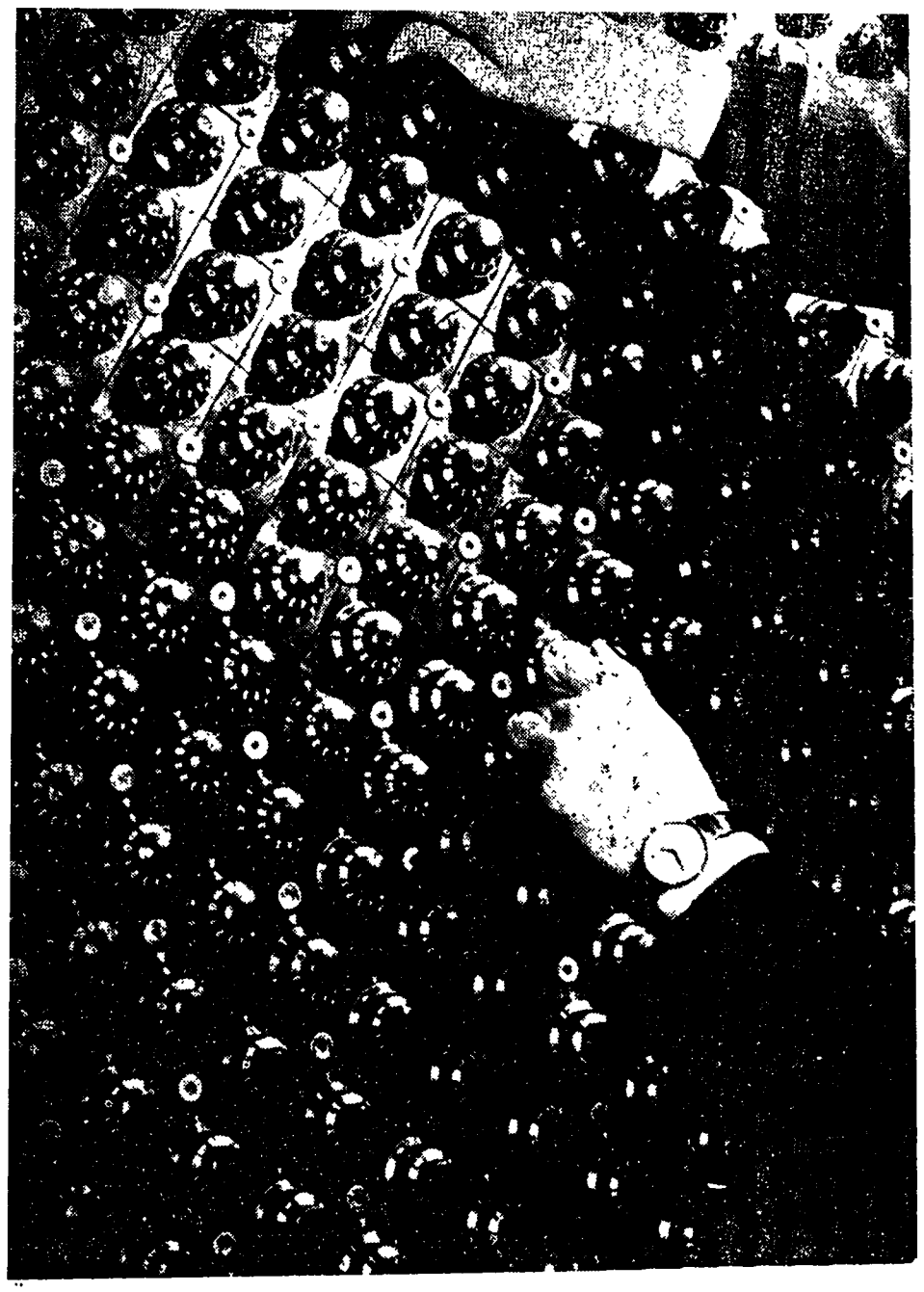
ჯგუფთა აბსტრაქტული თეორიის მნიშვნელობა ისაა, რომ ამ თეორიის თეორემებისა და ცნებების გამოყენება შეიძლება გეომეტრიული გარდაქმნების ჯგუფებისთვის, ალგებრული გარდაქმნების ჯგუფებისთვისაც და ატომებისა და კრისტალების შესასწავლადაც.

დასკვნა

ჩვენ განვიხილეთ სხვადასხვა საკითხები, რომლებიც ალგებრაში შეისწავლება. ყველა ეს საკითხი ერთიანდება ერთი საერთო მიმართულებით — მოქმედებებისა და გარდაქმნების საერთო თვისებების შესწავლით. სწორედ ალგებრა იძლევა ამ თვისებების შესწავლის აპარატს.

მოქმედებათა კანონები (ე. ი. აქსიომები, რომლებსაც ისინი ემორჩილებიან) შეიძლება იყოს სრულიად სხვადასხვა დასმული ამოცანის მიხედვით. ამის შესაბამისად მიიღება ჯგუფები, რგოლები, ველები და ა. შ.

თანამედროვე ალგებრაში განიხილება სხვა ობიექტებიც, რომლებიც ემორჩილება სულ სხვა აქსიომებს (ლის ალგებრა, ალტერნატული ალგებრები, ნახევარჯგუფები და ა. შ.). მაგრამ არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ალგებრაისტის მუშაობა ნებისმიერად აღებული, ახალი აქსიომების ამოწერითა და მათი შედეგების გამორკვევით განისაზღვრებოდეს. როგორც წესი, საინტერესო ალგებრული ობიექტები ამ გზით არ მიიღება. საინტერესო ობიექტები გეომეტრიის, ფიზიკის, მათემატიკური ანალიზის, ლოგიკისა და თვითონ ალგებრის მნიშვნელოვანი ამოცანების განხილვისას წარმოიშვება. ამ ამოცანების შესწავლისას მკვლევარი განზე ტოვებს მეორეხარისხოვანსა და არაარსებითს, გამოყოფს მნიშვნელოვანსა და ძირითადს და აქსიომების სახით სხვადასხვა ობიექტების საერთო თვისებებს აყალიბებს. ამრიგად, ალგებრაშიც აქსიომები ცდითაა წარმოქმნილი (თუმცა ეს ყოველთვის როდი შეინიშნება უშუალოდ).





მათემატიკა გვასწავლის წინასწარმეტყველებას და მართვას

ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები

ადამიანი მანქანებს იმიტომ ქმნის, რომ შრომა შეიმსუბუქოს. მანქანებიც ერთგულად ეხმარებიან მემაღაროელებსა და მჭედლებს, კოლმეურნეებსა და მიწის მთხრელებს. მაგრამ შეუძლიათ თუ არა მანქანებს მათემატიკოსებს მოუტანონ სარგებლობა, თუნდაც ნაწილობრივ მაინც შეასრულონ მათი სამუშაო?

25 — 30 წლის წინ ასეთ კითხვაზე გადაჭრილი უარით უპასუხებდნენ, რადგან ძალზე ძნელი წარმოსადგენი იყო მანქანა გონებრივი შრომის ასპარეზზე.

მაგრამ მდგომარეობა შეიცვალა. დღითი დღე მაღლდება მეცნიერების როლი. იგი უკვე საზოგადოების უშუალო მწარმოებლური ძალა გახდა. გონებრივი შრომის მუშაკების წინაშე ახლა წამოჭრილია ისეთი პრობლემები, რომელთა გა-

დაწყვეტა არამც თუ ერთი ადამიანის, არამედ მთელი კოლექტივის „შეუიარაღებელი“ ტვინისთვისაც თურმე მეტად ძნელია. თუკი ადრე გამოთვლების დასაჩქარებლად ისეთი მარტივი ხელსაწყოებით სარგებლობდნენ, როგორიცაა საანგარიშო, არითმომეტრი და ლოგარითმული სახაზავი, დღეს ეს უკვე საკმარისი არაა. არითმომეტრზე მუშაობისას მრავალნიშნა რიცხვებზე წუთში სამ მოქმედებაზე მეტს ვერ შევასრულებთ, ატომური რეაქტორის გაანგარიშება კი 6 მლრდ არითმეტიკულ მოქმედებას მოიცავს; მაშასადამე, ამ შემთხვევაში საჭირო იქნება 2 მლრდ წუთი. მაგრამ თურმე პირველი ბილიარდი წუთი ჩვენი წელთაღრიცხვიდან მხოლოდ 1902 წლის 29 აპრილს დასრულდა. კიდევ უფრო რთულდება გამომთვლელების საქმე კოსმოსური ხომალდების გაშვებისას: მათ ერთბაშად უნდა მოგვცენ ძალზე რთული გაანგარიშების შედეგი, ვიდრე რაკეტა მოასწრებდეს განსაზღვრული ტრაექტორიიდან მნიშვნელოვნად გადახრას.

ბევრი ისეთი ამოცანა წამოიჭრა თვით მათემატიკაშიც, რომელთა გადაწყვეტა ადამიანის ტვინის შესაძლებლობებს აღემატება. ისევე შეუძლებელია გონებრივი შრომის ზოგი მნიშვნელოვანი პრობლემის „ტვინით“ გადაწყვეტა, როგორც ზოგიერთი ფიზიკური სამუშაოს ხელით შესრულება.

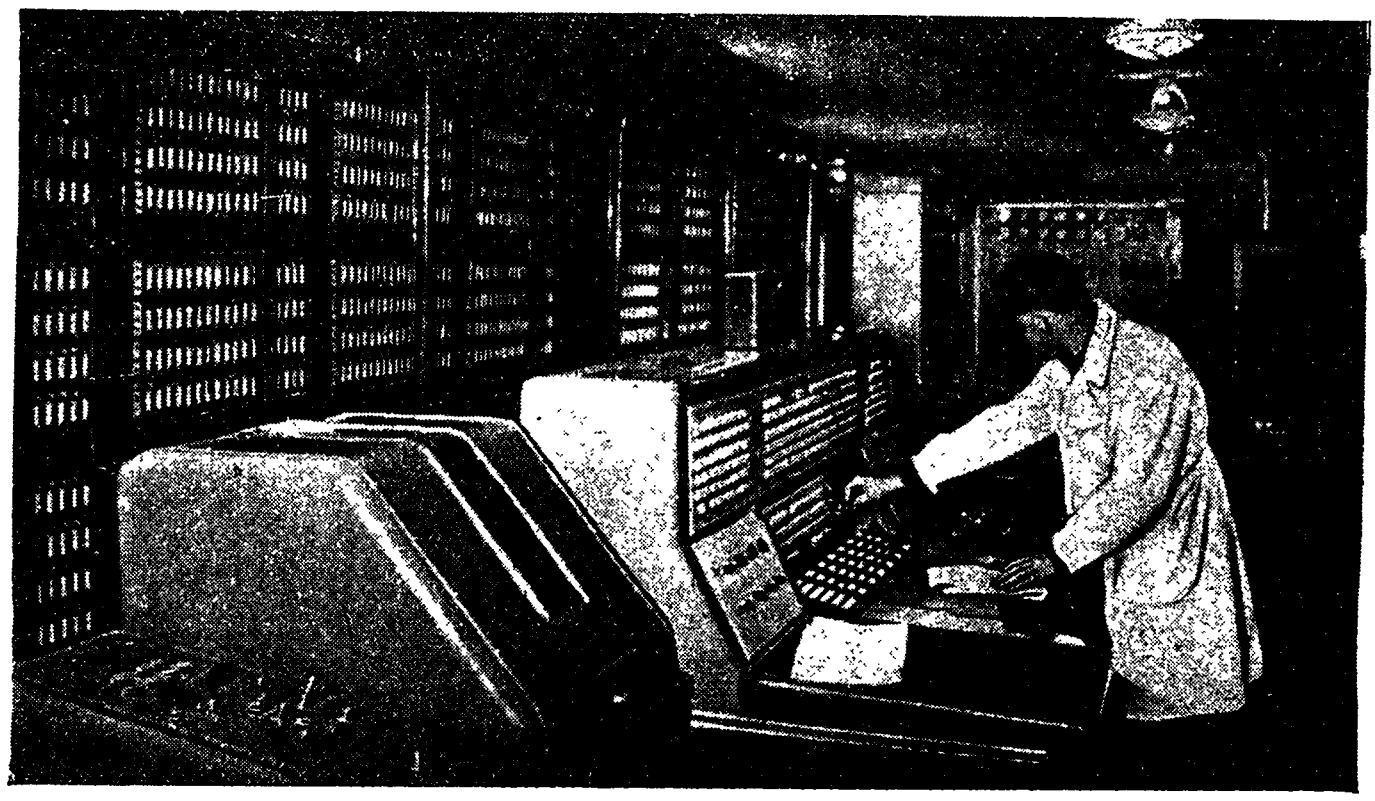
ამიტომ ადამიანის დასახმარებლად შეიქმნა ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები (ნახ. 1).

შევქმნათ ელექტრონული არითმომეტრი!

უბრალო არითმომეტრთან შედარებით ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა იგივეა, რაც თანამედროვე ქარხანა ქლიბთან შედარებით.

არითმომეტრი და მისი მსგავსი საანგარიშო ხელსაწყოები ძალზე ნელა მოქმედებენ. მათი კბილანა თვლები და სხვა მექანიკური დეტალები მეტისმეტად ინერციულია და ძრავის გამოყენების დროსაც კი ვერ მუშაობენ საჭირო სისწრაფით. მექანიკური დეტალების რაიმე ელექტრონული ხელსაწყოებით შეცვლა რომ მოხერხდებოდეს, მაშინ არითმომეტრი ელვისებურად იმუშავებდა. ელექტრონული სხივი ხომ ტელევიზორის ეკრანზე 0,04 წმ განმავლობაში 625 სტრიქონის გავლებას ასწრებს.

ელექტრონიკას უკვე შესწევს უნარი ნელი მექანიკური ხელსაწყოები სწრაფად მოქმედი ელექტრონული ნათურებით შეცვალოს. მაგრამ საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ ერთი არსებითი განსხვავება კბილანა თვალსა და ელექტრონულ ნათურას შორის. 10 კბილანიან თვალს აქვს 10



ნახ. 1. ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის საერთო ხედი.

მკვეთრად ფიქსირებული მდებარეობა, რომლებიც შეიძლება შევუსაბამოთ ციფრებს 0-დან 9-მდე. ელექტრონულ ნათურას კი მხოლოდ ორი მკვეთრად განსხვავებული მდგომარეობა აქვს. როგორც რადისტები ამბობენ, იგი შეიძლება ან „დაკეტილი“ იყოს, ან „ღია“. დაკეტილი ნათურა სრულებით არ ატარებს დენს, რადგან მის მმართველ ბადეზე საკმაოდ დიდი უარყოფითი ძაბვაა; ღია ნათურა კი მაქსიმალურად ატარებს დენს (ბადეზე საკმაოდ დადებითი პოტენციალის არსებობის მეშვეობით). ნათურის ყველა საშუალედო მდგომარეობა (როცა იგი „ნახევრად ღიაა“) საკმაოდ მდგრადი არაა და არ შეიძლება ციფრების გამოსახულება მოგვცეს (დროთა განმავლობაში ნათურის თვისებების შეცვლა და სხვა გარეშე მიზეზები ერთი ციფრის მეორით შეცვლამდე მიგვიყვანდა).

ელექტრონული ნათურის ორი მკვეთრად განსხვავებული მდგომარეობის გამოყენებით მხოლოდ ორი ციფრის გამოსახვა შეიძლება, მაგალითად, 0-ისა (ნათურა დაკეტილია) და 1-ისა (ნათურა ღიაა). ამიტომ არითმომეტრის კბილანა თვლის ელექტრონული ნათურებით შეცვლისას ბუნებრივია აგრეთვე ნუმერაციის ათობითი სისტემიდან ორობით სისტემაზე გადასვლა (რაც საშუალებას გვაძლევს ნებისმიერი რიცხვი ნულებისა და ერთეულების გარკვეული კომბინაციის სახით ჩავწეროთ).

ორობითი ნუმერაცია

სტატიაში — „როგორ ითვლიდა ადამიანი ძველად და როგორ წერდა ციფრებს“ — უკვე აღვნიშნეთ, რომ ნუმერაციის ორობით სისტემაში ხმარობენ მხოლოდ ორ ციფრს: ნულსა და ერთიანს. ორობითი ჩაწერისას რიცხვის ყოველი თანრიგის ერთიანი მისი წინა თანრიგის ერთიანზე ორჯერ მეტია: ორი „მარტივი“ ერთიანი ორიანს ქმნის, ორი ორიანი — ოთხიანს, ორი ოთხიანი — რვიანს, ორი რვიანი — თექვსმეტს და ა. შ.

რიცხვი „ერთი“, ჩვეულებრივ, ასე გამოისახება: „1“. მაგრამ რიცხვი „ორი“ უკვე მეორე თანრიგის ერთეულია და ასე იწერება: „10“ (ერთი ორიანი და ნული ერთიანი). რიცხვი „სამი“ შემდეგნაირად გამოისახება: „11“ (ერთი ორიანი და ერთი ერთიანი). რიცხვი „ოთხი“ მესამე თანრიგის ერთეულია და ამიტომ ასე იწერება: „100“ (ერთი ოთხიანი, ნული ორიანი და ნული ერთიანი). შემდეგ რიცხვებს ორობით სისტემაში ასეთი სახე აქვთ:

ხუთი — „101“ (ერთი ოთხიანი, ნული ორიანი და ერთი ერთიანი).

ექვსი — „110“ (ერთი ოთხიანი, ერთი ორიანი და ნული ერთიანი).

შვიდი — „111“ (ერთი ოთხიანი, ერთი ორიანი და ერთი ერთიანი).

რვიანი — ეს ისევ ახალი თანრიგია — „1000“ (ნულები მიუთითებს ოთხიანების, ორიანებისა და ერთიანების არარსებობაზე). შემდეგ მოდის:

ცხრა — „1001“ (ერთი რვიანი და ერთი ერთიანი).

ათი — „1010“ (ერთი რვიანი და ერთი ორიანი).

თერთმეტი — „1011“ (ე. ი. 8+2+1).

თორმეტი — „1100“ (ე. ი. 8+4).

ცამეტი — „1101“ (ე. ი. 8+4+1) და ა. შ.

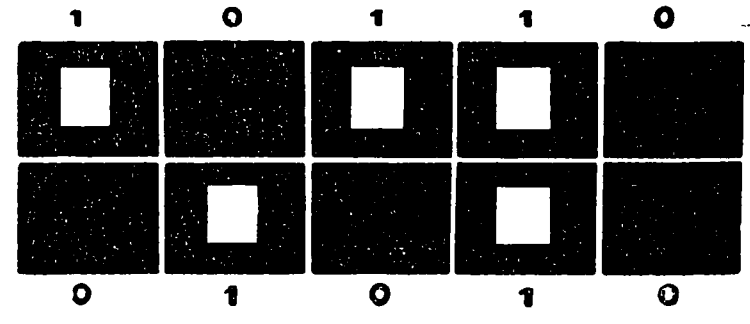
აი, ჩვენს წინ არის „გამოსაცნობი“ რიცხვი:

1001011,

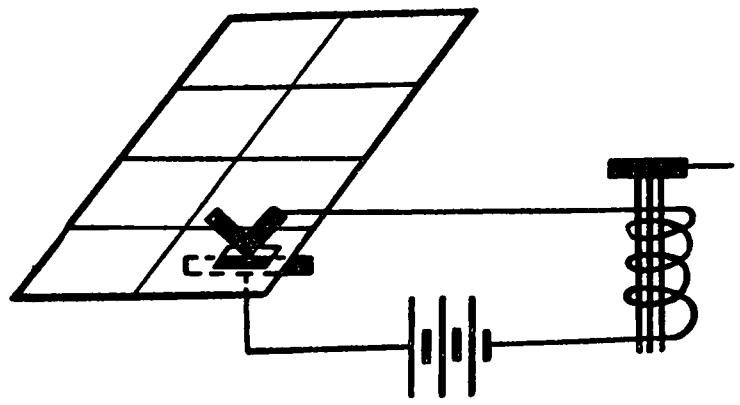
რომელიც ორობითი ნუმერაციითაა ჩაწერილი. იგი ადვილი „გამოსაცნობია“, თუ მარჯვნიდან მარცხნივ თითოეულ თანრიგს თავის მნიშვნელობას მივუწერთ ქვეშ:

1	0	0	1	0	1	1
(64)	(32)	(16)	(8)	(4)	(2)	(1).

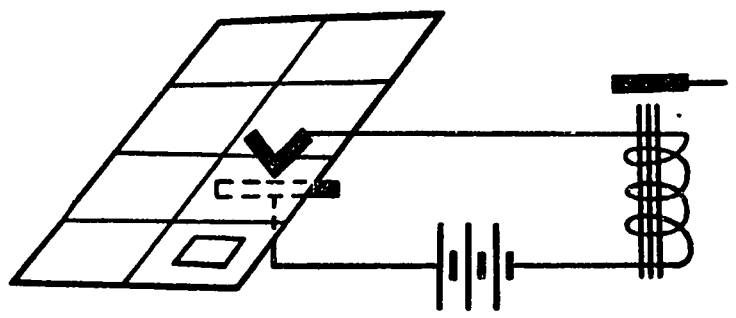
როგორც ვხედავთ, ჩვენთვის საინტერესო რიცხვი შეიცავს ერთიანს, ორიანს, რვიანს და სამოცდაოთხს (1+2+8+64) და უდრის 75-ს. მკითხველი ალბათ უკვე თვითონვე მიხვდება, რომ ორო-



ნახ. 2. რიცხვები — „10110“ და „01010“ პერფობარათზე.



ნახ. 3. კონტაქტმა აღმოაჩინა „ერთიანი“: დენი არის.



ნახ. 4. აღმოჩენილია „ნული“: დენი არ არის.

ბითი ჩანაწერით „10110011“ გამოსახავს რიცხვს 179-ს.

ორობითი ჩანაწერის ერთ-ერთი უპირატესობაა სხვადასხვა ხერხით რიცხვების გამოსახვის შესაძლებლობა და მათი სწრაფი გადაცემა ერთი ადგილიდან მეორეზე. მაგალითად, საგანგებო მუყაოს ბარათზე (მას პერფობარათს უწოდებენ) ამოჭრილი პატარა კვადრატი შეიძლება ერთიანს გამოსახავდეს, მთელი კი — ნულს (ნახ. 2). ელექტროწრედის მზამბარავ კონტაქტებს შორის მოთავსებულ პერფობარათზე (ნახ. 3) დენს მივიღებთ, თუ მოცემულ კვადრატში ერთიანია ჩაწერილი (კონტაქტები ნახვრეტში შეიკვრება), და პირიქით: თუ მოცემულ კვადრატში ნულია ჩაწერილი, წრედში დენი არ იქნება, ვინაიდან მუყაოს საფენი კონტაქტებს ერთმანეთისაგან აიზოლირებს (ნახ. 4).

ხანმოკლე ელექტროდენს ელექტრულ იმპულსს უწოდებენ. როგორც ვხედავთ, ორობითი სისტემით ჩაწერილი ნებისმიერი რიცხვი ადვილად შეიძლება ელექტრულ იმპულსთა თანმიმდევრობით გამოვსახოთ, თანაც დროის გარკვეულ მომენტში იმპულსის არსებობა ერთიანს ნიშნავს, მისი არარსებობა კი — ნულს. თუმცა, ზოგჯერ ამჯობინებენ გამოსახონ ნული არა იმპულსის უქონლობით, არამედ საწინააღმდეგო მიმართულების დენის იმპულსით (ამ შემთხვევაში აუცილებელი არ არის იმპულსებს შორის დროის ზუსტად განსაზღვრული შუალედების დაცვა). იმპულსის ხანგრძლიობა შეიძლება ძალზე მცირე იყოს, ვთქვათ 1 მიკროწამი (ანუ წამის მემილიონედი ნაწილი), რაც საშუალებას იძლევა მრავალნიშნა რიცხვი თითქმის ელვისებურად გადაიცეს.

ანგარიშობენ ნათურები

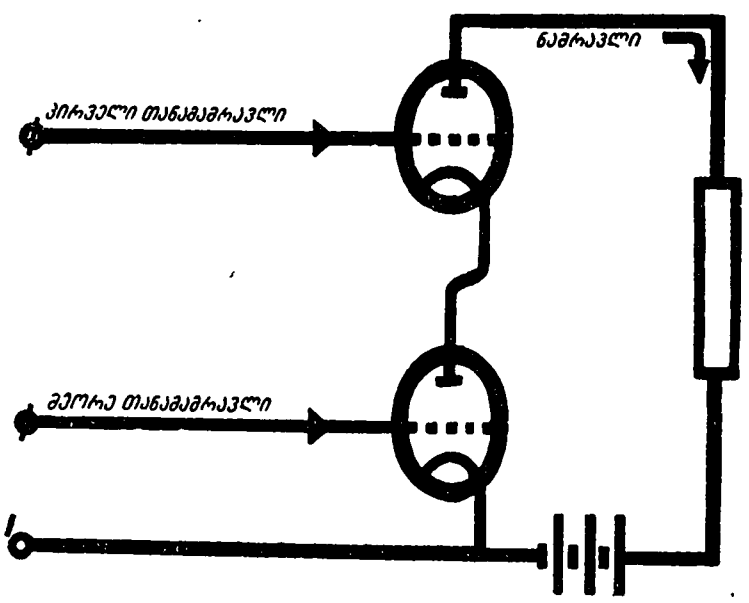
რიცხვთა არითმეტიკა ორობითი ჩაწერისას ძალზე მარტივია. მთელი გამრავლების ტაბულა ოთხ უმარტივეს ნამრავლამდეა დაყვანილი:

$$0\times0=0, \qquad 1\times0=0,$$
$$0\times1=0, \qquad 1\times1=1,$$

ხოლო შეკრების ტაბულა ოთხ ასევე მარტივ ჯამამდე. განა არ გაგონებთ ყველაფერი ეს ლუარსაბ თათქარიძის მათემატიკურ განათლებას?

ძნელი არ არის ისეთი ხელსაწყოს შექმნა, რომელიც ამ ტაბულის მიხედვით შეასრულებს გამრავლებას. ამისათვის ყველაზე იოლია გამოვიყენოთ ორი ელექტრონული ნათურის თანმიმდევრობითი შეერთება (ნახ. 5). თანამამრავლთა რიცხვები ელექტროძაბვის ხანმოკლე იმპულსებითაა გამოსახული: ერთიანი — დადებითით, ნული კი — უარყოფითით. პირველი იმპულსის თანამამრავლი ერთი ნათურის ბადეზე ხვდება, მეორე კი — მეორეზე.

ორი ერთიანის გადამრავლებისას ორივე ნათურა ამ ერთეულთა შესაბამისი ძაბვის დადებითი იმპულსებით იხსნება და მათ საერთო ანოდურ



ნახ. 5. ელექტრონული გადამამრავლებელი.

წრედში დენი გადის. სწორედ ამ დენის იმპულსი გამოსახავს „ელექტრონულ ენაზე“ ნამრავლის ერთიანს ($1 \times 1 = 1$).

მაგრამ თუ ერთ-ერთი თანამამრავლი ნულია, შესაბამისი ნათურა მის ბადეზე უარყოფითი ძაბვითაა ჩაკეტილი და ანოდის წრედშიც დენის არავითარი იმპულსი არ იქნება. სწორედ ეს აღნიშნავს ნამრავლის ნულოვან მნიშვნელობას, რომელიც სავსებით შეესაბამება ფორმულებს:

$$1 \times 0 = 0, \quad 0 \times 1 = 0, \quad 0 \times 0 = 0.$$

როგორც ვხედავთ, ერთნიშნა რიცხვების „ელექტრონული“ გამრავლება მეტად მარტივად ხდება. მრავალნიშნა თანამამრავლთათვის სქემა, რა თქმა უნდა, მნიშვნელოვნად რთულდება, მაგრამ ჩვენ ამჟამად საქმის მხოლოდ პრინციპული მხარე გვაინტერესებს და არა ტექნიკური წვრილმანები. ისევე, როგორც არითმომეტრის კბილანა თვლების სათანადო კომბინაცია იძლევა არითმეტიკულ მოქმედებათა ჩატარების საშუალებას, ელექტრონულ ნათურათა სათანადო შეხამებაც საშუალებას გვაძლევს ეს მოქმედებები ჩავატაროთ ისეთ რიცხვებზე, რომლებიც მოცემულია თანმიმდევრული ელექტრონული იმპულსების სახით. ისინი შეიძლება „ელექტრონული ხერხით“ შევკრიბოთ, გამოვაკლოთ, გავამრავლოთ, გავყოთ, შევადაროთ ერთმანეთს და ა. შ. თითოეული ეს მოქმედება ძალზე სწრაფად ხორციელდება, რადგან ელექტრონული ნათურები პრაქტიკულად უინერციოა. კიდევ უფრო დიდ შესაძლებლობებს ქმნის ახლახან მიღებული ელექტრონულ ნათურათა შემცვლელები: ნახევრად გამტარი, ფერიტული, ზეგამტარი შემცვლელები და სხვა მოწყობილობანი.

ამრიგად, ჩვენ გვაქვს იმ ელექტრონული არითმომეტრის შექმნის რეალური შესაძლებლობა, რომელიც მიკროწამის განმავლობაში შეასრულებს ნებისმიერ არითმეტიკულ მოქმედებას. მაგრამ ეს კიდევ არ არის ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა. ეს მხოლოდ სწრაფად მოქმედი არითმომეტრია, რომელსაც არც თუ ისე დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. როგორ ფიქრობთ, რამდენ მოქმედებას შეასრულებს ასეთი სწრაფად მოქმედი არითმომეტრი ყოველ წამში? მილიონს? თუ ათასს მაინც?

ეს იმაზეა დამოკიდებული, მოვახერხებთ თუ არა ამ არითმომეტრისათვის ამოცანების საკმაო სისწრაფით მიწოდებასა და მიღებული შედეგების ჩაწერას. ჩვენ რომ ყველაფერი ეს ხელით გავაკეთოთ, მაშინ წუთში 3 — 4 მოქმედების მეტს ვერ მოვასწრებთ. ასე რომ, არითმომეტრის ფანტასტიკურად სწრაფი მოქმედება უსარგებლო იქნება.

იმისათვის, რომ ელექტრონულმა არითმომეტრმა ყოველ წამში მართლაც შეასრულოს თუნდაც რამდენიმე ათასი მოქმედება, აუცილებელია მთელი გამოთვლითი პროცესი ავტომატური გახდეს. ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა მხოლოდ სწრაფად მოქმედი არითმომეტრი როდია. ეს არის სწრაფად მოქმედი არითმომეტრი პლუს ელექტრონული ავტომატი, რომელიც არითმომეტრზე მომუშავე ადამიანს შეცვლის.

იმისათვის, რომ უფრო კარგად გავერკვეთ, როგორ შეიძლება ასეთი ავტომატის შექმნა, დავაკვირდეთ გამომთვლელი ადამიანის მუშაობას რომელიმე გამოთვლით ბიუროში, რომელსაც არა აქვს ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა.

გამომთვლელის მოვალეობანი

გამომთვლელს უნდა ჰქონდეს საშუალო სკოლის განათლება და კარგად უნდა იცოდეს აგრეთვე უმარტივესი გამოთვლითი ხელსაწყოებით (მაგალითად, არითმომეტრით) სარგებლობა. სულ არ არის აუცილებელი, რომ გამომთვლელი იმ გაანგარიშების მეცნიერულ ან საინჟინრო არსს ჩაწვდეს, რომელიც მას აქვს დაკისრებული. გაანგარიშების მთელ გეგმას მეცნიერები და კონსტრუქტორები ადგენენ, გამომთვლელს ეძლევა მხოლოდ საწყის მონაცემთა სია და საგანგებო ინსტრუქცია, რომელიც მოქმედებათა რიგს განსაზღვრავს. გამომთვლელიც ამ ინსტრუქციის თანახმად მოქმედებს; ამასთან ყველა არითმეტიკული ოპერაცია არითმომეტრზე სრულდება, საშუალედო შედეგები საგანგებო ბლანკზე იწერება, საბოლოო კი — სხვა ბლანკზე.

განვიხილოთ უმარტივესი მაგალითი — წრის ფართობის მნიშვნელობის ცხრილის შედგენა მისი რადიუსის მიხედვით ($S = \pi r^2$ ფორმულით). ინსტრუქციაში აღნიშნულია, რომ რადიუსის ყოველი მნიშვნელობა (ვთქვათ, 500-დან 1000 მმ-მდე ყოველი 2 მმ-ის შემდეგ) უნდა გამრავლდეს თავის თავ-

ზე და $\pi = 3{,}14$ რიცხვზე და მიღებული შედეგი ცხრილის შესაბამის სვეტში ჩაიწეროს.

რა უნდა გააკეთოს გამომთვლელმა? როცა ინსტრუქციაში წაიკითხავს რადიუსის უმცირეს მნიშვნელობას (500), იგი არითმომეტრზე იღებს ამ რიცხვს, ამრავლებს ზუსტად ასეთსავე რიცხვზე, შემდეგ კი 3,14-ზე. არითმომეტრზე მიღებული ნამრავლი გამომთვლელს გადააქვს რადიუსის მნიშვნელობასთან (500) ერთად საბოლოო შედეგთა ცხრილში.

ამის შემდეგ გამომთვლელმა რადიუსის ადრინდელ მნიშვნელობას უნდა მიუმატოს 2 მმ, ჩაიწეროს რადიუსის ახალი (გაზრდილი) მნიშვნელობა თავის ბლანკში და ამ ახალ მნიშვნელობაზე გაიმეოროს ყველა ზემოთ აღწერილი მოქმედება. როცა აღნიშნული ოპერაციების მრავალგზის გამეორების შედეგად იგი რადიუსის მნიშვნელობად 1002-ს მიიღებს, რაც ინსტრუქციით დადგენილ ზედა ზღვარს (1000) აღემატება, გამოთვლა უნდა შეწყდეს.

როგორც ვხედავთ, გამოთვლას, ე. ი. არითმეტიკულ მოქმედებებს რიცხვებზე, ასრულებს არითმომეტრი და არა ადამიანი. გამომთვლელის მოვალეობაა არითმომეტრის მუშაობის მართვა, რიცხვითი მონაცემების გადატანა ინსტრუქციიდან ან თავისი ბლანკიდან არითმომეტრზე და არითმომეტრიდან შედეგების ცხრილში, აგრეთვე აუცილებელ საშუალედო შედეგთა „ჩაწერა“ ან, თუ გნებავთ, „დამახსოვრება“. იმისათვის, რომ მთლიანად გამოვრიცხოთ ადამიანის მონაწილეობა გამოთვლითი პროცესიდან, საჭიროა ისეთი ავტომატის შექმნა, რომელიც დამოუკიდებლად შეასრულებდა ყველა ამ მოქმედებას მიცემული ინსტრუქციის შესაბამისად.

შესაძლებელია თუ არა ასეთი ავტომატი?

ინსტრუქციის მიხედვით ავტომატის მუშაობაში, რა თქმა უნდა, არაფერია უჩვეულო და მიუღწეველი. ავტომატური სატელეფონო სადგური უშეცდომოდ გადასცემს ბრძანებებს, რომლებსაც მას ტელეფონის ნომრის აკრეფის შედეგად ვაძლევთ. მხოლოდ საჭიროა, ყოველი ბრძანება მანქანისათვის „გასაგებ“ ენაზე გაიცეს, მაგალითად, გარკვეული თანმიმდევრობის ელექტრული იმპულსების სახით.

როცა მრავალრიცხოვანი ბრძანების შემცველი ინსტრუქციის შესაბამისად აპარატურას ხანგრძლივი მუშაობა უხდება, საჭიროა ამ ინსტრუქციის ამა თუ იმ ხერხით ჩაწერა. ელექტრული იმპულსებით გამოხატული ინფორმაციების შესანახად შეიძლება მაგნიტოფონის გამოყენება: ელექტრული იმპულსების კომბინაცია შესაძლოა ჩანიშნულ იქნას მაგნიტოფონის ლენტის უბნების დამაგნიტების გზით იმავე წესით, რომლითაც ხმის ჩაწერისას სარგებლობენ. შემდგომ ჩაწერილი ბრძანებები, მათი კვლავწარმოქმნისას, ავტომატური აპარატურის მოქმედებით მართვას დაიწყებენ. ამა თუ იმ ხერხით ჩაწერილ ინსტრუქციას, რომლითაც ავტომატმა უნდა „იხელმძღვანელოს“, პროგრამას უწოდებენ.

ასეთივე მაგნიტოფონის ლენტებზე შეიძლება არა მარტო ინსტრუქციის, არამედ საწყის მონაცემთა ცხრილის ჩაწერაც, რადგან ის რიცხვებიც, რომლებსაც იყენებს ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა, ელექტრული იმპულსებით გამოისახება.

გამოთვლითი მანქანისათვის საწყის მონაკემთა, აგრეთვე პროგრამის ბრძანებათა მიწოდება ხორციელდება საგანგებო კლავიატურით, რომელიც სატელეგრაფო აპარატის კლავიატურას წააგავს: საკმარისია კლავიშს თითი დავაჭიროთ, რომ კონტაქტი შეიკვრება და წრედში ელექტროდენის იმპულსების გარკვეული კომბინაცია გაირბენს (ტელეგრაფიაში იგი ამუშავებს სხვა ქალაქში მოთავსებულ ასოთსაბეჭდ აპარატს, გამოთვლით მანქანაში კი მაგნიტოფონის ლენტს ამაგნიტებს).

ელექტრულ იმპულსებს, რომლებიც გამოთვლის საბოლოო შედეგს გამოხატავენ, შეუძლიათ საბეჭდი აპარატის ელექტრომაგნიტზე იმოქმედონ (სატელეგრაფო იმპულსების მსგავსად), რის შედეგადაც ჩვენთვის საინტერესო მონაცემებს ჩვეულებრივი დეპეშის სახით მივიღებთ.

როგორც ვხედავთ, თანამედროვე ტექნიკაში ძნელი არ არის ყველა იმ მოწყობილობის პირველსახის მოძებნა, რომლებიც აუცილებელია გამოთვლითი პროცესების სრული ავტომატიზაციისათვის. საჭიროა მხოლოდ ამ ხელსაწყოების გაუმჯობესება, რათა მათ სწრაფად მოქმედება შეძლონ და უფრო სანდო იყვნენ.

ერთხელ კიდევ უნდა გავიხსენოთ, რომ შესას-

რულებელ გაანგარიშებათა გააზრება და გაგება გამომთვლელის მოვალეობა არ არის. ეს იმ „შემკვეთის“ საქმეა, რომელმაც გაანგარიშება მოისაზრა და მთელ თავის ჩანაფიქრს ინსტრუქციაში შეასხა ხორცი. მაგრამ ყურადღებიანი და კვალიფიციური გამომთვლელი არ შეიძლება სულ მთლად გულგრილი დარჩეს თავისი საქმიანობისადმი. კერძოდ, მას შეუძლია შეამჩნიოს და შეასწოროს კიდეც ინსტრუქციის უხეში შეცდომები, გაუგებრობანი, შეავსოს შემთხვევითი ხარვეზები და ა. შ.

ადამიანისაგან განსხვავებით, ამოცანის გადაწყვეტის დროს, რა თქმა უნდა, მანქანისაგან არ შეიძლება ველოდეთ რაიმე „მოსაზრებულობას“, რომელიც საქმის არსის გაგებაზე იქნება დაფუძნებული. ამიტომ მანქანისათვის განკუთვნილი ინსტრუქცია ისე უნდა შედგეს, რომ წინასწარ იყოს თავიდან აცილებული ყოველგვარი ორაზროვნობა, ეჭვი და საღი გონების ჩარევის აუცილებლობა. ასეთი სახის ინსტრუქციას, ე. ი. ზუსტად ჩამოყალიბებული წესების კრებულს, რომელსაც ამოცანათა საკმაოდ დიდი კლასისათვის იყენებენ და რომელიც ყოველთვის გარკვეულ შედეგს იძლევა, მათემატიკაში ა ლ გ ო რ ი თ მ ი ეწოდება. ყოველ ჩვენგანს უსწავლია სკოლაში „კუთხით“ გაყოფის, მრავალნიშნა რიცხვიდან კვადრატული ფესვის ამოღებისა და სხვათა ალგორითმი, მხოლოდ ასეთი „მეცნიერული“ სახელწოდებით არ გვისარგებლია. ნებისმიერი თანამედროვე გამოთვლითი მანქანის მოქმედების არსი ისაა, რომ იგი პედანტური სიზუსტითა და წესიერებით ასრულებს ამა თუ იმ ალგორითმის თანმიმდევრულ მითითებებს, მაგალითად, დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის ალგორითმს ანდა ინგლისური ენიდან ქართულ ენაზე თარგმნის ალგორითმს.

ალგორითმის შემადგენელ მითითებათა კატეგორიული ხასიათი სულაც არ ნიშნავს იმას, რომ მანქანის მოქმედებათა მთელი თანმიმდევრობა მისი ყველა დეტალით წინასწარაა ცნობილი მოცემული ალგორითმის შემდგენლისათვის. კატეგორიულ მითითებას შეიძლება ასეთი ფორმა ჰქონდეს: „თუ გაყოფის შედეგად მიიღება ათასზე ნაკლები რიცხვი, მაშინ იგი ორჯერ გადიდდეს, თუკი მიიღება რიცხვი, რომელიც ათასზე ნაკლები არ იქნება, დაემატოს მას ოთხმოცდასამი“. სინამდვილეში რას გააკეთებს მანქანა? ორზე გაამრავლებს თუ ოთხმოცდასამს დაუმატებს, ამის შესახებ ალგორითმის შემდგენელმა არაფერი იცის, რადგან მისთვის ჯერ უცნობია, სახელდობრ, როგორ რიცხვს მიიღებს გაყოფის შედეგად.

ასეთ ალგორითმზე ამბობენ, რომ ის ითვალისწინებს პირობით გადასვლას ოპერაციების ამა თუ იმ თანმიმდევრობაზე უკვე შესრულებულ მოქმედებათა შედეგების მიხედვით. როგორც შემდგომში დავინახავთ, ასეთ პირობით გადასვლებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის მუშაობაში. ისინი საშუალებას იძლევიან ხსენებული მანქანა მეტად რთული მათემატიკური და ლოგიკური ამოცანების გადასაწყვეტად გამოვიყენოთ.

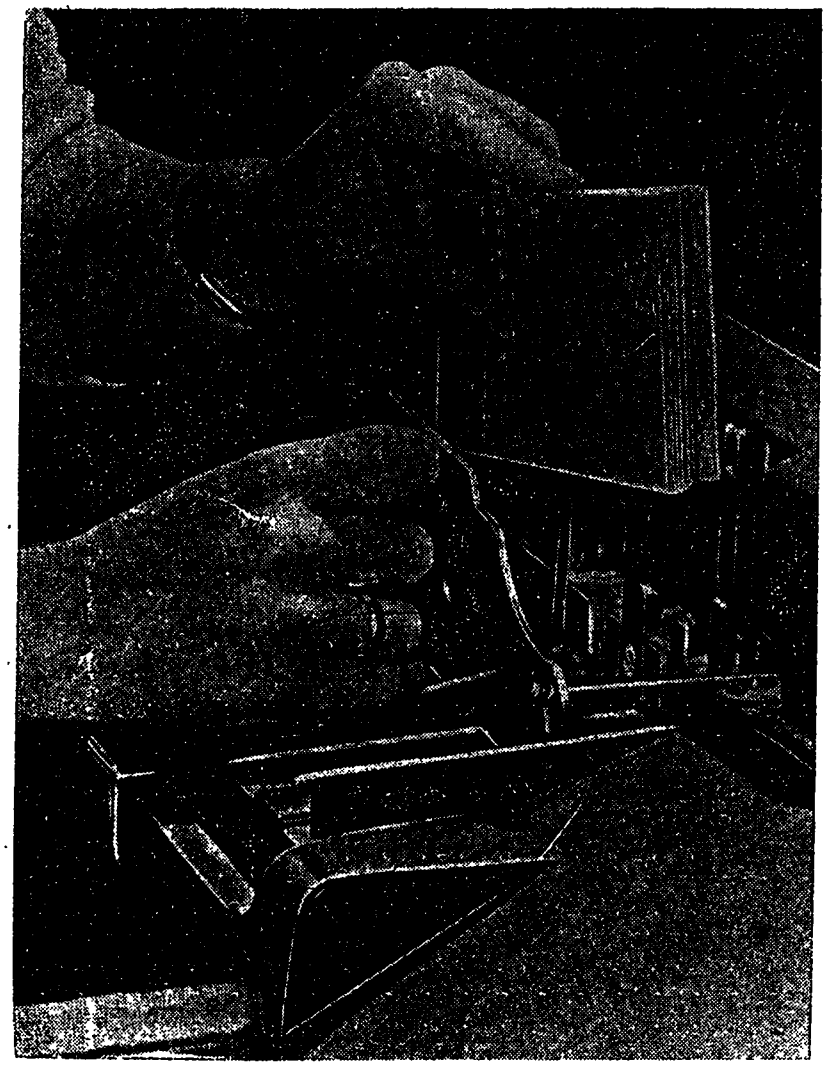
მანქანის მთავარი ნაწილები

სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა შედგება ხუთი ძირითადი მოწყობილობისაგან. ესენია: შემყვანი, დამმახსოვრებელი, არითმეტიკული, გამომყვანი და მმართველი მოწყობილობანი. ამის გარდა, მანქანაში არის დამატებითი მოწყობილობა მუშაობის საკონტროლოდ და უწესივრობის აღმოსაჩენად.

შ ე მ ყ ვ ა ნ მოწყობილობას, ჩვეულებრივ, აქვს კლავიატურა, რომლის საშუალებითაც მანქანას აწვდიან საწყის მონაცემებს და გარკვეულ პროგრამას. კლავიშებზე თითის დაჭერით წარმოშობილი ელექტრული იმპულსები დამმახსოვრებელ მოწყობილობას გადაეცემა. შესაძლებელია შემყვანი მოწყობილობის სხვა კონსტრუქციაც (ნახ. 6).

დ ა მ მ ა ხ ს ო ვ რ ე ბ ე ლ ი მოწყობილობა (ან, როგორც მას ზოგჯერ სიმოკლისათვის მანქანის „მეხსიერებას“ უწოდებენ) განკუთვნილია ინფორმაციის შესანახად. ეს ინფორმაციებია: საწყისი მოცემული რიცხვული სიდიდეები, ბრძანებები, საშუალედო და საბოლოო შედეგების პროგრამები. დამმახსოვრებელი მოწყობილობა ასრულებს გამომთვლელის მეხსიერების ან მისი უბის წიგნაკის როლს.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, რიცხვითი მონაცემები შეიძლება მაგნიტოფონის დახმარებით ჩაიწეროს. მაგრამ ეს არ არის ყველაზე სრულყოფილი ხერხი, რადგან ადრე ჩაწერილი რიცხვის კვლავწარმოსაქმნელად შეიძლება ლენტის ხანგრძლივი გადახვევა მოგვიხდეს. ამიტომ შემუშავებულია



ნახ. 6. პერფობარათზე წინასწარ აღნიშნულ მონაცემათა შეყვანა.

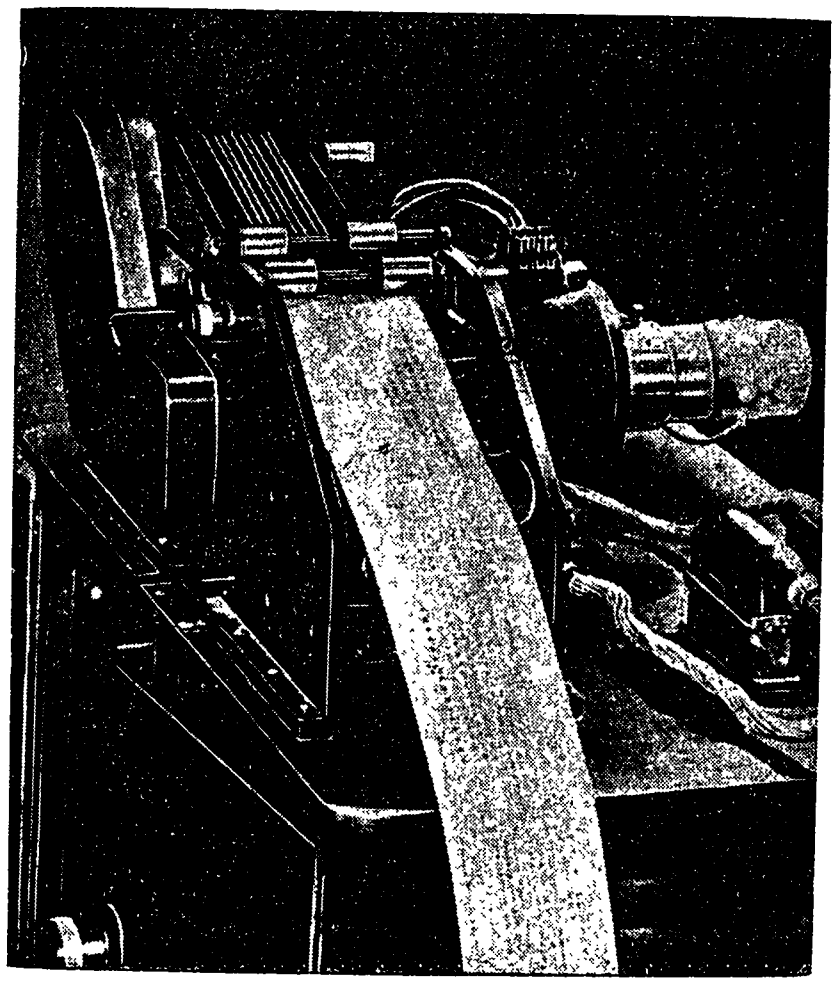
„დამახსოვრების“ სხვანაირი ხერხები: მაგალითად, ფერიტული გულარების დამაგნიტება, ანდა ელექტრონულ-სხივური მილის დიელექტრული ეკრანის ცალკეული უბნების ელექტრიზაცია. უკანასკნელი მეთოდი იმითაა მოსახერხებელი, რომ რიცხვის ჩასაწერად ან კვლავწარმოსაქმნელად ელექტრული სხივი შეიძლება ეკრანის საჭირო წერტილისაკენ ელვისებურად მივმართოთ.

დამმახსოვრებელი მოწყობილობის ინფორმაციის მატარებელი (მაგნიტოფონის ლენტი, დიელექტრული ეკრანი) შედგება უამრავი „მეხსიერების უჯრედისაგან“, რომელთაგანაც თითოეულში შეიძლება ერთი მრავალნიშნა რიცხვი ინახებოდეს. თითოეულ უჯრედს აქვს თავისი ნომერი (ტელეფონის ნომრის მსგავსად). ამ ნომრის საშუალებით მასთან ნებისმიერ დროს შეიძლება „დაკავშირება“, რომ შესაბამისი რიცხვი ან მოვათავსოთ იქ, ანდა, პირიქით, „გამოვითხოვოთ“ იქიდან.

ა რ ი თ მ ე ტ ი კ უ ლ ი მოწყობილობა ძირითად არითმეტიკულ და ზოგიერთ ლოგიკურ მოქმედებას ასრულებს. იგი შეიცავს რამდენიმე ელექტრონულ „არითმომეტრს“ (რომლებიც კრებენ, ამრავლებენ და ა. შ.). ასეთი არითმომეტრები უფრო ხშირად ელექტრონათურების თანამედროვე შემცვლელების საფუძველზე მზადდება, რის გამოც ისინი უფრო სრულყოფილებია. სწრაფად მოქმედ მანქანაში არითმეტიკული მოწყობილობა თითოეულ ოპერაციას ათიოდე მიკროწამის განმავლობაში ასრულებს.

გ ა მ ო მ ყ ვ ა ნ ი მოწყობილობის (ნახ. 7) დანიშნულებაა მზა პროდუქცია მიაწოდოს შემკვეთს ჩატარებული გამოთვლების საბოლოო შედეგების ცხრილის სახით. ეს ცხრილი ჩვეულებრივი შრიფტითაა დაბეჭდილი რიცხვების საბეჭდ სატელეგრაფო აპარატზე დამმახსოვრებელი მოწყობილობიდან გამოსული ელექტრული იმპულსების გავლენით. შედეგების გამოყვანის დასაჩქარებლად ზოგჯერ ბეჭდვის მაგიერ მათ კინოფირზეც აღბეჭდავენ.

მ მ ა რ თ ვ ე ლ ი მოწყობილობა მანქანის ყველა გამოთვლით ნაწილს აერთიანებს და „მართავს“ ან „ხელმძღვანელობს“ მთელ გამოთვლით პროცესს. სწორედ ის ასრულებს გამომთვლელის როლს. მანქანის მუშაობის დროს მმართველი მო-



ნახ. 7. ერთ-ერთი გამომყვანი მოწყობილობა.

წყობილობა, რომელიც პროგრამის თანახმად მოქმედებს, თანმიმდევრულად ასრულებს ყველა აუცილებელ შეერთებასა და გადართვას, „ხსნის“ და „კეტავს“ ნათურებს, მართავს ელექტროსხივებისა და მაგნიტოფონის ლენტების მოძრაობას. ამის მეოხებით უზრუნველყოფილია მანქანაში შეყვანილ საწყის მონაცემთა მეხსიერების უჯრედებში წესიერად განლაგება, რიცხვების დროზე გადასვლა გარკვეული უჯრედებიდან არითმეტიკული მოწყობილობის ამა თუ იმ „არითმომეტრზე“, აგრეთვე მიღებული შედეგების მათთვის განკუთვნილ უჯრედებისაკენ წარმართვა. და ბოლოს მეხსიერების უჯრედებში საბოლოო შედეგების დაგროვების მიხედვით მმართველი მოწყობილობა მათ მბეჭდავ აპარატთან „აერთებს“.

როგორც ვხედავთ, თავისი ფუნქციების მიხედვით გამოთვლითი მანქანის მმართველი მოწყობილობა ძალიან წააგავს ავტომატურ სატელეფონო სადგურს, მაგრამ მან წამში ასობით ათასი სხვადასხვა შეერთება უნდა განახორციელოს. ამის გარდა, ავტომატური სატელეფონო სადგურისაგან განსხვავებით, მმართველმა მოწყობილობამ უნდა იმოქმედოს ახლად აკრეფილი ნომრის მიხედვით კი არა, წინასწარ მიცემული პროგრამით, რომელიც (დაშიფრული სახით) საგანგებოდ ამ მიზნისათვის გამოყოფილ „მეხსიერების“ უჯრედებში ინახება.

მანქანის ინსტრუქცია

ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის მუშაობის პროგრამას გარკვეული ამოცანის ამოსახსნელად ადგენენ სპეციალისტები და შემყვანი მოწყობილობით „შეაქვთ“ მანქანაში გამოთვლის დაწყებამდე.

პროგრამა წარმოადგენს ცალკეულ „ბრძანებათა“ თანმიმდევრობას. თითოეული ბრძანება შეიცავს გარკვეულ არითმეტიკულ მოქმედებაზე (შეკრება, გამოკლება და ა. შ.) მითითებას, მეხსიერების იმ უჯრედების ნომერს (ან „მისამართებს“), საიდანაც მოქმედებისათვის საჭირო რიცხვები უნდა იქნას აღებული, აგრეთვე იმ უჯრედის ნომერს (ან „მისამართს“), რომელშიც მიღებული შედეგი უნდა მოთავსდეს.

თითოეული არითმეტიკული მოქმედება პირობითად აღნიშნულია რიცხვით — „კოდით“, მაგალითად, შეკრება — „1“, გამოკლება — „2“, გამრავლება — „3“ და ა. შ. მეხსიერების უჯრედების მისამართებიც ასევე ნომრებითაა აღნიშნული, მაგალითად, № 20, № 21, № 22 და სხვ. მთლიანად ბრძანება ერთი მრავალნიშნა რიცხვის სახით იწერება, რომელშიც პირველ ადგილზეა მოქმედების კოდი, მეორე და მესამე ადგილებზე იმ რიცხვების მისამართები, რომლებზეც მოქმედება უნდა შესრულდეს, ბოლო (მეოთხე) ადგილზე კი იმ უჯრედის მისამართი, რომელშიც მიღებული შედეგი უნდა მოთავსდეს. მაგალითად, თუ გვაქვს ბრძანება 3-21-26-52, მაშინ ერთმანეთზე უნდა გავამრავლოთ № 21 და № 26 უჯრედებიდან აღებული რიცხვები და ნამრავლი № 52 უჯრედში მოვათავსოთ. მსგავს ბრძანებებს სამმისამართიანი ბრძანებები ეწოდება. შეიძლება შეგვხვდეს აგრეთვე სხვა რაოდენობის მისამართიანი ბრძანებებიც.

ვინაიდან მანქანის მართვის ბრძანებები მრავალნიშნა რიცხვებით იწერება, ისინი სხვა რიცხვების თანაბრად შეიძლება მოვათავსოთ დამმახსოვრებელი მოწყობილობის უჯრედებში: პირველი ბრძანება — № 1 უჯრედში, მეორე — № 2 უჯრედში და ა. შ.

არითმეტიკული მოქმედებების გარდა ბრძანებებში შეიძლება სხვა მოქმედებებიც იყოს მითითებული, მაგალითად: „შედარდეს ორი რიცხვი“, ან კიდევ, „ცხრილის ამა და ამ სვეტში ჩაიბეჭდოს მეხსიერების ამა და ამ უჯრედში შენახული რიცხვი“ და სხვ.

პროგრამის შედგენასა და მმართველი მოწყობილობის მუშაობას ყველაზე კარგად უბრალო მაგალითი ხსნის. ამ მიზნით განვიხილოთ წრის ფართობის მნიშვნელობის ცხრილი, რომელზეც ზემოთ გვქონდა ლაპარაკი გამომთვლელის მუშაობის აღწერისას.

შესაბამისი გამოთვლების ჩასატარებელ პროგრამას ასეთი სახე ექნება:

ბრძანების ნომერი	ბრძანების შიფრი	მოქმედება ბრძანების მიხედვით
1	3-21-21-19	გამრავლება
2	3-19-20-19	გამრავლება
3	7-21-00-01	დაბეჭდვა
4	7-19-00-02	დაბეჭდვა
5	1·21-23-21	შეკრება
6	8-21-22-01	შედარება
7	9-00-00-00	გაჩერება

როგორც ვხედავთ, პროგრამა შედგება სულ შვიდი ბრძანებისაგან, რომლებსაც მუშაობის დაწყებამდე შემყვანი მოწყობილობის დახმარებით ათავსებენ მეხსიერების უჯრედებში № 1-დან № 7-მდე მისამართით. პროგრამის გარდა მანქანაში შეაქვთ აუცილებელი საწყისი მონაცემები (ნახ. 8): № 20 უჯრედში რიცხვი $\pi = 3{,}14$, № 21 უჯრედში — რადიუსის უმცირესი მნიშვნელობა (500),

№ 19	№ 20	№ 21	№ 22	№ 23
	3,14	500	1000	2

ნახ. 8. საწყის მონაცემთა მოთავსება.

საიდანაც ცხრილი უნდა დაიწყოს, № 22 უჯრედში — რადიუსის უდიდესი მნიშვნელობა (1000), № 23 უჯრედში — რიცხვი 2, რომელიც იმაზე მიუთითებს, რომ რადიუსის მნიშვნელობა ყოველი 2 მმ-ის შემდეგ უნდა ავიღოთ, № 19 უჯრედში კი მხოლოდ საშუალედო შედეგები ჩაიწერება.

პროგრამის შესრულება

ამუშავების შემდეგ მანქანა ბრძანებებს იმ თანმიმდევრობით შეასრულებს, როგორითაც ისინი უჯრედებშია განლაგებული.

პ ი რ ვ ე ლ ი ბრძანების (3-21-21-19) თანახმად რადიუსის საწყისი მნიშვნელობა (500), რომელიც № 21 უჯრედშია შენახული, თავიხ თავზე გადამრავლდება, ხოლო მიღებული ნამრავლი (რადიუსის კვადრატი) ჯერჯეროზით თავისუფალ № 19 უჯრედში მოთავსდება.

მ ე ო რ ე ბრძანების (3-19-20-19) მიხედვით ეს ნამრავლი (R^2) გადამრავლდება π რიცხვზე, რომელიც № 20 უჯრედშია შენახული, და შედეგი № 19 უჯრედში მოთავსდება (ამასთან აღნიშნულ უჯრედში ადრე ჩაწერილი რიცხვი ავტომატურად წაიშლება, ისევე როგორც ძველი ფონოგრამა მაგნიტოფონზე ხმის ჩაწერის დროს).

მ ე ს ა მ ე ბრაძნების (7-21-00-01) თანახმად რადიუსის მნიშვნელობა № 21 უჯრედიდან დაიბეჭდება № 1 საბეჭდი აპარატით, რომელიც ცხრილის პირველ სვეტს ავსებს.

მ ე ო თ ხ ე ბრძანების (7-19-00-02) მიხედვით № 2 საბეჭდი აპარატით ცხრილის მეორე სვეტში იბეჭდება წრის ფართობის შესაბამისი მნიშვნელობა, რომელიც № 19 უჯრედიდანაა აღებული.

მომდევნო ბრძანებების საფუძველზე ხდება წრის ფართობის გამოთვლა რადიუსის ახალი მნიშვნელობებისათვის, ანდა, თუ ყველა საჭირო მნიშვნელობა ამოწურულია, მუშაობა მთავრდება.

მ ე ხ უ თ ე ბრძანების (1-21-23-21) თანახმად რადიუსის ძველ მნიშვნელობას (500) ემატება 2, თანაც მიღებული შედეგი (რადიუსის ახალი მნიშვნელობა 502) იმავე № 21 უჯრედში იგზავნება, სადაც რადიუსის ადრინდელი მნიშვნელობა იყო.

მ ე ე ქ ვ ს ე ბრძანების (8-21-22-01) მიხედვით ტარდება ორი რიცხვის შედარება № 21 და № 22 მისამართებთან. თუ პირველი მათგანი მეორეზე ნაკლები ან მისი ტოლია, მაშინ მანქანა უბრუნდება № 1 ბრძანების შესრულებას, რომელიც მესამე მისამართშია მითითებული, საწინააღმდეგო შემთხვევაში კი უბრალოდ შემდეგი (მორიგი) ბრძანების შესრულებას იწყებს. ჩვენს შემთხვევაში რადიუსის ახალ მნიშვნელობას (№ 21 უჯრედიდან) ადარებენ მის უდიდეს მნიშვნელობას, რომლისთვისაც ჯერ კიდევ საჭიროა წრის ფართობის გამოთვლა. თუ რადიუსის ახალი მნიშვნელობა 1000-ზე მეტი არ არის, მანქანა იგივე გამოთვლებს ასრულებს, დაწყებული პირველი გამოთვლიდან, და ამრიგად ავსებს შედეგთა ცხრილის კიდევ ერთ სვეტს. თუ რადიუსის ახალი მნიშვნელობა 1000-ზე მეტია, მანქანა იწყებს შემდეგი (მ ე შ ვ ი დ ე) ბრძანების შესრულებას, რომლის მიხედვითაც უბრალოდ ჩერდება, თანაც სამართავ პულტზე აგზავნის სიგნალს გამოთვლების დამთავრების შესახებ.

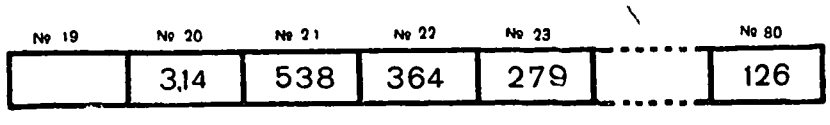
გამოთვლითი მანქანის მუშაობაში დიდი მნიშვნელობა აქვს შედარების ბრძანებას — „8“-ს და „პირობითი გადასვლის“ მის მსგავს სხვა ბრძანებებს. ისინი ზრდიან მანქანის მუშაობის ხარისხს, აფართოებენ მის შესაძლებლობებს და ისეთი მოქმედებების შესრულების საშუალებას აძლევენ, რომელთათვისაც იგი ერთი შეხედვით სულაც არ არის გამოსადეგი.

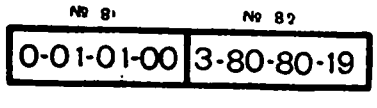
მოქმედებათა ერთი და იგივე თანმიმდევრობის მრავალგზის გამეორება საშუალებას გვაძლევს შედარებით მოკლე პროგრამით გრძელი გამოთვლები

ჩავატაროთ (სხვანაირად პროგრამის შედგენასა და მის მანქანაში შეტანას ხომ თითქმის იმდენივე დრო დასჭირდებოდა, რამდენიც ჩვეულებრივად ხელით გამოთვლას). კიდევ უფრო ეფექტურია პროგრამის შემოკლების სხვა ხერხი. ეს არის პროგრამის სისტემატური გადამუშავება თვით გამოთვლების პროცესში. პროგრამის ყველა ბრძანება ხომ გამოსახულია რიცხვებით, რომლებიც საწყისი ცნობებისა და საშუალედო შედეგების თანახმად დამმახსოვრებელ მოწყობილობაშია შენახული. ჩვენც არაფერი არ გვიშლის ხელს, ამ რიცხვებზე არითმეტიკული მოქმედებები შევასრულოთ და ამით ერთი ბრძანება მეორით შევცვალოთ. რა თქმა უნდა, ბრძანებების გარდაქმნა გამოთვლების გარკვეულ ეტაპზე ან გარკვეული შედეგების მიღებისას თვით პროგრამით უნდა იყოს წინასწარ გათვალისწინებული (ისევე, როგორც ყოველი საზოგადოებრივი ორგანიზაციის წესდება სხვა წესებს შორის, ჩვეულებრივ, თვით წესდების შეცვლის წესსაც შეიცავს).

პროგრამა, რომელშიც გარდაქმნებია

ვთქვათ, გამოსათვლელია წრის ფართობის მნიშვნელობა რადიუსის მხოლოდ რამდენიმე, წინასწარ გამოთვლილი მნიშვნელობებისათვის, მაგალითად, № 21 — 80 მეხსიერების უჯრედებში ჩაწერილი მნიშვნელობებისათვის (ნახ. 9). მაშინ, როგორც აქამდე, № 20 უჯრედში ვათავსებთ π-ს,





ნახ. 9. რიცხვები მანქანის მეხსიერებაში.

ხოლო № 81 და № 82 უჯრედებში საგანგებო რიცხვებს: 0-01-01-00 და 3-80-80-19, რომელთა მნიშვნელობაც შემდეგში გამოირკვევა. გამოთვლა შემდეგი პროგრამით უნდა შესრულდეს:

ბრძანების ნომერი	ბრძანების შიფრი	მოქმედება ბრძანების მიხედვით
1	3-21-21-19	გამრავლება
2	3-19-20-19	გამრავლება
3	7-19-00-02	დაბეჭდვა
4	1-01-81-01	შეკრება
5	8-01-82-01	შედარება
6	9-00-00-00	გაჩერება

პირველი ბრძანების მიხედვით უნდა გამოითვალოს რადიუსის პირველი მნიშვნელობის კვადრატი (№ 21 უჯრედიდან), რომელიც შემდეგში მეორე ბრძანებით π-ზე მრავლდება. მესამე ბრძანების თანახმად წრის ფართობის გამოთვლილი მნიშვნელობა უნდა შევიტანოთ საბოლოო შედეგთა ცხრილში.

ამის შემდეგ უნდა გავიმეოროთ იგივე ოპერაციები, მაგრამ ახლა უკვე რადიუსის ახალ მნიშვნელობაზე, რომელიც № 21 უჯრედში კი არა, № 22 უჯრედში ინახება. ამისათვის პროგრამაში მეოთხე ბრძანების სახით შეიძლებოდა 3-22-22-19 ჩაგვერთო (რადიუსის ახალი მნიშვნელობა კვადრატში აგვეყვანა) და ამის შემდეგ უცვლელად გაგვემეორებინა მეორე და მესამე ბრძანებები. ამას უნდა მოჰყვეს ბრძანება 3-23-23-19 (კვადრატში უნდა იქნას აყვანილი რადიუსის მნიშვნელობა № 23 უჯრედიდან) და ა. შ. დიდი რაოდენობის სხვადასხვა მნიშვნელობის რადიუსების არსებობისას მეტისმეტად დიდი პროგრამა გვექნებოდა.

ადვილი მისახვედრია, რომ ახლად შეტანილი ბრძანებები 3-22-22-19, 3-23-23-19 და სხვ. შეიძლება პირველი 3-21-21-19 ბრძანებიდან მივიღოთ, თუ მას თანმიმდევრობით მივუმატებთ 0-01-01-00 რიცხვს, რომელიც № 81 უჯრედში ინახება:

$$\begin{array}{r} 3\text{-}21\text{-}21\text{-}19 \\ +\ 0\text{-}01\text{-}01\text{-}00 \\ \hline 3\text{-}22\text{-}22\text{-}19 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 3\text{-}22\text{-}22\text{-}19 \\ +\ 0\text{-}01\text{-}01\text{-}00 \\ \hline 3\text{-}23\text{-}23\text{-}19 \end{array}$$

და ა. შ.

ამრიგად, ბრძანების გამომხატველ რიცხვზე არითმეტიკული მოქმედების შესრულების საშუალებით შეიძლება მისი მისამართები (ამ შემთხვევაში პირველი და მეორე) სისტემატურად შეიცვალოს, ხოლო თუ საჭირო იქნება, შეიცვალოს მოქმედების კოდის მისამართებიც. სწორედ მისამართის შეცვლის ასეთი ოპერაცია სრულდება ჩვენს

მიერ განხილული პროგრამის მ ე ო თ ხ ე ბრძანების თანახმად. ამასთან, ის რიცხვი, რომელიც ახალ (შეცვლილ) მისამართს გამოსახავს, იმავე № 1 უჯრედში იგზავნება, სადაც საწყისი ბრძანება ინახებოდა (საჭიროების შემთხვევაში მისამართშეცვლილი ბრძანება შეიძლება მეხსიერების სხვა უჯრედშიც მოთავსდეს).

მ ე ხ უ თ ე ბრძანების თანახმად მიმდინარეობს № 1 უჯრედის მისამართშეცვლილი ბრძანების (რიცხვების) № 82 უჯრედში საგანგებოდ შეტანილ 3-80-80-19 ბრძანებასთან შედარება. ვიდრე მისამართშეცვლილი ბრძანების პირველი და მეორე მისამართები 80-ს არ აღემატება (№ 21 — 80 უჯრედებში შენახული რადიუსის ყველა მნიშვნელობა არ არის გამოყენებული), შედარების ბრძანების თანახმად გამოთვლის პროცესი უბრუნდება პროგრამის დასაწყისს, ე. ი. მისამართშეცვლილი ბრძანების შესრულებას. როცა რადიუსის ყველა მნიშვნელობა ამოიწურება, ბრძანება იღებს 3-81-81-19 სახეს, ე. ი. აღემატება № 82 უჯრედის რიცხვს და მანქანაც შედარების ბრძანების თანახმად შემდეგი (მ ე ე ქ ვ ს ე) ბრძანების შესრულებას იწყებს, ეს კი გაჩერებას ნიშნავს.

მანქანის უნივერსალურობა

როგორც უკვე ვთქვით, პროგრამის ცვლილება (მისი შესრულების პროცესში) პროგრამის ნაწილების პერიოდულ გამეორებასა და სხვა ხერხებთან ერთად განუზომლად ზრდის გამოთვლითი მანქანის შესაძლებლობებს, საშუალებას იძლევა მანქანაზე უმაღლესი მათემატიკის ურთულესი ამოცანები ამოიხსნას მიუხედავად იმისა, რომ მანქანის არითმეტიკულ მოწყობილობას მხოლოდ ოთხი არითმეტიკული მოქმედებისა და რამდენიმე უმარტივესი ლოგიკური ოპერაციის შესრულების უნარი შესწევს.

თანამედროვე გამოთვლითი მანქანის საიდუმლო მის ელემენტებში კი არ არის, არამედ ამ ელემენტთა მეტად მოქნილსა და რთულ ურთიერთკავშირში, რომელიც ელვისებური სისწრაფით იცვლება მოცემული პროგრამის შესაბამისად. როცა ერთსა და იმავე მანქანაში სხვადასხვა პროგრამა შეგვაქვს, ჩვენ შეგვიძლია მას სავსებით სხვადასხვანაირი ამოცანები გადავაწყვეტინოთ გონებრივი შრომის ერთმანეთისაგან ძალზე დაშორებული უბნებიდან. პროგრამის მიხედვით ერთსა და იმავე მანქანას შეუძლია გამოითვალოს კოსმოსური ხომალდის ტრაექტორია, იწინასწარმეტყველოს ამინდი, ითამაშოს ჭადრაკი, მართოს რკინიგზის კვანძის მუშაობა და ინგლისურიდან ქართულ ენაზე თარგმნოს წიგნები. სწორედ ეს ხდის ელექტრონულ მანქანას გონებრივი შრომის ავტომატიზაციის უნივერსალურ საშუალებად, რომლის გარეშეც შეუძლებელი იქნებოდა სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ჩვენი ეპოქისათვის ესოდენ დამახასიათებელი სწრაფი ტემპები.

ელექტრონული მანქანის დახმარებით შესაძლებელია ამა თუ იმ პრობლემის გადასაწყვეტი ზოგადი პრინციპების მოძებნის შემოქმედებითი პროცესი გამოვყოთ ამ პრინციპების მექანიკური განხორციელებისაგან. რაც უფრო მეტი მექანიკური გონებრივი შრომა დაეკისრება მანქანებს, მით მეტი დრო და ძალ-ღონე დარჩება მკვლევარს ნამდვილი მეცნიერული შემოქმედებისათვის.

როგორც გამოირკვა, გამოთვლის პროგრამის შედგენაც საკმაოდ შეიცავს ფორმალურსა და მექანიკურ ოპერაციებს. პროგრამის შემდგენმა არა მარტო უნდა მოიფიქროს ზოგადი გეგმა (ან ლოგიკური სქემა) ამოცანის გადაწყვეტისა (რაც შემოქმედებით აქტს წარმოადგენს), არამედ დიდის სიფრთხილითა და ყველა წვრილმანის ჩათვლით უნდა ჩაწეროს მანქანის თანმიმდევრული მოქმედება (ამისთვის კი საჭიროა მხოლოდ გარკვეული წესების პედანტური წესიერებით დაცვა). საქმის დასაჩქარებლად ბუნებრივია, რომ ეს ორი თავისი ხასიათით განსხვავებული ამოცანა გავყოთ: ლოგიკური სქემის შემოქმედებითი ძიება ადამიანს უნდა დავუტოვოთ, ბრძანებების დეტალურად ჩაწერის მექანიკური სამუშაო კი ელექტრონულ მანქანას დავაკისროთ. ამ მიზნისათვის შედგენილია ე. წ. მ ა პ რ ო გ რ ა მ ე ბ ე ლ ი პ რ ო გ რ ა მ ე ბ ი, რომელთა საფუძველზეც ადამიანის მიერ მანქანაში შეყვანილ ლოგიკურ სქემას თვით მანქანა აქცევს დეტალურად დამუშავებულ პროგრამად. ამით პროგრამისტის სამუშაოს მოცულობა რამდენიმე ათეულჯერ მცირდება.

პროგრამის ლოგიკურ სქემას ადამიანი ჩვენთვის უკვე ცნობილი „ბრძანებების“ თანმიმდევრობის მიხედვით კი არ იწერს, არამედ უფრო ჩვეულებრივი და ლაკონიური მათემატიკური სიმბოლი-

კის „ენით“, ანუ ჩვეულებრივი, მხოლოდ ოდნავ შეცვლილი მოხაზულობის ფორმულების სახით, რომლებსაც ცალკეული დამატებითი ახსნა ახლავს თან. თუ მანქანას არა აქვს მათემატიკურ სიმბოლოთა და ასოების შესაყვანი საგანგებო კლავიატურა, მაშინ თითოეული ამ ასოს წინასწარი, ხელით კოდირებაა საჭირო.

ამჟამად დიდი მუშაობა მიმდინარეობს პროგრამირების უნივერსალური ენის შესაქმნელად. ამ ენის საშუალებით ყველა შეძლებს (ძალზე მოკლე ვადიანი სწავლების შემდეგ) დამოუკიდებლად დაწეროს პროგრამის ლოგიკური სქემა, რომელიც სავსებით ვარგისი იქნება უშუალოდ მანქანაში შესაყვანად (მანქანა ერთხელ და სამუდამოდ უნდა აღიჭურვოს მაპროგრამებელი პროგრამით). ეს საშუალებას მოგვცემდა, საერთოდ, გამოგვერიცხა ხელით პროგრამირების ნაკლებმწარმოებლური პროცესი. ამ უნივერსალური ენის ერთ-ერთ ვარიანტს დღეს პირობითად „ალგოლი“ ეწოდება.

დროისა და შრომის ეკონომიის მეორე მეთოდი, რომელსაც უკვე ფართოდ იყენებენ, არის სტანდარტულ ქვეპროგრამათა ბიბლიოთეკის გამოყენება. ასეთ ბიბლიოთეკაში ინახება წინასწარ შედგენილი პროგრამები ყველა იმ სხვადასხვა სახის გამოთვლისათვის, რომლებიც პრაქტიკაში გვხვდება. მათ შორის შეიძლება იყოს კუბური განტოლების ან გარკვეული ინტეგრალის ამოხსნა. როცა მანქანას ამ სახის გამოთვლა კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტისას შეხვდება, იგი თვითონ „ამოიწერს“ ბიბლიოთეკიდან ბრძანებათა საჭირო თანმიმდევრობას — მხოლოდ საჭიროა მოკლე შეხსენება ამის შესახებ განსახილავი ამოცანის გადაწყვეტის ძირითადი პროგრამის შესაბამის ადგილზე. ეს მეთოდიც საგრძნობლად ზრდის შრომის ნაყოფიერებას პროგრამირების დროს.

პროგრამირების სულ უფრო მზარდი ავტომატიზაციის გარეშე პრაქტიკულად შეუძლებელი იქნებოდა ელექტრონული მანქანებით ძალზე ბევრი და ამასთან მეტად მნიშვნელოვანი ამოცანების გადაწყვეტა, რადგან პროგრამების შედგენას საგრძნობლად დიდი დრო დასჭირდებოდა.

ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების უნივერსალურობა იმას მოწმობს, რომ გონებრივი შრომის ერთმანეთისაგან მეტისმეტად განსხვავებული სახეებიც კი შეიძლება ერთსა და იმავე ელემენტარულ საფეხურებად განლაგდეს, ოღონდ ამ განლაგებას სხვადასხვა თანმიმდევრობა ექნება და სხვა საწყის მასალებზე შესრულდება. სწორედ ეს გარემოება იძლევა გონებრივი შრომის ყველა სახის ავტომატიზაციის პრობლემისადმი ერთიანი მიდგომის საშუალებას. გონებრივი შრომის ივ ზოგად კანონზომიერებათა შესწავლა, რომლებიც არ არის დამოკიდებული მისი სხვადასხვა სახის კონკრეტულ თავისებურებებზე, ახალგაზრდა მეცნიერების — კიბერნეტიკის — ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი და საინტერესო ამოცანაა (იხ. სტ. „რა არის კიბერნეტიკა?“).

იმისათვის, რომ თვალნათლივ დავინახოთ ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის უნივერსალურობა და თავისი ხასიათით ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული გონებრივი შრომის ერთიანობა, ვცადოთ და მოკლედ ავხსნათ, როგორ „ახერხებს“ მანქანა წიგნის ერთი ენიდან მეორეზე თარგმნას.

ავტომატური თარგმნა

დამმახსოვრებელ მოწყობილობაში შეაქვთ ინგლისური ტექსტი, ამასთანავე თითოეული ასო ელექტრონული იმპულსების გარკვეული კომბინაციით გამოისახება. ამის გარდა, მანქანის მეხსიერებაში წერენ ლექსიკონს, გრამატიკულ ცხრილებსა და ავტომატური თარგმნის პროგრამას.

უპირველეს ყოვლისა, მანქანა ლექსიკონში ეძებს თითოეული ინგლისური სიტყვის ქართულ ეკვივალენტს. ეს მისთვის იგივეა, რაც ტრიგონომეტრიულ ცხრილში მოცემული კუთხისათვის კოსინუსის მოძებნა. მაგრამ ყოველთვის ბრკოლდება საქმე, როცა ერთი და იგივე ინგლისური სიტყვა, ისევე როგორც ქართული „თვალი“, ორი მნიშვნელობით იხმარება. მთარგმნელი ჩვეულებრივ ამ მნიშვნელობათაგან ამოარჩევს ერთ-ერთს, იმას, რომელიც შინაარსს შეეფერება, მანქანამ კი მხოლოდ წინასწარ მიცემული ფორმალური წესებით უნდა იხელმძღვანელოს. ამიტომ ყოველი რამდენიმე მნიშვნელობის სიტყვისათვის მანქანის ლექსიკონში თარგმანი კი არა, საგანგებო ბრძანებაა — ანალიზი გაუკეთდეს ამ სიტყვას საგანგებო პატარა პროგრამის მიხედვით. ეს პატარა პროგრამა წარმოადგენს კითხვების თანმიმდევრობას, რომელთა პასუხების საშუალებითაც სიტყვის აზრის გაგება შეიძლება.

როცა ნაპოვნია ყველა სიტყვის (მათ შორის რამდენიმე მნიშვნელობის სიტყვების) თარგმანი და ჩაწერილია დამმახსოვრებელ მოწყობილობაში, მანქანა იწყებს მათ დამუშავებას ქართული ენის გრამატიკის შესაბამისად.

შემდეგი ეტაპია თარგმანის დამუშავება სინტაქსისა და სიტყვების განლაგების მიხედვით.

ქართული წინადადების სინთეზის შემდეგ თარგმანი გამომყვან მოწყობილობაში გადადის, რომელიც მას ქართული ასოებით ბეჭდავს ქაღალდზე (თუ ჰანქანა რომელიმე ინგლისურ სიტყვას თავის ლექსიკონში ვერ იპოვის, მას თარგმანში ლათინური ასოებით დაბეჭდავს).

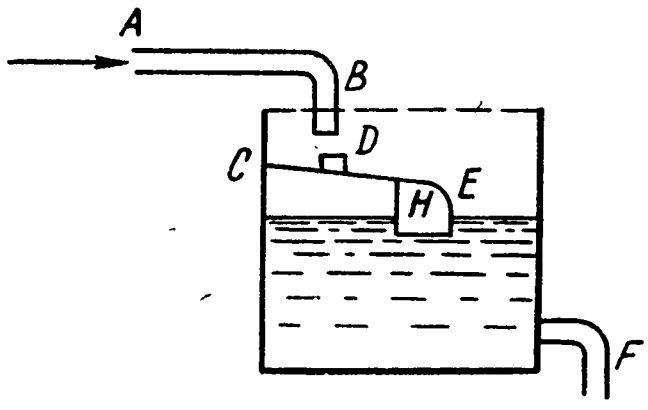
ჯერჯერობით წიგნების ავტომატურად თარგმნას პრაქტიკულად არ იყენებენ, ვინაიდან კიდევ ბევრი წინასწარი სამუშაოა ჩასატარებელი. ამ სამუშაოებში მონაწილეობა უნდა მიიღონ ფილოლოგებმა, მათემატიკოსებმა და ინჟინრებმა. მაგრამ ამ დარგში ჩატარებული პირველი ცდების კარგმა შედეგებმა კიდევ ერთხელ ცხადყო, რომ ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების გამოყენების არე მარტო მათემატიკური გამოთვლებით არ იფარგლება. უეჭველია, კიბერნეტიკული მანქანები სამეცნიერო ტექნიკური პროგრესის უმნიშვნელოვანეს ფაქტორებს განეკუთვნება.

რა არის კიბერნეტიკა?

მმართველი სისტემები

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ცნება, რომელსაც იყენებს თანამედროვე მეცნიერება, არის მ მ ა რ თ ვ ე ლ ი ს ი ს ტ ე მ ი ს ცნება. ჩვენ სხვადასხვაგვარ მმართველ სისტემას ვხვდებით ტექნიკაში, მცენარეულ და ცხოველურ სამყაროსა და ადამიანთა საზოგადოებაში.

ტექნიკური მმართველი სისტემის უმარტივესი მაგალითია წყლის დონის პრიმიტიული ტივტივა რეგულატორი (ნახ. 1). მისი მოვალეობაა ჭურჭელში სითხის მუდმივი დონის უზრუნველყოფა.



ნახ. 1.

მსგავს რეგულატორებს უმარტივეს ორთქლის ქვაბებში იყენებენ.

სითხე შეიძლება ჭურჭლიდან F მილით გადმოიღვაროს და ჭურჭელში AB მილით შევიდეს. სითხეში მოთავსებულია H ტივტივა, რომელიც CE ბერკეტზეა დამაგრებული. სითხის დონის აწევისას ტივტივაც ზევით ადის, ხოლო CE ბერკეტი C ღერძზე ბრუნვით საგანგებო D საცობით კეტავს მილის B ბოლოს. სითხის დონის დაწევისას D საცობი დაბლა ეშვება და გზას უხსნის სითხეს AB მილით ჭურჭელში შესასვლელად მანამ, სანამ საწყისი დონე არ აღდგება.

განხილულ მაგალითში მმართველი სისტემა შედგება H ტივტივასა, CE ბერკეტისა და D საცობისაგან. ეს უმარტივესი სისტემა ყველა იმ ძირითად თვისებას ატარებს, რომლებიც გაცილებით უფრო რთულ მმართველ სისტემებს ახასიათებს. მართლაც, ნებისმიერ მმართველ სისტემას, უპირველეს ყოვლისა, მ გ რ ძ ნ ო ბ ი ა რ ე ე ლ ე მ ე ნ ტ ი (შემყვანი მოწყობილობა) უნდა ჰქონდეს, რომლის დახმარებითაც იგი ცნობებს, ან როგორც ჩვეულებრივ ამბობენ, ი ნ ფ ო რ მ ა ც ი ა ს მიიღებს ს ა მ ა რ თ ა ვ ი ო ბ ი ე ქ ტ ი ს მდგომარეობის შესახებ (ამ შემთხვევაში სითხიანი ჭურჭლის შესახებ). ჩვენს შემთხვევაში ასეთი მგრძნობიარე ელემენტია ტივტივა.

ამის გარდა, მმართველ სისტემას უნდა ჰქონდეს მოწყობილობა, რომელიც მგრძნობიარე ელემენტის მეშვეობით სამართავი ობიექტიდან მიღებულ ინფორმაციას გარდაქმნის. ასეთი ი ნ ფ ო რ მ ა ც ი ი ს

გარდამქმნელად შეიძლება *CE* ბერკეტი მივიჩნიოთ.

დაბოლოს, მმართველ სისტემას საშუალება უნდა ჰქონდეს, ზეგავლენა მოახდინოს სამართავ ობიექტზე ამა თუ იმ შემსრულებელი მექანიზმით (გამომყვანი მოწყობილობით). ჩვენს მაგალითში ასეთი მექანიზმია *D* საცობი, რომელიც მილის *B* ბოლოს კეტავს.

თანამედროვე ტექნიკაში ჩვენ ისეთ ავტომატურ სისტემებს ვხვდებით, რომლებიც თავიანთი სირთულით არც შეიძლება ზემოაღწერილ უმარტივეს ავტომატურ რეგულატორს შევადაროთ. კიდევ უფრო რთულია ბიოლოგიური მმართველი სისტემები, რომელთა შორისაც პირველი ადგილი ადამიანის ნერვულ სისტემას, განსაკუთრებით კი მის თავის ტვინს, უჭირავს. ტექნიკური მმართველი სისტემის მსგავსად ადამიანის ნერვულ სისტემასაც გააჩნია მგრძნობიარე ელემენტები (ნერვების დაბოლოებები გრძნობის ორგანოებში), შემსრულებელი მექანიზმი (ნერვების დაბოლოებები, რომლებსაც კუნთები მართავს) და ინფორმაციის გარდამქმნელი (თვით ნერვული სისტემა). აგებულების ასეთივე სქემა აქვთ სხვა ბიოლოგიურ მმართველ სისტემებსაც.

მაგრამ როგორღაა მოწყობილი სხვადასხვა მმართველი სისტემა ადამიანთა საზოგადოებაში? ავიღოთ, მაგალითად, ეკონომიკის მართვის სისტემა. მისი მგრძნობიარე ელემენტია პირველადი აღრიცხვის აპარატი, რომელიც სხვადასხვა ცნობებს კრებს სახალხო მეურნეობის მდგომარეობის შესახებ. შეკრებილი ინფორმაციების გარდაქმნა და შესაბამისი გადაწყვეტილებების გამოტანა კი სახელმწიფო საგეგმო კომისიის, სახალხო მეურნეობის საბჭოსა და სხვათა საქმეა. საწარმოებში არის აგრეთვე საგანგებო შემსრულებელი აპარატი, რომელიც მიღებულ გადაწყვეტილებას ცხოვრებაში ატარებს. ყველა ზემოთ მოყვანილი მაგალითი იმაზე მიუთითებს, რომ მიუხედავად პრინციპული განსხვავებისა, რაც განხილულ მმართველ სისტემებს გააჩნია, მათ მაინც აქვთ რაღაც საერთო.

სხვადასხვა მმართველი სისტემების მოქმედებათა ზოგადი კანონების შესწავლა სპეციალური მეცნიერების — კიბერნეტიკის — საგანს წარმოადგენს.

ტერმინი „კიბერნეტიკა“ წარმოიშვა ძველბერძნული სიტყვიდან „კიბერნეტეს“, რაც მესაჭეს ნიშნავს და მოგვაგონებს, რომ კიბერნეტიკა არის მეცნიერება მართვის, ანუ, უფრო ზუსტად, მეცნიერება მმართველ სისტემებში ინფორმაციათა გარდაქმნის ზოგადი კანონების შესახებ.

ეს ტერმინი პირველად ფრანგმა ფიზიკოსმა ა. ამპერმა გამოიყენა 1834 წ., როცა კიბერნეტიკა უწოდა მაშინ ჯერ კიდევ არარსებულ მეცნიერებას საზოგადოების მართვის შესახებ. 1948 წ. ამერიკელმა მეცნიერმა ნ. ვინერმა სიტყვა „კიბერნეტიკა“ დაარქვა ზოგად მეცნიერებას მართვის შესახებ.

ამჟამად კიბერნეტიკა წარმოადგენს ავტომატიზაციის, უმთავრესად ადამიანის სხვადასხვა სახის გონებრივი შრომის ავტომატიზაციის, თეორიულ საფუძველს.

კიდევ ერთხელ აღვნიშნავთ ხაზგასმით, რომ კიბერნეტიკა სწავლობს მმართველი სისტემების ზოგად კანონებს. მაგრამ ტექნიკურსა და ბიოლოგიურ სისტემებს შორის და, მით უმეტეს, ამ ორ სისტემასა და ადამიანთა საზოგადოების მმართველ სისტემებს შორის დიდი თვისობრივი განსხვავებაა. ამიტომ კიბერნეტიკასთან ერთად არსებობს ისეთი მეცნიერებებიც, რომლებიც სხვადასხვა ტიპის მმართველი სისტემების თავისებურებებს შეისწავლიან. ამ მეცნიერებებს ეკუთვნის ტექნიკური ავტომატიკა, ნერვული სისტემის ფიზიოლოგია და სოციალურ (საზოგადოებრივ) მეცნიერებათა დიდი ჯგუფი.

თვით კიბერნეტიკა იყოფა რამდენიმე ნაწილად, რომელთაგანაც ბევრი (როგორც მათემატიკაში ალგებრა და გეომეტრია) უკვე დამოუკიდებელ მეცნიერებად იქცა.

ინფორმაცია და კოდირება

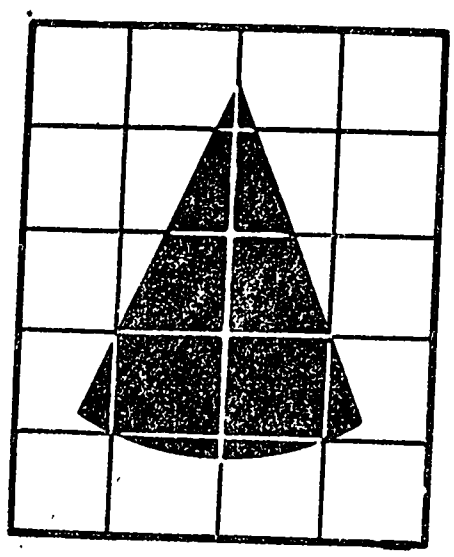
კიბერნეტიკის უმთავრესი შემადგენელი ნაწილია ე. წ. ინფორმაციის თეორია. იგი შეისწავლის ინფორმაციის წარმოდგენისა და გადაცემის სხვადასხვა ფორმას როგორც განყენებული (აბსტრაქტული) სახით, ასევე კონკრეტული მმართველი სისტემებისათვის. ინფორმაცია შეიძლება ორი სხვადასხვა ფორმით იქნას წარმოდგენილი: უწყვეტი და დისკრეტული (ანუ წყვეტილი) ფორმით.

პირველ შემთხვევაში ინფორმაცია წარმოდგენილია უწყვეტად ცვალებადი სიდიდეების სახით.

მაგალითად, რადიოთი ან ტელეფონით ლაპარაკის გადაცემისას ბგერები წარმოდგენილია უწყვეტად ცვლადი ელექტრული სიდიდეების — ძაბვის ან დენის სახით. იგივე ლაპარაკის ტელეგრაფით გადაცემისას მორზეს ანბანის ან ქაღალდზე ჩაწერის საშუალებით წარმოდგენის ხასიათი იცვლება. ინფორმაცია იყოფა ცალკეულ ნაწილებად: წერტილად ან ტირედ, ქართული ან რომელიმე სხვა ალფაბეტის ასოებად; ერთი ნაწილიდან მეორეზე გადასვლა ნახტომისებურად ხდება. ეს უკვე ინფორმაციის წარმოდგენის დისკრეტული ფორმაა.

კიბერნეტიკის თანამედროვე განვითარების დონეზე ინფორმაციის წარმოდგენის დისკრეტულ ფორმას განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. თურმე უწყვეტი ფორმით მოცემული ინფორმაცია შეიძლება წინასწარ დადგენილი სიზუსტით იქნას წარმოდგენილი დისკრეტული ფორმით. უფრო მეტიც, ცალკეულ ნაწილებად (რომლებადაც ეს დისკრეტული ინფორმაცია იყოფა) შეიძლება არჩეულ იქნას ამა თუ იმ ნიშნაკების (განზოგადებული ასოების) ნებისმიერი, წინასწარ განსაზღვრული რაოდენობა. მას, ჩვეულებრივ, ა ბ ს ტ რ ა ქ ტ უ ლ ა ლ ფ ა ბ ე ტ ს უწოდებენ. მთავარი ის არის, რომ ეს ალფაბეტი ერთზე მეტ განზოგადებულ ასოს უნდა შეიცავდეს. ამა თუ იმ აბსტრაქტული ალფაბეტის თანმიმდევრულად დალაგებული ასოებით ინფორმაციის წარმოდგენის პროცესს კ ო დ ი რ ე ბ ა ეწოდება.

მაგალითისათვის განვიხილოთ კოდირების პროცესი აბსტრაქტული ალფაბეტით გამოსახული ინფორმაციისა, რომელიც მოცემულია მე-2 ნახაზის დახმარებით. (აბსტრაქტული ალფაბეტი შედგება ორი განზოგადებული ასოსაგან; ეს ასოებია 0 და 1) ამისათვის დავყოთ ნახატი პატარ-პატარა მართკუთხედებად, რომელთა ზომაც იმაზე იქნება დამოკიდებული, როგორი სიზუსტით გვინდა ინფორმაციის წარმოდგენა.



ნახ. 2.

შევთანხმდეთ, რომ ყოველი პატარა მართკუთხედი, რომლის ნახევარზე მეტი ფართობი შავი არაა, ნულით აღვნიშნოთ, დანარჩენები კი ერთიანით. მაშინ, თუ თვალს გავაყოლებთ მართკუთხედებს ბწკარებზე მარცხნიდან მარჯვნივ, ხოლო ბწკარებს ზევიდან ქვევით, მე-2 ნახაზისათვის მივიღებთ შემდეგ დისკრეტულ კოდს: 00000000011001100000. რა თქმა უნდა, ასეთი წარმოდგენა ნაკლები სიზუსტით აღწერს სურათს. მაგრამ თუ მართკუთხედებს შევამცირებთ, მაშინ აღწერა ნებისმიერი სიზუსტის იქნება.

ინფორმაციის თეორიაში დამუშავებულია არა მარტო სხვადასხვა ცნობების კოდირების მეთოდი, არამედ ცნობებში შემავალი ინფორმაციის რაოდენობრივი შეფასების ხერხებიც.

ალგორითმები და ავტომატები

კოდირებისა და დეკოდირების (ე. ი. ინფორმაციის საწყისი სახის აღდგენა მისი დისკრეტული კოდის მიხედვით) საკითხები და სხვა პრობლემები პირველ რიგში მმართველი სისტემების შემყვანი და გამომყვანი მოწყობილობების დამუშავებისას წამოიჭრება. ინფორმაციის გარდასაქმნელ მოწყობილობათა თეორიულ საფუძველს წარმოადგენს თანამედროვე კიბერნეტიკის სხვა დარგები, კერძოდ, ა ლ გ ო რ ი თ მ ე ბ ი ს თ ე ო რ ი ა და ა ვ ტ ო მ ა ტ ე ბ ი ს თ ე ო რ ი ა.

ალგორითმი ეწოდება წესების სასრულ სისტემას, რომლის მიხედვითაც დისკრეტული ინფორმაცია გარდაიქმნება. მათემატიკაში ბევრი სხვადასხვაგვარი ალგორითმია. ალგებრის სასკოლო კურსიდან თქვენთვის კარგადაა ცნობილი ალგორითმები კვადრატულ და წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად, ფრჩხილების გასახსნელად, მსგავსი წევრების ასოითი აღნიშვნისათვის და სხვ. მაგრამ ალგორითმები შორს გასცდა მათემატიკის საზღვრებს. თუ ჩამოვაყალიბებთ ყველა წესს, რომლებითაც გამოცდილი მთარგმნელი, ვთქვათ, ინგლისური ენიდან ქართულ ენაზე თარგმნისას სარგებლობს, მივიღებთ ინგლისურ-ქართული თარგმანის ალგორითმს.

თუ ჰადრაკის თამაშის ელემენტარულ წესებს იმ სტრატეგიული წესების სისტემით შევავსებთ, რომლებიც ყველა პოზიციაში ერთადერთ, მოცემული წესების სისტემის თვალსაზრისით საუკეთესო სვლას მოგვაძებნინებს, მაშინ ჩვენ ჰადრაკის თამაშის ალგორითმი გვექნება.

თურმე ადამიანის გონებრივი მოღვაწეობის თითქმის ყოველი სახე შეიძლება ამა თუ იმ ალგორითმამდე დავიყვანოთ. მაგრამ პრაქტიკულად ამ ალგორითმების შემადგენელი ყველა წესის მოძებნა ხშირად ძალზე ძნელი და რთული საქმეა.

კიბერნეტიკისათვის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ალგორითმების თეორიაში მიღებულ ორ შედეგს. პირველი შედეგია ალგორითმული სისტემების უნივერსალურობა. თურმე ნებისმიერი ალგორითმის მისაღებად საკმარისია შევასრულოთ არც თუ ისე დიდი რაოდენობის ელემენტარული ალგორითმული ოპერაციები. ისევე როგორც ერთი და იგივე ელემენტარული ნაწილაკებიდან იქმნება სხვადასხვა ნივთიერებათა მოლეკულები, ანდა ერთი და იგივე ასოებისაგან — სხვადასხვა შინაარსის წიგნები, ყოველი ალგორითმიც, მისი ბუნებისაგან დამოუკიდებლად, შეიძლება ელემენტარულ ალგორითმულ ოპერაციათა შესაბამისი კომბინირებით წარმოიქმნას.

ალგორითმული თეორიის მეორე მნიშვნელოვანი შედეგი ის არის, რომ არსებობს ე. წ. ალგორითმულად ამოუხსნადი პრობლემები, ე. ი. ისეთი ამოცანების კლასები, რომელთა ამოსახსნელადაც სხვადასხვა ხერხების უსასრულო სიმრავლეა საჭირო. ყოველი ალგორითმი კი ხერხების მხოლოდ სასრულ რიცხვს შეიცავს.

მაგალითად, შეიძლება ავაგოთ ალგორითმი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, დავამტკიცოთ ელემენტარული გეომეტრიის ნებისმიერი თეორემა, სადაც არაა გამოყენებული ზღვრის ცნება. ამავე დროს დამტკიცებულია, რომ რიცხვთა თეორიისათვის (რომელიც ადგენს მთელ რიცხვთა სხვადასხვა თვისებებს) მსგავსი ალგორითმი არ არსებობს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ელემენტარული გეომეტრიის ასაგებად საკმარისია ხერხების (დამტკიცების მეთოდების) სასრული რიცხვი, რიცხვთა თეორიის ასაგებად კი შესაბამის ხერხთა სიმრავლე აუცილებლად უსასრულო უნდა იყოს.

ავტომატების თეორია და „გონიერი“ მანქანები

ამ შედეგების მნიშვნელობა კიბერნეტიკისათვის ცხადი ხდება ალგორითმების თეორიიდან ავტომატების თეორიაზე გადასვლისას. ავტომატების თეორიის ძირითადი ამოცანაა ამა თუ იმ ალგორითმის სარეალიზაციოდ დაამუშაოს ინფორმაციათა გარდამქმნელების, მაგალითად, ჰადრაკის სათამაშო ანერთი ენიდან მეორეზე ავტომატური თარგმნის მანქანების აგების მეთოდები.

თუ არსებობს უნივერსალური ალგორითმული სისტემები, მაშინ შეიძლება ავაგოთ ინფორმაციის უნივერსალური გარდამქმნელი, რომელსაც ნებისმიერი ალგორითმის რეალიზაციის უნარი ექნება. მსგავსი უნივერსალური გარდამქმნელები უკვე აგებულია და წარმატებით მუშაობენ. ეს ე. წ. უნივერსალური ელექტრონული ციფრული მანქანებია. ციფრული, ანუ გამოთვლითი ამ მანქანებს იმიტომ ეწოდა, რომ მათი პირველი დანიშნულება იყო გამოთვლითი ალგორითმების რეალიზაცია. ინფორმაცია, რომელთანაც მათ ჰქონდათ საქმე, იყო ციფრული, ე. ი. რიცხვთა ნაკრები. ასეთი მანქანები აღჭურვილია ე. წ. დამმახსოვრებელი მოწყობილობით (მეხსიერებით), რომელიც იძლევა როგორც გადასამუშავებელი ინფორმაციის, ასევე მანქანის სამუშაო პროგრამის, ე. ი. პირობით კოდებში ჩაწერილ, ბრძანებებად წოდებულ ალგორითმთა „დამახსოვრების“ საშუალებას.

პროგრამის შეცვლა მანქანის გადაუკეთებლად ხდება. საკმარისია მანქანაში გავატაროთ შესაბამის ადგილებში დასვრეტილი ქაღალდის ბარათები — პერფობარათები, ანდა დასვრეტილი ლენტი — პერფოლენტი. ასე შედის მანქანაში ახალი პროგრამა და მანქანაც სულ სხვა სახის სამუშაოს ასრულებს.

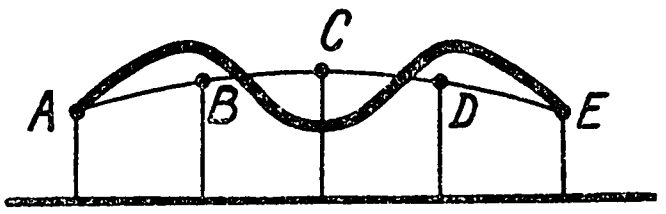
ამის წყალობით დიდი შესაძლებლობები იქმნება ადამიანის სხვადასხვა სახის გონებრივი შრომის ავტომატიზაციისათვის. საკმარისია მოვძებნოთ ალგორითმი, რომელიც მსგავსი სამუშაოს ამა თუ იმ სახეს აღწერს, გადავიყვანოთ იგი პროგრამაში, ან როგორც ამბობენ, მოვახდინოთ პროგრამირება, და მანქანაში შევიტანოთ.

ასეთ უნივერსალურ მანქანაზე შეიძლება ნე-

ბისმიერი ალგორითმის პროგრამირება. რადგანაც მანქანა ადამიანზე გაცილებით სწრაფად და ზუსტად მუშაობს, იგი, როგორც წესი, მოცემულ ალგორითმსაც უკეთ ასრულებს. აქედან გამომდინარე, გასაგებია, რა დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს კიბერნეტიკას გონებრივი შრომის ისეთი სახეების ავტომატიზაციისათვის, სადაც ადამიანს უკვე აღარ შეუძლია გაუმკლავდეს ინფორმაციების გადამუშავებას, მაგალითად, სამეცნიერო და საინჟინრო გამოანგარიშებათა დროს.

თანამედროვე მეცნიერების ბევრი დარგი, ისეთები, როგორიცაა ატომური ფიზიკა და რაკეტული ტექნიკა, თავისი ამოცანების გადასაწყვეტად მილიარდობით არითმეტიკული მოქმედების შემცველ გამოთვლას მოითხოვს. საგანგებო კლავიშებიანი გამოთვლითი ხელსაწყოებითაც კი ადამიანი მრავალნიშნა რიცხვებზე წუთში საშუალოდ მხოლოდ ორ ოპერაციას ასწრებს. ხოლო ერთი მილიარდი ოპერაციის ჩატარებას იგი ათასი წლის განუწყვეტელ მუშაობას მოანდომებდა ძილისა და დასვენების გარეშე. თანამედროვე ელექტრონულ ციფრულ მანქანას კი, რომელიც ერთ წამში 500 ათას არითმეტიკულ ოპერაციას ასრულებს, მთელი ამ სამუშაოსათვის ნახევარ საათზე ცოტა მეტი სჭირდება. შრომის ნაყოფიერების მსგავსი ზრდის პირობებში შესაძლებელი ხდება ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა, რომლებზეც უწინ ადამიანს ფიქრიც კი არ შეეძლო.

გამოთვლის ავტომატიზაცია მარტო მეცნიერებისა და ტექნიკის უახლესი დარგებისათვის როდია საჭირო. მაგალითად, მეტეოროლოგიაში მხოლოდ ავტომატიზაციის წყალობითაა შესაძლებელი ვადაზე ჩატარდეს რთული გაანგარიშებები, რომლებიც აუცილებელია ამინდის ზუსტი პროგნოზისათვის. ავტომატიზაციის დანერგვა ტექნიკურ დაპროექტებაში საშუალებას გვაძლევს შედარებით მცირერიცხოვანი ვარიანტებიდან უკეთესი პროექტის ამორჩევის ნაცვლად ყველა შესაძლებელი ვარიანტიდან ამოვირჩიოთ საუკეთესო (ე. წ. ოპტიმალური პროექტი).



ნახ. 3.

განვიხილოთ, მაგალითად, რკინიგზის პროექტის საუკეთესო ვარიანტის ამორჩევის ამოცანა მოცემული მარშრუტისათვის (ტრასისათვის). თუ ტრასის გასწვრივ მოვნიშნავთ ადგილმდებარეობის წარმოსახვით ვერტიკალურ ჭრილს, მივიღებთ რელიეფის უსწორმასწორობის გამომსახველ მრუდს (ნახ. 3). უშუალოდ ამ რელიეფზე გზის გაყვანა, როგორც წესი, არ შეიძლება: აღმართ-დაღმართები მეტად ციცაბო გამოვა და უკვე გაყვანილი გზის ექსპლუატაციის დროს მათი გადალახვა ან სავსებით შეუძლებელი იქნება, ანდა დიდ ხარჯებს გამოიწვევს (ეს დაკავშირებული იქნება სიჩქარისა და მატარებლის წონის შემცირებასთან, რამდენიმე ლოკომოტივის გამოყენებასთან და სხვ.).

გზის გასაყვანად აუცილებელია რელიეფის მოსასწორებელი სამუშაოების ჩატარება. ეს სამუშაო ხორციელდება რამდენიმე ამორჩეული ნიშნის (A, B, C, D, E წერტილების) მიხედვით. ვთქვათ, ასეთი წერტილი ხუთია, ხოლო ყოველ მათგანს, გარდა განსაზღვრულ დონეზე მდებარე განაპირა A და E წერტილებისა, შეუძლია სიმაღლის მიხედვით 100 სხვადასხვანაირი მდგომარეობა მიიღოს. ამ შემთხვევაში გვექნება რელიეფის მოსწორების $100^3 = 1000000$ სხვადასხვა ვარიანტი.

თუ მათ გადავსინჯავთ ორი ვარიანტის სიჩქარით წუთში, მთელ სამუშაოს ერთ წელიწადს მოვუნდებოდით. მაგრამ, თუ წერტილთა რაოდენობა ასს მიაღწევს, მაშინ ვარიანტების რაოდენობა გამოისახება ერთიანით და 196 ნულით, ხოლო ამ ვარიანტების გადასასინჯად საჭირო წელთა რიცხვი — ერთიანით და 190 ნულით. ასეთ შემთხვევაში პრაქტიკულად ყველა ვარიანტის გადასინჯვა შეუძლებელია არა მარტო ადამიანისათვის, არამედ ელექტრონული გამოთვლითი მანქანისათვისაც.

ამიტომ აუცილებელია შემუშავდეს მეთოდები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს მკვეთრად შევამციროთ გადასასინჯი ვარიანტები და თავიდან ავიცილოთ უამრავი აშკარა ცუდი ვარიანტი. ასეთ მეთოდებს ამუშავებს კიბერნეტიკის საგანგებო დარგი — ოპტიმალურ ამოხსნათა თეორია.

ამჟამად დამუშავებულია მთელი რიგი მეთოდებისა ოპტიმალური დაპროექტების, დაგეგმვისა და მართვის ამოცანების ამოსახსნელად. ამ მეთოდებიდან ბევრი საბჭოთა მეცნიერების მიერ იყო წამოყენებული და დასაბუთებული (ასეთია, მაგა-

ლითად; ლ. კანტოროვიჩის წრფივი პროგრამირების მეთოდი, ლ. პონტრიაგინის მაქსიმუმის პრინციპი და სხვ.). გზების, ელექტროგადამცემი ხაზებისა და სხვათა ოპტიმალური დაპროექტებისათვის მეტად მოსახერხებელია ვარიანტების ანალიზის თანმიმდევრული მეთოდი, რომელიც უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის კიბერნეტიკის ინსტიტუტში შეიმუშავეს. ამ მეთოდის დახმარებით რამდენიმე ასეული კილომეტრის სიგრძის რკინიგზის გასაყვანად რელიეფის მოსწორების ოპტიმალურ ვარიანტს საშუალო სიჩქარის (წამში 10 — 20 ათ›სი ოპერაცია) გამოთვლითი მანქანა 2 — 3 საათში პოულობს.

ტექნიკის მთელ რიგ დარგებში მუშავდება ალგორითმები, რომელთა მეოხებითაც შესაძლებელი ხდება ბევრი რთული ობიექტის დაპროექტების სრული ავტომატიზაცია.

არანაკლები მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე სახალხო მეურნეობის ოპტიმალურ დაგეგმვასა და მართვას. ეს საკითხები გამოყოფილია კიბერნეტიკის ცალკე დარგად — ე კ ო ნ ო მ ი უ რ კ ი ბ ე რ ნ ე ტ ი კ ა დ. სახალხო მეურნეობის ზრდის ტემპები და წარმოების მასშტაბები საბჭოთა კავშირში იმდენად დიდია, რომ ჩვეულებრივი არაავტომატიზებული მეთოდებით დაგეგმვა უკვე არ არის საკმარისი. პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ გეგმების ოპტიმალური (საუკეთესო) ვარიანტების ამორჩევა დღეს მიუღწეველია ადამიანთა ნებისმიერი კოლექტივისათვის, თუ იგი ელექტრონული ციფრული მანქანებით არ სარგებლობს.

ელექტრონულ ციფრულ მანქანებს ჯერჯერობით მხოლოდ კერძო საგეგმო-ეკონომიური ამოცანების გადასაწყვეტად იყენებენ. განსაკუთრებით წარმატებით წყდება ე. წ. სატრანსპორტო ამოცანები (მინიმალური სატრანსპორტო ხარჯების განსაზღვრა), აგრეთვე დაზგების სრული დატვირთვისა და სხვა ამოცანები, რომელთა გადასაჭრელად წრფივი დაპროექტების მეთოდებს მიმართავენ. ასეთი ავტომატიზაციის დროს ეკონომია 10 — 15% უდრის, ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში — 50 — 60%.

დღევანდელი ამოცანაა არა მარტო ეკონომიკის მართვისა და დაგეგმვის სრული ავტომატიზაცია, არამედ აუცილებელი პირველადი ინფორმაციის შეკრების, აღრიცხვისა და საცნობარო-სტატისტიკური სამუშაოების ავტომატიზაციაც. ამ მიზნით იქმნება საგანგებო გამოთვლითი ცენტრები, რომლებიც აღჭურვილია დიდი სიმძლავრის ელექტრონული ციფრული მანქანებით და აუცილებელი ინფორმაციების სასწრაფოდ გადაცემის უზრუნველსაყოფად ერთმანეთთან და წარმოებებთან შეერთებულია კავშირის თანამედროვე არხებით.



ნახ. 4.

ეკონომიკის ოპტიმალური მართვის ამოცანას მჭიდროდ უკავშირდება საწარმოო პროცესების ოპტიმალური მართვის ამოცანა. ჯერ კიდევ ბევრგან რთულ პროცესებს დისპეტჩერი ან დისპეტჩერთა ჯგუფი მართავს და არც თუ მაინცდამაინც კარგად. საქმე ის არის, რომ ადამიანის ტვინი ვერ ასწრებს უამრავი ინფორმაციის დროზე გადამუშავებას. აქ დახმარება შეუძლია მხოლოდ მართვის ავტომატურ სისტემებს, რომელთა შორისაც განსაკუთრებით უნდა გამოვყოთ მართვისათვის საგანგებოდ მოწყობილი უნივერსალური ელექტრონული ციფრული მანქანები.

ამ მანქანებს, ჩვეულებრივ, მ ა რ თ ვ ი ს უ ნ ი ვ ე რ ს ა ლ უ რ ი მ ა ნ ქ ა ნ ე ბ ი ეწოდება. ისინი აღჭურვილია საგანგებო შემყვანი და გამომყვანი მოწყობილობებით, რომლებიც იმ ინფორმაციის შეკრებისა და გადაცემის საშუალებას იძლევა, რომელიც აუცილებელია წარმოების სამართავად.

მართვის ერთ-ერთი პირველი უნივერსალური მანქანა, რომელიც კიევში შეიქმნა (ნახ. 4), წარმატებით ართმევს თავს ფოლადის გამოდნობის, გაზ-

საჭრელი დაზგის და ბევრი სხვა პროცესის მართვას.

საწარმოო პროცესების შორ მანძილზე სამართავად იყენებენ სტაციონარულ ელექტრონულ ციფრულ მანქანებს, რომლებიც გამოთვლით ცენტრში დგას. ასეთი ცდები წარმატებით ჩატარდა ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და საბჭოთა კავშირში (კიევის კიბერნეტიკის ინსტიტუტში).

მაგრამ ტექნიკური ბაზის, ე. ი. მმართველი მანქანების შექმნა მხოლოდ სანახევროდ წყვეტს საწარმოო პროცესების ავტომატიზებული მართვის პრობლემას. არანაკლები მნიშვნელობა აქვს საწარმოო პროცესების სამართავად ალგორითმიზაციის ამოცანის ამოხსნას, ე. ი. ეფექტური ალგორითმების მოძებნას საწარმოო პროცესების სამართავად. ტექნიკური (საწარმოო) ობიექტების მართვის ზოგად თეორიას სწავლობს ტ ე ქ ნ ი კ უ რ ი კ ი ბ ე რ ნ ე ტ ი კ ა.

მანქანის თვითდაოსტატება

საწარმოო პროცესების ალგორითმიზაცია მეტად შრომატევადია. ტექნოლოგიის განუწყვეტელი სრულყოფის გამო კი აუცილებელი ხდება მართვის ალგორითმების ხშირი შეცვლა და სრულყოფა. ამიტომაც სულ უფრო ხშირად ცდილობენ ისეთი სისტემები გამოიყენონ, რომელთაც თ ვ ი თ დ ა ო ს ტ ა ტ ე ბ ი ს უნარი შესწევთ.

ჩვეულებრივ, თვითდაოსტატება შემდეგნაირად ხდება: საკუთარი მმართველი ალგორითმის, ე. წ. მ უ შ ა ალგორითმის, ანუ პ ი რ ვ ე ლ ი ს ა ფ ე ხ უ რ ი ს ალგორითმის გარდა, იყენებენ კიდევ ერთ — მეორე საფეხურის — ალგორითმს. იგი კონტროლს უწევს პირველი ალგორითმის მუშაობის შედეგებს და მათი გაუმჯობესების მიზნით ცვლის ამ ალგორითმის ზოგიერთ ნაწილს. ალგორითმთა თვითდაოსტატების სისტემით აღჭურვილი უნივერსალური ელექტრონული ციფრული მანქანების გამოყენებით მართვა უფრო კარგად ხორციელდება. ამჟამად, ჩვეულებრივ, იყენებენ ორსაფეხურიან თვითდაოსტატების სისტემებს, რომლებზეც ზემოთ გვქონდა საუბარი. ამავე დროს შეიძლება კიდევ უფრო რთული, მრავალსაფეხურიანი სისტემების შექმნაც.

გონიერი მანქანა ადამიანის ერთგული თანაშემწეა

განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს თვითდაოსტატების სისტემას კიბერნეტიკის ერთ-ერთი საინტერესო ამოცანის — ადამიანის ტვინში მიმდინარე პროცესების მოდელირების ამოცანის გადაწყვეტისას. საქმე ის არის, რომ ადამიანის ტვინი მეტად რთული და ბევრ შემთხვევაში შესანიშნავად მოწყობილი თვითდაოსტატების სისტემაა. ტვინის შესაძლებლობანი შეიძლება შემდეგ მაგალითზე წარმოვიდგინოთ: გარეგნულად ადამიანი შედარებით უბრალოდ ეგუება გამოსახულების რომელიმე კლასის, მაგალითად, სხვადასხვანაირი სახლების სურათების აღქმას. თუ ადამიანს არც ისე ბევრი, ვთქვათ, ერთსართულიანი და ხუთსართულიანი სახლის გამოსახულებას ვუჩვენებთ, ის შეძლებს იმ გამოსახულებათა სწორი კლასიფიკაციაც მოახდინოს, რომლებიც ჯერ არ უნახავს, მაგალითად, ორსართულიანი, სამსართულიანი და სხვა სახლების კლასიფიკაცია. მაშასადამე, ადამიანს შეიძლება საკმაოდ სწორი ზოგადი და კერძო წარმოდგენა შევუმუშაოთ სახლებზე.

ტვინის მიერ გამოსახულებათა სხვადასხვა კლასის გამოცნობის უნარის მოდელირებისათვის კიბერნეტიკაში მრავალი ალგორითმია აგებული და მრავალი ექსპერიმენტიც ჩატარდა. ამ ექსპერიმენტებმა სინათლე მოჰფინეს ტვინში მიმდინარე ბევრ პროცესს და რიგ შემთხვევაში მხედველობით გამოსახულებათა, აგრეთვე ადამიანის მეტყველების გამოცნობის პროცესის ავტომატიზაციის პრაქტიკული გადაწყვეტის საფუძვლად იქცნენ. უნდა აღინიშნოს, რომ მეტყველების გამოცნობის ავტომატიზაციაში ჯერ კიდევ პირველი ნაბიჯებია გადადგმული. მანქანა გამოიცნობს მხოლოდ რამდენიმე ათეულ სხვადასხვა სიტყვას, რომლებიც სხვადასხვა ხმაზე და სხვადასხვა პირობებშია წარმოთქმული.

მანქანისათვის მხედველობითი და სხვა გამოსახულებების გამოსაცნობი პროცესების შესწავლა ყველაზე პირველი, შედარებით მარტივი ამოცანაა გონებრივი პროცესების მოდელირებაში. უფრო რთული ამოცანაა ლოგიკური აზროვნების, ენის შესწავლისა და შემოქმედებითი პროცესის მოდელირება.

ლოგიკური აზროვნების სფეროში პირველ რიგში მოდელირდება სხვადასხვა სისტემები, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება მათემატიკის ამა თუ იმ დარგის ჯერჯერობით ძალზე მარტივი თეორემების მტკიცება. ეს არის არა მარტო სახელმძღვანელოებში შესული, არამედ ახალი, ადამიანისათვის უცნობი თეორემების მტკიცება. ასეთი ავტომატიზაციის მნიშვნელობა ძალზე დიდია: თანამედროვე, ჯერ კიდევ შედარებით არასრულყოფილი უნივერსალური ელექტრონული ციფრული მანქანების სწრაფი და უშეცდომო მუშაობის მეოხებით ახლო მომავალში ისეთი რთული თეორემების დამტკიცებაც იქნება შესაძლებელი, რომლებიც მიუწვდომელია ადამიანის „შეუიარაღებელი“ ტვინისათვის.

აქ კიბერნეტიკა თვით მეცნიერებაში ავტომატიზაციის დანერგვას უახლოვდება. მომავალში კიბერნეტიკული მანქანები ადამიანებს არა მარტო ახალი თეორემების დამტკიცებაში მოეხმარება, არამედ დაკვირვებების შედეგების განზოგადებაშიც, ახალი ფიზიკური და სხვა თეორიების აგებაშიც და ა. შ. ახლა უკვე რთული გამოანგარიშებებისა და ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების გარდა მანქანებს იყენებენ საცნობარო-საინფორმაციო და ბიბლიოგრაფიულ სამუშაოთა ავტომატიზაციისათვის. სამეცნიერო ინფორმაციის დაგროვება არა მარტო ბიბლიოთეკებში, არამედ საგანგებო გამოთვლით ცენტრებში, კიბერნეტიკული მანქანის ელექტრონულ მეხსიერებაშიც შეიძლება. ასეთი ცენტრიდან მეცნიერის მოთხოვნით შეიძლება ძალზე სწრაფად მივიღოთ საჭირო ცნობა, რომელიმე სამეცნიერო სტატიის მოკლე ან სრული შინაარსი და სხვ.

დიდ ადგილს დაიჭერს მეცნიერული შემოქმედების ავტომატიზაციაში ავტომატური თარგმნა ერთი ენიდან მეორეზე, რეფერატის ავტომატურად დაწერა, სტატიების დაკონსპექტება და სხვ. ამ მიზნით მანქანას უნდა მივაწოდოთ ადამიანთა ენის ცოდნის ესა თუ ის სისტემა. პირველ ხანებში ასეთ სისტემაში შედის მხოლოდ აუცილებელი ლექსიკური მარაგი და გრამატიკის წესები. მაგრამ არც ის წარმოადგენს გადაულახავ ამოცანას, რომ მანქანას შევასწავლოთ მიწოდებული წინადადების აზრის გაგება.

მსგავსი ცდები ჩატარდა უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიაში. ამ ცდების დროს უნივერსალური ელექტრონული ციფრული მანქანა, რომელიც საგანგებო რეჟიმით (ე. წ. შესწავლის რეჟიმით) მუშაობდა, სწავლობდა ნებისმიერად აღებული ასი სიტყვისაგან შედგენილი აზრიანი წინადადებების ამავე სიტყვებისაგან შედგენილი უაზრო წინადადებებისაგან გამორჩევას. აღსანიშნავია, რომ სწავლების პროცესი ისე იყო ორგანიზებული, მანქანა უბრალოდ კი არ „იზუთხავდა“ „მასწავლებლის“ მიერ მიწოდებულ წინადადებებს, არამედ ქმნიდა ახალ ცნებებს, შეკითხვებს აძლევდა „მასწავლებელს“ და, როცა გამოცდის რეჟიმზე გადაიყვანეს, არა მარტო „მასწავლებლის“ მიერ მიცემული წინადადებების აზრიანობა გამოიცნო, არამედ ახლებისაც, რომლებიც მანამდე მისთვის არავის უცნობებია.

აქედან გამომდინარე, ისმის მეტად აქტუალური კითხვა: შესაძლებელია თუ არა შემოქმედებითი პროცესის ავტომატიზაცია? რაც შეეხება მეცნიერულ შემოქმედებას, ამაზე უკვე ზემოთ გვქონდა საუბარი. აუცილებელია მხოლოდ ვუპასუხოთ, წინასწარ რამდენად ისაზღვრება მანქანის პასუხები მასში შეტანილი პროგრამით. იქნებ პროგრამისტს პროგრამის შედგენაზე უფრო მეტი ჯაფა ადგას, ვიდრე მოცემულ პროგრამაში შეტანილი საკითხის უშუალოდ გადაწყვეტის დროს?

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ მარტივი მაგალითი. ვთქვათ, პროგრამისტმა არის, როგორ უნდა ამოიხსნას კვადრატული განტოლება, მაგრამ შეუძლია შეამოწმოს, არის თუ არა ესა თუ ის რიცხვი მოცემული კვადრატული განტოლების ფესვი. ამ შემთხვევაში მას ადვილად შეუძლია შეადგინოს პროგრამა, რომლის მიხედვითაც მანქანა შეეცდება სხვადასხვა ფორმულებით ამოხსნას კვადრატული განტოლება, ამავე დროს ყველა ასეთ ფორმულას გადაარჩევს მარტივიდან შედარებით რთულამდე. ამასთან ერთად თითოეული ასეთი ცდა მოწმდება მოცემულ განტოლებაში (ან მოცემულ რამდენიმე განტოლებაში) საცდელი ფორმულის შესაბამისად განსასაზღვრავი ფესვის ჩასმით. შეცდომის შემთხვევაში მანქანამ ავტომატურად უნდა ააგოს შემდეგი ფორმულა და ახლა ის გამოცადოს. ასე უნდა განმეორდეს მანამ, სანამ მორიგი ცდა წარმატებით არ დამთავრდება. ძალიან ჩქარი მუშაობის გამო მანქანა საკმაოდ სწრაფად პოულობს საჭირო ფორმულას.

უფრო რთული პრობლემების ამოსახსნელად

ასეთი მარტივი გადარჩევის მეთოდმა შეიძლება მანქანის გამოყენების დროსაც არ მოგვცეს სასურველი შედეგი. მიუხედავად ამისა, მეტად სწრაფი მოქმედების წყალობით მანქანას შეუძლია შესაბამისი პრობლემები უფრო მარტივი მეთოდების დახმარებით გადაჭრას, ვიდრე ადამიანს დასჭირდებოდა ამ მიზნისათვის. ამიტომ თუნდაც ცალკეული შემოქმედებითი ხასიათის პროგრამის შედგენა შეიძლება უფრო იოლი საქმე გახდეს, ვიდრე უშუალოდ ამ პრობლემის გადაწყვეტა. სინამდვილეში კი მდგომარეობა იმით მსუბუქდება, რომ შედგენილი პროგრამის გამოყენება დიდი რაოდენობის ერთი ტიპის პრობლემის გადასაწყვეტად შეიძლება.

შემოქმედებითი პროცესების ავტომატიზაციის შესაძლებლობა მარტო ზუსტი მეცნიერებებით როდი იფარგლება. ახლა, როცა კიბერნეტიკა პირველ გაუბედავ ნაბიჯებს დგამს, წარმატებით ჩატარდა მუსიკალური შემოქმედების ავტომატიზაციის ცდები; მანქანები თხზავენ ლექსებს (თუმცაღა, ჯერჯერობით ცუდ ლექსებს), თამაშობენ ჭადრაკს და ა. შ. შემოქმედებითი პროცესების ავტომატიზაციისათვის ყოველდღე სულ ახალ-ახალი ჰორიზონტი იშლება, მაგრამ, თქმა არ უნდა, რომ მსგავსი ავტომატიზაცია ყველგან ისე არ არის აუცილებელი, როგორც მეცნიერული შემოქმედების პროცესებისათვის.

უდავოა, რომ დღეს საჭირო არაა ლიტერატურული და მუსიკალური შემოქმედების ავტომატიზაცია. მაგრამ კიბერნეტიკას უკვე პოეზიისათვისაც მოაქვს სარგებლობა, რადგან მას კვლევის ზუსტ მათემატიკურ მეთოდებს აწვდის.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს კიბერნეტიკისა და ბიოლოგიის ურთიერთკავშირი. კიბერნეტიკა ბიოლოგიას კვლევის ახალ მეთოდებს აძლევს. უნივერსალური ელექტრონული ციფრული მანქანების საშუალებით შესაძლებელი ხდება ევოლუციისა და ბუნებრივი შერჩევის პროცესების მოდელირება, დაავადების ნიშნების მიხედვით ავადმყოფობის დადგენის პროცესის ავტომატიზაცია, პირობითი რეფლექსების წარმოშობის მექანიზმისა და ცხოველისა და ადამიანის ტვინის სხვა სახის მუშაობის მოდელირება.

თავის მხრივ ბიოლოგია კიბერნეტიკას ამარაგებს ახალი იდეებით, რომლებიც ეხება ადამიანის ტვინის თვისებებთან დღევანდელ მანქანებზე უფრო ახლოს მდგომი მანქანების აგებას. წარმოიშვა და წარმატებით ვითარდება ახალი მეცნიერული მიმართულება — ბიონიკა, რომლის მიზანია ცოცხალი ორგანიზმების ბევრი საინტერესო თვისების ტექნიკაში გადატანა. განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ცალკეული ცხოველის ზოგი ორგანოს მეტისმეტი მგრძნობელობა, მაგალითად, ძაღლის ყნოსვის ორგანოს მგრძნობელობა. საინტერესოა აგრეთვე ხერხები, რომელთა დახმარებითაც შედარებით ნაკლებად საიმედო ნერვული უჯრედებიდან იქმნება ისეთი საიმედო და მთლიანი მმართველი სისტემა, როგორიც ადამიანის ტვინია.

კიბერნეტიკა განუწყვეტლივ სრულყოფს თავის ტექნიკურ ბაზას. უზარმაზარი და ნაკლებად საიმედო მანქანები შეცვალა ისეთმა მანქანებმა, რომლებსაც აქვთ ნახევრად გამტარები და მაგნიტური ელემენტები. თანამედროვე ფიზიკის მიღწევების საფუძველზე შეიძლება ვისარგებლოთ მეტისმეტად მინიატურული ელემენტებითაც, რომლებშიც გამოყენებული იქნება თხელი ფირები, მტკიცე სქემები და სხვა ელემენტები. ეს საშუალებას მოგვცემს, დავამზადოთ ძალზე საიმედო, მცირეგაბარიტიანი, შედარებით იაფი და ექსპლუატაციისათვის მარტივი მანქანები. მიმდინარეობს აგრეთვე მანქანების ლოგიკური სტრუქტურის განუწყვეტელი სრულყოფა, მათი მუშაობის სისწრაფისა და მეხსიერების მოცულობის ზრდა. პარალელურად მუშავდება ახალი მანქანების აგების მეთოდები, რომლებიც არა მარტო ფუნქციების ასლს გადაიღებენ, არამედ ადამიანის ტვინის აგებულების ზოგიერთი დეტალის ასლსაც.

ახალი და უახლესი კიბერნეტიკული ხელსაწყოებისა და სისტემების ბაზაზე სწრაფი ტემპით ვითარდება ადამიანის სხვადასხვაგვარი გონებრივი შრომის ავტომატიზაციაც, რომელიც სულ უფრო ახალ-ახალ უბნებს ეუფლება, და რომელსაც უსაზღვრო შესაძლებლობები აქვს. მსგავსი ავტომატიზაციის მიღწევები ზოგიერთ ბურჟუაზიულ ფილოსოფოსსა და მწერალში შიშს იწვევს: სავსებით ხომ არ გამოდევნის ავტომატი ადამიანს? მაგრამ ასეთი შიში მხოლოდ ისტორიული განვითარების კანონზომიერებების უცოდინარობის შედეგია. კაპიტალისტურ სამყაროში მართლაც ასე ხდება: კიბერნეტიკის განვითარებასა და გამოთვლითი მანქანების გამოყენებას მოსდევს უმუშევრობა, მანქანის მიერ ადამიანის შევიწროება. მაგრამ ამაში

დამნაშავეა არა კიბერნეტიკა, არამედ კაპიტალიზმი.

სოციალისტურ და კომუნისტურ საზოგადოებაში, რომელიც ისტორიული გარდუვალობით იჭერს კაპიტალიზმის ადგილს, მანქანის მიერ ადამიანის შევიწროებაზე ფიქრიც კი ზედმეტია. როგორი სრულყოფილიც არ უნდა იყოს მანქანა, იგი მუდამ ადამიანის ერთგულ თანაშემწედ დარჩება და ხელს შეუწყობს ადამიანთა საზოგადოების მატერიალურ და სულიერ ძალთა განუზომელ ზრდას.

მეცნიერება შემთხვევითობის შესახებ

ჩვეულებრივი წარმოდგენები

ჩვენს ყოველდღიურ საუბარში ხშირად ვხმარობთ სიტყვა „შემთხვევას“, მისგან ნაწარმოებ „შემთხვევითობას“, და ა. შ. ყოველ ჩვენგანს უთქვამს და გაუგონია ასეთი ფრაზა: „შემთხვევით ერთი საინტერესო აზრი გამიჩნდა“, „შემთხვევით გადავრჩი დღეს“, ან „რა ბედნიერმა შემთხვევამ შეგვახვედრა ერთმანეთს“. ასეთ და მათ მსგავს გამოთქმებში ყოველთვის ერთსა და იმავე აზრს ვაქსოვთ ხოლმე: შემთხვევითი ხდომილობა ძალზე იშვიათია და იგი წარმოადგენს სრულიად განსაკუთრებულ მოვლენას, რომელიც ეწინააღმდეგება ერთხელ და სამუდამოდ დადგენილ კანონზომიერებას. ჩვენს ყოველდღიურ წარმოდგენაში შემთხვევითობა უპირისპირდება კანონზომიერებას, არღვევს მოვლენათა კანონზომიერსა და ნორმალურ განვითარებას.

განა მართლა ასეა? ასეთი შეხედულებით ხომ არ ვაუბრალოებთ სინამდვილეს? და როდესაც ვფიქრობთ, თითქოს სამყაროში მეფობს მხოლოდ გარკვეული ტიპის მკაცრი კანონზომიერება — ყოველი გარკვეული სიტუაცია იწვევს გარკვეულ შედეგს, ამით ხომ არ უგულვებელვყოფთ ბუნების მოვლენათა, აგრეთვე ტექნიკისა და ეკონომიკის პროცესთა შეცნობის მნიშვნელოვან შესაძლებლობებს?

ცხოვრებიდან, სინამდვილიდან აღებულ რამდენიმე მაგალითზე დავრწმუნდებით, რომ მრავალი მნიშვნელოვანი მოვლენა, არსებითად, დამოკიდებულია შემთხვევაზე, რომ შემთხვევათა გავლენის გაუთვალისწინებლად ამ მოვლენათა სრულყოფილი გამოკვლევა და შესწავლა შეუძლებელია, დავინახავთ, რომ ადამიანი მისთვის საინტერესო პროცესებს ვერ წარმართავს თავის ნება-სურვილზე, თუ არ გაითვალისწინა შემთხვევითი მოვლენების ზეგავლენა. გავიგებთ იმასაც, რომ თურმე შემთხვევით მოვლენებსაც განსაკუთრებული კანონზომიერებანი გააჩნია. სწორედ ამ კანონზომიერებათა შესწავლას ისახავს მიზნად ალბათობათა თეორია.

შემთხვევით ხდომილობათა მაგალითები

თითქმის ყოველი ჩვენგანი სარგებლობს ტელეფონ-ავტომატით. ზოგჯერ იძულებულნი ვართ ტელეფონთან ვიდგეთ და რიგს ველოდოთ, ზოგჯერ არავითარი რიგი არ არის და სწრაფად და დაუბრკოლებლად ვრეკავთ. ზოგჯერ ნომერი დაკავებულია და რამდენჯერაც არ ვცდით, დარეკვას ვერ ვახერხებთ. ზოგჯერ კი ნომერს ავკრებთ თუ არა, მაშინვე ვუკავშირდებით, ვისაც ვურეკავთ. ტელეფონით სარგებლობის პირობათა ასეთი ცვალებადობა და მერყეობა სრულიად ჩვეულებრივი მოვლენაა და შემთხვევით ხასიათს ატარებს.

ცნობილია, რომ რაიმე სიდიდის გაზომვისას ერთი შედეგი განსხვავდება მეორე შედეგისაგან. შეუძლებელია რამდენიმე გაზომვამ აბსოლუტურად ერთნაირი შედეგი მოგვცეს. ეს ფაქტი კარგადაა ცნობილი ექსპერიმენტატორებისათვის. დიდი ხანია შემუშავებულია ქმედითი საშუალებები გაზომვის შემთხვევითი შეცდომების ასაცილებლად. ყოველმა მოსწავლემ კარგად იცის, რომ ფიზიკური და ქიმიური გაზომვების დროს უფრო საიმედო შედეგის მისაღებად ცდა რამდენიმეჯერ უნდა გაიმეოროს, ხოლო იმისათვის, რომ მიუახლოვდეს ჭეშმარიტებას, მიღებული რიცხვებიდან საშუალო არითმეტიკული უნდა აიღოს. ჩვენ კვლავ წავაწყ-

დით შემთხვევითობის გავლენას ისეთ ხდომილობებში, რომლებსაც სისტემატურად ასრულებს მრავალი ათასი ადამიანი ქარხნების ლაბორატორიებში, კვლევით ინსტიტუტებში, საავადმყოფოებსა და სავაჭრო დაწესებულებებში.

ადამიანთა სიცოცხლის, ნათესების, საქონლის, ქონების დაზღვევისას ვის შეუძლია იწინასწარმეტყველოს, რა მოუვა ამა თუ იმ დაზღვეულს, ამა თუ იმ ნათესს, ამა თუ იმ სახლს. იქნებ დაზღვეულს უბედურება შეემთხვა, იქნებ ნათესი სეტყვამ ან გვალვამ გაანადგურა, იქნებ საქონელიც გაწყვიტა ავადმყოფობამ, ხანძარმა კი მთელი ქონება შთანთქა. როდესაც დამზღვევი ორგანიზაციები სადაზღვევო გადასახადის და სადაზღვევო პრემიების თანხას ადგენენ, უნდა გაითვალისწინონ შემთხვევის გავლენა და ივარაუდონ თანხა იმ დაზღვეულთათვის, რომლებსაც სადაზღვევო პრემია უნდა გადაუხადონ. შემთხვევის გავლენის გათვალისწინებას ემყარება მთელი სადაზღვევო საქმე.



თურმე, მოზრდილი ადამიანების ტერფის ზომები ზუსტ მათემატიკურ კანონზომიერებას ემორჩილება.

როდესაც ფეხსაცმლის ფაბრიკები მომავალი წლისათვის გამოსაშვები საქონლის ასორტიმენტს ადგენენ, მომხმარებელს არ ეკითხებიან, რა ზომისა და რამდენი წყვილი ფეხსაცმელი დაგჭირდებათო. მომხმარებლისათვის გამოუსადეგარი ზომის ფეხსაცმელი ჭარბად რომ არ დავამზადოთ, წინასწარ უნდა შევისწავლოთ და გავითვალისწინოთ, რამდენ მომხმარებელს დასჭირდება ამა თუ იმ ზომის ფეხსაცმელი. მართალია, არც ერთი მაღაზია არ იცნობს პირადად თავის მომხმარებელს, მაგრამ ფეხსაცმლის წარმოება მაინც აკმაყოფილებს მოსახლეობის მოთხოვნილებებს, რადგან კარგადაა შესწავლილი ფართო მასების ფეხის ძირითადი ზომები. თურმე აქ საქმე გვაქვს შემთხვევის ერთ-ერთ კანონთან, რომელსაც ლაპლასისა და ლიაპუნოვის თეორემა ეწოდება.

საბჭოთა კავშირი ყოველწლიურად აფართოებს საგარეო ვაჭრობას; ამასთან დაკავშირებით მნიშვნელოვნად ადიდებს სატვირთო გემების რაოდენობასაც. ფლოტის უკეთ გამოსაყენებლად საჭიროა იმ კანონზომიერებათა ცოდნა, რომლებსაც სატვირთო გემების მიმოსვლა ემორჩილება. ერთი შეხედვით აქ თითქოს გადასაწყვეტი არაფერია, რადგან გემების მიმოსვლა წინასწარაა დაგეგმილი და იგი ზუსტად გრაფიკის მიხედვით ხორციელდება. მაგრამ სინამდვილეში ასე არ ხდება; ამა თუ იმ ნავსადგურში მსოფლიოს ყოველი კუთხიდან შემოდიან გემები, გზადაგზა ისინი ხვდებიან სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ პირობებში, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მათი მოძრაობის სიჩქარეზე. ეს გარემოება მოქმედებს დანიშნულების ნავსადგურში გემის შემოსვლის ვადებზე. საზღვარგარეთისა და ჩვენი ქვეყნის საქონლით ვაჭრობა არ არის შეთანხმებული გემების ნავსადგურში შესვლის გრაფიკთან. წარმოების ადგილიდან საქონლის ნავსადგურში მოზიდვა კიდევ მრავალ სხვა მიზეზზეა დამოკიდებული და მათი წინასწარ გათვალისწინება შეუძლებელია. მაშასადამე, ნავსადგურში გემების შემოსვლის გრაფიკი იძლევა ნავსადგურის ფაქტიური დატვირთვის მხოლოდ ძალიან ზოგად საერთო სურათს. მაგალითისათვის ვთქვათ, 1962 წლის სექტემბერში იმ გემებიდან, რომლებიც ლენინგრადის ნავსადგურში უნდა შემოსულიყვნენ, არ შემოვიდა 17 გემი. ამასთან, უგრაფიკოდ დამატებით შემოვიდა 22 გემი. იმის გასარკვევად, თუ როგორ კარგად მოქმედებს აქ შემთხვევითობის კანონები, მოვიყვანოთ პატარა ცხრილი, სადაც ნაჩვენები იქნება ოდესის ნავსადგურში 1962 წლის აპრილის ბოლოსა და მაისში ე. წ. გენერალურ ტვირთიანი გემების ფაქტიური შემოსვლა. ცხრილის პირველ სტრიქონში მითითებულია ერთი დღე-ღამის განმავლობაში შემოსული გემების რაოდენობა, მეორეში — იმ დღე-ღამეთა რაოდენობა, როდესაც ნავსადგურში შემოვიდა ზემოთ მითითებული რაოდენობის გემები. მესამეში მოყვანილია ალბათობათა თეორიის საფუძველზე გამოთვლილი იმ დღე-ღამეთა რაოდენობა, როდესაც ნავსადგურში უნდა შემოდიოდეს მითითებული რაოდენობის გემები.

გენების რაოდენობა დღე-ღამეში	0	1	2	3
დღე-ღამეთა ფაქტური რაოდენობა	16	13	10	3
გამოთვლილ დღე-ღამეთა რაოდენობა	15,5	15,5	8.6	2,4

ცხრილის მიხედვით ჩანს, რომ, თანახმად ალბათობათა თეორიის კანონებისა, ისეთი დღე-ღამე, როცა ნავსადგურში არც ერთი გემი არ შემოდის გენერალური ტვირთით, უნდა იყოს 15,5. ფაქტიურად ასეთი დღე-ღამე 16 იყო. განხილულ პერიოდში 3 დღე-ღამეს ნავსადგურში მხოლოდ 3 გემი შემოდიოდა, გამოთვლის თანახმად კი ასეთი დღე-ღამე 2,4 უნდა ყოფილიყო. მოყვანილი მაგალითი ცხადყოფს, რომ შემთხვევითობის ზეგავლენა ფლოტის მუშაობაშიც უნდა გავითვალისწინოთ.

რისთვის უნდა შევისწავლოთ შემთხვევითი მოვლენები

როგორც მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს, ადამიანი იძულებულია ანგარიში გაუწიოს შემთხვევის გავლენას თავისი საქმიანობის თითქმის ყოველ დარგში.

რისთვის გვჭირდება შემთხვევით მოვლენათა გავლენის შესწავლა? რას მოგვცემს, მაგალითად, ნავსადგურში გემების შემთხვევით შემოსვლის კანონზომიერებათა ცოდნა? უპირველეს ყოვლისა, იგი ნათელ წარმოდგენას შეგვიქმნის იმაზე, თუ რამდენ გემთან გვექნება საქმე. ეს კი უკვე ბევრს ნიშნავს, რადგან ნავსადგურის უფროსმა ისე უნდა წარმართოს მუშაობა, რომ მისადგომის განთავისუფლების მოლოდინში გემები არ მოცდნენ. რამდენი ასეთი მისადგომია საჭირო, როცა ცნობილია ნავსადგურის ტვირთბრუნვა? თუ წმინდა არითმეტიკულ გზას გავყვებით, ე. ი. მიღებული და გაცემული ტვირთის რაოდენობას გავყოფთ ერთი თვის საათებისა და იმ ტონათა რაოდენობაზე, რომელსაც ნავსადგურის მექანიზმი ერთი საათის განმავლობაში გაართმევს თავს, გაანგარიშება მცდარი იქნება. ამ შემთხვევაში ჩვენ ხომ ვერ გავითვალისწინებთ ნავსადგურში გემების შემთხვევით შემოსვლას. ალბათობათა თანამედროვე თეორიის დახმარებით კი შეგვიძლია ისე ჩავატაროთ გაანგარიშება, რომ გავითვალისწინოთ მრავალი შემთხვევითი ფაქტორი: გემების შემოსვლა, მათი დატვირთვა-გადმოტვირთვის შემთხვევითი გახანგრძლივება და სხვ. გარდა ამისა, შეგვიძლია მინიმუმამდე დავიყვანოთ ფლოტისა და მისადგომებისათვის გაწეული ხარჯები. ამრიგად, მნიშვნელოვანი ეკონომიური ამოცანის გადაჭრა შემთხვევითი მოვლენების შეცნობას ემყარება.

როდესაც რაიმე ექსპერიმენტს ვატარებთ, ან დაკვირვებას ვახდენთ, უპირველეს ყოვლისა, ერთი საკითხი გვაინტერესებს: რამდენი გაზომვა ან რამდენი ცდა უნდა ჩატარდეს, რომ დარწმუნებული ვიყოთ მიღებული შედეგის სიზუსტეში? რადგანაც ჩვენს ამოცანას შეადგენს გაზომვებში შემთხვევითი შეცდომების გავლენის შემცირება, ამიტომ შემთხვევითი მოვლენების თავიდან ასაცილებლად შემთხვევითი მოვლენების კანონები უნდა ვიცოდეთ.

შემთხვევითი მოვლენების კანონზომერებათა ცოდნას პრაქტიკული საქმიანობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს. აი, როგორ იყენებს მას ადამიანი: დიდი რაოდენობის საგანთა შემადგენლობაზე მცირერიცხოვანი სინჯის ანუ, როგორც ხშირად ამბობენ, „ამონარჩევის“ მიხედვით მსჯელობენ. მაგალითად, როდესაც ერთი დასტა ბამბის ბოჭკოს სიგრძესა და გამძლეობას ამოწმებენ, დასტიდან ნებისმიერ მცირე კონას (შტაპელს) ამოსწევენ ხოლმე. აი, ამ შტაპელის ბოჭკოს სიგრძისა და სიმაგრის მიხედვით მსჯელობენ მთელი დასტის ბოჭკოს ხარისხზე. ეს მეთოდი შესანიშნავ შედეგს იძლევა. ბოჭკოების უმცირესი ნაწილის შესწავლის შედეგების მიხედვით უკვე შეგვიძლია განვსაზღვროთ შემდგომი ტექნოლოგიური პროცესი ბოჭკოების მთელი ამ პარტიისათვის. სწორედ ასევე, დიდი რაოდენობის მარცვლეულის ხარისხზე ალალბედად აღებული მცირეოდენი სინჯის მიხედვით მსჯელობენ. ამ პრაქტიკული მეთოდების საფუძველს შეადგენს ალბათობათა თეორიის ზოგიერთი თეორემა, რომლებსაც დიდ რიცხვთა კანონები ეწოდება.

თანამედროვე მრეწველობაში ყოველი ცალკეული ნაწარმის ხარისხის შემოწმება შეუძლებელია, რადგან იგი ან ისეთი დიდი რაოდენობით მზადდება, რომ თითოეულის შემოწმებას მრავალი წელი დასჭირდებოდა, ან თვით ნაწარმი ზიანდება შემოწმების დროს. ამიტომ ამოწმებენ პროდუქცი-

ის მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილს და მიღებული შედეგების მიხედვით მსჯელობენ მთელი პროდუქციის ხარისხზე. როგორ უნდა შევარჩიოთ პროდუქციის სასინჯი ნაწილი? პროდუქციის რა რაოდენობა უნდა შემოწმდეს? რამდენად ზუსტია ასეთი შემოწმების შედეგები? ყველა ამ კითხვაზე გარკვეული პასუხის გაცემა შეუძლია მხოლოდ იმ მეცნიერებას, რომელიც შემთხვევათა კანონზომიერებებს შეისწავლის. ადამიანიც თავის პრაქტიკულ საქმიანობაში ფართოდ იყენებს ამ კითხვებზე გაცემულ პასუხებს. თურმე ეს მეთოდები შესანიშნავ შედეგს იძლევა და საშუალებას გვიქმნის დავზოგოთ თანხები, მასალა, შრომა, დრო.

როგორ აღმოცენდა მეცნიერება შემთხვევითობის შესახებ

ისევე, როგორც ყოველმა მეცნიერებამ, მეცნიერებამ შემთხვევითობის შესახებ განვითარება დაიწყო მაშინ, როცა საიმისო მოთხოვნილება გაჩნდა, როდესაც ადამიანს აღარ აკმაყოფილებდა მიახლოებითი დასკვნები და აუცილებელი გახდა ზუსტი გაანგარიშება.

შემთხვევითი მოვლენების შემსწავლელი მათემატიკური მეცნიერების—ალბათობათა თეორიის—შესაქმნელად პირველი ნაბიჯები გადაიდგა XVII ს. შუა წლებში, ახალი მათემატიკის ჩასახვის ეპოქაში. თითქმის იმავე დროს ჩაეყრა საძირკველი ანალიზურ გეომეტრიას და გამოჩნდა აღმონაცენები, რომლებმაც უახლოეს დროში მოგვცა დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის ელემენტები — მთელი თანამედროვე მათემატიკის საფუძველი. მათემატიკის ასეთი განვითარება შემთხვევითი არ იყო. იგი წარმოადგენდა საზოგადოებრივ ცხოვრებაში მომხდარი უდიდესი ძვრების — ვაჭრობის, მრეწველობისა და ზღვაოსნობის—განვითარების შედეგს.

ალბათობათა თეორიის პირველი ცნებები დაზღვევისა და აზარტული თამაშების ზეგავლენით ყალიბდებოდა. საზღვაო მიმოსვლისა და საზღვაო ვაჭრობის დიდი განვითარების შედეგად დაზღვევა უაღრესად გავრცელდა. აზარტულმა თამაშებმა გაიტაცა ფეოდალური საზოგადოების მაღალი წრეები. მრავალი თავადი აზარტული თამაშების საშუალებით ცდილობდა თავისი მატერიალური მდგომარეობის გამოსწორებას. ბევრი უგუნური მოთამაშის გარდა აღმოჩნდნენ ისეთებიც, რომლებიც შემთხვევით სიტუაციებში კანონზომიერების აღმოჩენას ცდილობდნენ. ერთ-ერთმა თავგამოდებულმა მოთამაშემ დე მერემ რამდენიმე ამოცანის ამოსახსნელად მიმართა იმ დროის უდიდეს მათემატიკოსსა და მოაზროვნეს ბ. პასკალს. აი, ერთერთი ამოცანა: კამათლის ოთხჯერ გაგორებისას რა უფრო ხშირად ხდება: ერთხელ მაინც მოვა ექვსიანი, თუ ექვსიანი საერთოდ არც ერთხელ არ მოვა?

ვნახოთ, როგორ შეიძლება ამ ამოცანის ამოხსნა. როდესაც ერთ კამათელს ერთხელ ვაგორებთ, იგი დაჯდება მხოლოდ ერთ მხარეს (მას 6 მხარე ანუ 6 წახნაგი აქვს). ექვსი შემთხვევიდან კამათელი ხუთჯერ ჯდება იმ მხარეზე, რომელსაც ექვსიანი არა აქვს. მაგრამ თუ კამათელს ოთხჯერ ზედიზედ გავაგორებთ, მაშინ ზემოთ მოქცეული წახნაგების შესაძლო კომბინაციათა რაოდენობა გაცილებით მეტი იქნება. მართლაც, კამათლის ორჯერ გაგორებისას ზემოთ მოქცეული წახნაგების სხვადასხვა კომბინაციათა რაოდენობა პირველ და მეორე გაგორებისას იქნება $36 = 6^2$ (ისინი ჩაწერილია I ცხრილში).

I ცხრილი

(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)	(1,6)
(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)	(2,6)
(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)	(3,6)
(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)	(4,6)
(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)	(5,6)
(6,1)	(6,2)	(6,3)	(6,4)	(6,5)	(6,6)

კამათლის სამჯერ გაგორებისას უკვე 6^3 სხვადასხვა კომბინაცია გვექნება, ხოლო ოთხჯერ გაგორებისას — $6^4 = 1296$ სხვადასხვა შესაძლებლობა. რამდენი შესაძლო ვარიანტის დროს არც ერთხელ არ მოვა ექვსიანი? ცხრილიდან ჩანს, რომ კამათლის ორჯერ გაგორებისას 36 შესაძლებლობიდან 25 შემთხვევაში (5^2) ექვსიანი არც ერთხელ არ მოვა. კამათლის ოთხჯერ გაგორების დროს ექვსიანი არც ერთხელ არ მოვა $5^4 = 625$ შემთხვევისას. აქედან გამოდის, რომ კამათლის ოთხჯერ ზედიზედ გაგორებისას ექვსიანი ერთხელ მაინც მოვა $1296 - 625 = 671$ შემთხვევისას. მაშასადამე, კამათლის ოთხჯერ გაგორებისას ექვსიანი

უფრო ხშირად მოვა, ვიდრე არც ერთხელ. დე მერე ამ აღმოჩენას დიდი წარმატებით იყენებდა.

ალბათობათა თეორიის ძირითადი ცნებებისა და მათზე მოქმედებათა წარმოშობა დაკავშირებულია XVII ს. უდიდესი მათემატიკოსების: ბ. პასკალის, პ. ფერმას, ჰ. ჰიუგენსის და ი. ბერნულის სახელებთან. ის ამოცანები, რომლებიც წარმოიშვა ალბათობათა თეორიის გარიჟრაჟზე, დაახლოებით ასეთი ხასიათისა იყო: ყოველი ცდის ჩატარებისას შეიძლება გამოჩნდეს ერთ-ერთი მდგომარეობა n ერთნაირად შესაძლებელი მდგომარეობიდან. ჩვენთვის სასურველი A ხდომილობა მხოლოდ და მხოლოდ მაშინ გამოჩნდება, როცა მათგან წარმოიშვება გარკვეული m მდგომარეობა. მაგალითი: ოთხი კამათლის გაგორებისას, როგორც დავინახეთ, შესაძლებელია 1296 სხვადასხვა მდგომარეობა; აქედან 625 ისეთია, რომ არასოდეს არ მოვა ექვსიანი.

იმ შემთხვევათა რაოდენობა, როდესაც ხდება ჩვენთვის სასურველი A ხდომილობა, საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ, თუ რამდენად ხშირად შეიძლება მოხდეს იგი რეალური ცდის დროს. მაგრამ ასეთი მეთოდი მოუხერხებელია და ამიტომ მეცნიერებაში შემოღებულ იქნა ახალი ცნება: A ხდომილობის ალბათობა ეწოდება $\frac{m}{n}$ ფარდობას, სადაც m არის იმ შემთხვევათა რიცხვი, როდესაც ხდება A ხდომილობა, ხოლო n წარმოადგენს ყველა შესაძლებელ შემთხვევათა რიცხვს. A ხდომილობის ალბათობას ჩვენ აღვნიშნავთ $P\{A\}$ სიმბოლოთი. ამრიგად, განსაზღვრის მიხედვით:

$$P\{A\}=\frac{m}{n}.$$

ჩვენს მაგალითში ალბათობა იმისა, რომ კამათლის ოთხჯერ გაგორებისას არც ერთხელ არ მოვა ექვსიანი, უდრის

$$P\{A\}=\frac{625}{1296},$$

ხოლო ალბათობა იმისა, რომ ექვსიანი მოვა თუნდაც ერთხელ, უდრის $\frac{671}{1296}$.

განვიხილოთ კიდევ ერთი ამოცანა, რომელიც ალბათობათა თეორიის შექმნის ხანას განეკუთვნება (გადმოცემით, ამ ამოცანის ამოსახსნელად ჰ. ჰიუგენსს მიმართა ერთ-ერთმა ლანდსკნეხტმა — დაქირავებულმა ჯარისკაცმა). სამი კამათლის ერთდროულად გაგორების დროს ქულების რომელი საერთო ჯამი უნდა მივიღოთ უფრო ხშირად, 11 თუ 12? ლანდსკნეხტმა შენიშნა, რომ პირველიცა და მეორე ჯამიც შეიძლება განხორციელდეს 6 სხვადასხვა ხერხით. სახელდობრ:

$$11=1+4+6=1+5+5=2+3+6=$$
$$=2+4+5=3+3+5=3+4+4,$$
$$12=1+5+6=2+5+5=2+4+6=$$
$$=3+3+6=3+4+5=4+4+4.$$

სიტყვებით: ჯამი 11 შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ მაშინ, როცა ან ერთი კამათელი მოგვცემს 1, მეორე — 4, მესამე — 6, ან და ა. შ. სწორედ ასევე 12 შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ მაშინ, როდესაც ან ერთი კამათელი გვაძლევს 1, მეორე — 5, მესამე — 6, ან და ა. შ.

ლანდსკნეხტის ვარაუდით, თითქოს 11 და 12 ერთნაირად ხშირად უნდა მოდიოდეს, მაგრამ მრავალი წლის გამოცდილებამ მას სულ სხვა რამ აჩვენა: 11 უფრო ხშირად მოდიოდა, ვიდრე 12. რა არის ამის მიზეზი?

ჩვენ უკვე ვიცით, რომ სამი კამათლის გაგორების დროს გვექნება სულ 216 შესაძლებელი შედეგი. ახლა ჩვენი ამოცანაა გამოვთვალოთ ყველა იმ ერთნაირად შესაძლებელ შედეგთა რიცხვი, რომელსაც ჯამში გამოჩნდება 11 და 12. ამასთან დავინახავთ, რომ სამი შესაკრების ჯამად 11 და 12 რიცხვების დაშლათა რაოდენობა ერთნაირია, მაგრამ ეს არ გვაძლევს საფუძველს დავასკვნათ ამ ხდომილობათა ალბათობების ტოლობა. საქმე ისაა, რომ ყველა ეს ჯამი ერთნაირად ხშირად არ გვხვდება. ყველა ჯამი, რომლებსაც სამივე შესაკრები სხვადასხვა აქვთ შესაძლებელ შედეგთა გამოთვლის დროს, უფრო დიდი უნდა ავიღოთ, ვიდრე დანარჩენები. მართლაც, 11-ის დაყოფა შესაკრებთა ჯამად $1+4+6$ შეიძლება ექვსი სხვადასხვა ხერხით ჩატარდეს: (1, 4, 6), (1, 6, 4), (4, 1, 6), (4, 6, 1), (6, 1, 4), (6, 4, 1). ჩვენ გონებაში ვნომრავთ კამათლებს და პირველ ადგილზე მივუთითებთ პირველი კამათლის ქულებს, მეორეზე—მეორე კამათლისას, მესამეზე — მესამისას.

სწორედ ასევე ჯამები, რომლებშიაც ორი შესაკრები ერთნაირია, მაგალითად, $1+5+5$, შეიძლება მივიღოთ სამი სხვადასხვა ხერხით (1, 5, 5), (5, 1, 5), (5, 5, 1). დაბოლოს, ჯამი $4+4+4$ მიიღება ერთადერთი გზით: (4, 4, 4).

თუ გავითვალისწინებთ ყოველივე ამას, გამოირკვევა, რომ თურმე იმ შემთხვევათა რიცხვი, როდესაც ვღებულობთ ჯამს 11, უდრის: 6+6+6+3+3+3=27, ხოლო როდესაც ვღებულობთ ჯამს 12, უდრის: 6+6+6+3+3+1=25. ამრიგად, მივიღებთ, რომ:

$$P\{11\}=\frac{27}{216}. \qquad P\{12\}=\frac{25}{216},$$

მაგრამ მას შემდეგ, რაც გაფართოვდა ალბათობათა თეორიის გამოყენების სფერო, ცხადი გახდა, რომ ალბათობათა კლასიკური განსაზღვრა აღარ კმაროდა და საჭირო იყო ამ განსაზღვრის განზოგადება. ასეთი განზოგადება უკვე მოხდა და ჯერჯერობით იგი აკმაყოფილებს როგორც პრაქტიკოსების, ასევე თეორეტიკოსების მოთხოვნებს. მიუხედავად ამისა, ალბათობათა კლასიკური განსაზღვრა უაღრესად სასარგებლო აღმოჩნდა თანამედროვე ბუნებისმეტყველებისათვის; მას ემყარება მრავალი მნიშვნელოვანი დასკვნა.

ალბათობათა შეკრებისა და გამრავლების თეორემები

უპირველეს ყოვლისა, განვიხილოთ ორი მნიშვნელოვანი ფორმულა, რომლებიც საფუძვლად უდევს ალბათობებზე მოქმედებებს.

ამ ფორმულებს ალბათობათა შეკრებისა და გამრავლების თეორემები ეწოდება.

ვთქვათ, A და B ისეთი ორი ხდომილობაა, რომ ყოველი ცდის დროს შეიძლება მოხდეს მხოლოდ ერთ-ერთი მათგანი, ან არც ერთი, ხოლო მათი ერთად მოხდენა შეუძლებელია. ასეთ ხდომილობებს *არათავსებადი* ეწოდება. შეკრების თეორემა ამტკიცებს, რომ თუ A და B არათავსებადია, მაშინ

$$P\{A \text{ ან } B\}=P\{A\}+P\{B\}.$$

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ A და B ისეთი ხდომილობებია, როდესაც ერთის მოხდენა არ ცვლის მეორის მოხდენის ალბათობას. ასეთ ხდომილობებს *დამოუკიდებელი* ეწოდება. დამოუკიდებელი ხდომილობებისათვის იყენებენ გამრავლების თეორემას:

$$P\{A \text{ და } B\}=P\{A\}\cdot P\{B\}.$$

საილუსტრაციოდ განვიხილოთ ამოცანა, რომელიც დღეს ხშირად წამოიჭრება წარმოების ორგანიზაციის დროს. მექანიზმების შემკეთებელი ერთი მუშა ემსახურება 6 მექანიზმს, რომელთაგან თითოეული შეიძლება სხვებისაგან დამოუკიდებლად მწყობრიდან გამოვიდეს და შეკეთება დასჭირდეს. T პერიოდის განმავლობაში ყოველი მექანიზმის დაზიანების ალბათობაა p. რას უდრის ალბათობა იმისა, რომ T პერიოდის განმავლობაში მწყობრიდან გამოვა არა უმეტეს 2 მექანიზმისა?

ალბათობა იმისა, რომ მოცემული მექანიზმი მთელი მუშაობის მანძილზე არ გამოვა მწყობრიდან, უდრის $1-p$. გამრავლების თეორემის თანახმად, ალბათობა იმისა, რომ ექვსივე მექანიზმი დაუზიანებლად იმუშავებს, უდრის $(1-p)^6$.

ალბათობა იმისა, რომ ერთ-ერთი მექანიზმი გამოვა მწყობრიდან, ხოლო დანარჩენი ხუთი კარგად იმუშავებს, გამრავლების თეორემის თანახმად, უდრის $p(1-p)^5$. 6 მექანიზმიდან შეიძლება დაზიანდეს ერთი ნებისმიერი. ამიტომ, ალბათობა იმისა, რომ მწყობრიდან გამოვა მხოლოდ ერთი ნებისმიერი მექანიზმი, შეკრების თეორემის თანახმად, უდრის $6p(1-p)^5$.

გამოვთვალოთ აგრეთვე ალბათობა იმისა, თუ რომელი ორი მექანიზმი გამოვა მწყობრიდან, დანარჩენი ოთხი კი იმუშავებს კარგად. აქვე შევნიშნავთ: გამრავლების თეორემის თანახმად, ალბათობა იმისა, რომ მწყობრიდან გამოვა ორი გარკვეული მექანიზმი, ხოლო დანარჩენი ოთხი ნორმალურად იმუშავებს, უდრის $p^2(1-p)^4$. მაგრამ ექვსიდან ორი მექანიზმი შეიძლება შევარჩიოთ $C^2_6=15$ სხვადასხვა ხერხით. ყოველი მათგანისათვის ალბათობა უკვე გამოთვლილია. ამრიგად, შეკრების თეორემის თანახმად, საძიებელი ალბათობა უდრის $15p^2(1-p)^4$.

ჩვენთვის სასურველი ხდომილობა (მწყობრიდან გამოსვლა არა უმეტეს ორი მექანიზმისა) შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი არათავსებადი ხერხებით: ყველა მექანიზმი ნორმალურად იმუშავებს, მწყობრიდან გამოვა მხოლოდ ერთი მექანიზმი, მწყობრიდან გამოვა ზუსტად ორი მექანიზმი და ა. შ. ამიტომ ამ ხდომილობის ალბათობა შეკრების თეორემის თანახმად უდრის:

$$(1-p)^6+6p(1-p)^5+15p^2(1-p)^4.$$

თუ, მაგალითად, მექანიზმის მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა უდრის 0,2, მაშინ ალბათობა იმისა, რომ აღნიშნულ ვადაში:

ყველა მექანიზმი ნორმალურად იმუშავებს, უდრის 0,262144;

მხოლოდ ერთი მექანიზმი გამოვა მწყობრიდან, უდრის 0,393216;

მხოლოდ ორი მექანიზმი გამოვა მწყობრიდან, უდრის 0,245760.

ამრიგად, მუშაობის აღნიშნულ პირობებში საძიებელი ალბათობა უდრის 0,90112.

დამატებითი ისტორიული ცნობები

შემთხვევით მოვლენებთან დაკავშირებით XVIII ს. ბოლოსა და XIX ს. დასაწყისში მრავალი ახალი ამოცანა წამოიჭრა. ასტრონომიის, ფიზიკის, ქიმიის, ზუსტ ტექნიკურ გაზომვათა განვითარებამ დღის წესრიგში მთელი სიმწვავით დააყენა გაზომვათა შეცდომების თეორიის შექმნის საკითხი. დაკვირვებათა შეცდომების თანამედროვე თეორიის საფუძვლები თითქმის ერთდროულად ჩამოაყალიბა ორმა უდიდესმა მათემატიკოსმა — ა. ლეჟანდრმა და კ. გაუსმა. შემდეგ, სამხედრო საქმის განვითარებამ მოითხოვა სროლის თეორიის შექმნა (სროლის პრობლემა არ შეიძლებოდა წამოჭრილიყო მანამდე, ვიდრე ადამიანები მხოლოდ ახლო მანძილზე და ხილვად მიზანს ესროდნენ). ბუნებისმეტყველებისა და შემთხვევითი მოვლენების შემსწავლელი მეცნიერების პროგრესისათვის განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ფიზიკაში მოლეკულური კონცეფციების განვითარებას. გაზების კინეტიკური თეორიის შექმნამ განსაკუთრებული სიმწვავით დააყენა შემთხვევით სიდიდეთა თეორიის სისტემატური შესწავლის საკითხი.

ისეთმა გამოჩენილმა მათემატიკოსებმა, როგორებიცაა პ. ლაპლასი, ს. პუასონი, პ. ჩებიშევი, ა. ლიაპუნოვი, ა. მარკოვი, ალბათობათა თეორია მთელი რიგი აღმოჩენებით გაამდიდრეს.

XIX ს. მეორე ნახევრიდან დაისვა ახალი მათემატიკური დისციპლინის — მ ა თ ე მ ა ტ ი კ უ რ ი ს ტ ა ტ ი ს ტ ი კ ი ს შექმნის საკითხი. გავიხსენოთ ერთ-ერთი იმ უბრალო საკითხთაგან, რომლებიც მათემატიკურ სტატისტიკის სფეროს განეკუთვნება. ვთქვათ, ჩვენთვის ცნობილი არ არის A ხდომილობის p ალბათობა. როგორ შევაფასოთ მისი მნიშვნელობა? ამ მიზნით ატარებენ რაიმე n დამოუკიდებელ ცდას, ამასთან ყოველი ცდისას A ხდომილობა მოხდება ჩვენთვის უცნობი უცვლელი p ალბათობით. შემდეგ გამოთვლიან A ხდომილობის მოხდენის რიცხვს. ამ რიცხვის შეფარდება n-თან გვაძლევს საჭირო შეფასებას.

ჩვენს ეპოქაში მათემატიკურ სტატისტიკას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. მის წესებსა და შედეგებს ემყარება, კერძოდ, საწარმოო პროცესების, მასობრივი სამრეწველო პროდუქციის მიმდინარე და მიმღები სტატისტიკური კონტროლის, ხმაურის ფონზე სიგნალის არსებობის ან არარსებობის შეფასებისა და სხვ. ანალიზის მეთოდები.

დიდ რიცხვთა კანონი

ჩვენ აქ შევეხებით მხოლოდ ორ თეორემას, რომლებსაც ფართოდ იყენებდნენ თეორიულად და პრაქტიკულად. პირველი მათგანი დაამტკიცა ი. ბერნულიმ და გამოაქვეყნა 1713 წელს.

თანმიმდევრულად ტარდება დამოუკიდებელი ცდები, რომელთაგან თითოეულში A ხდომილობა შეიძლება მოხდეს ერთი და იგივე p ალბათობით. ვთქვათ, პირველ n ცდას შორის A ხდომილობა მოხდა m-ჯერ. მაშინ, როგორი მცირეც უნდა იყოს დადებითი ε რიცხვი,

$$P\left\{\left|\frac{m}{n}-p\right|>\varepsilon\right\}\leqslant\frac{1}{4n\varepsilon^2}.$$

ამრიგად, თუ n რიცხვს საკმაოდ დიდს ავიღებთ, მაშინ $\left|\frac{m}{n}-p\right|>\varepsilon$ უტოლობის ალბათობა იქნება ნებისმიერად მცირე. რადგან მცირე ალბათობის ხდომილობები ნაკლებად შეიძლება მოხდეს, ამიტომ ჩვენ ვხედავთ, რომ დიდი n-ისათვის, როგორც წესი, $\frac{m}{n}$ ფარდობა p-სთან ახლოს იქნება.

ი. ბერნულის თეორემა წარმოადგენს შემთხვევითი ხდომილობების უცნობ ალბათობათა მიახლოებითი შეფასების საფუძველს. მშობიარობაზე ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგად დადგინდა, რომ, საშუალოდ, ყოველი 1000 ახალშობილიდან 511 ბიჭი და 489 გოგონაა, აქედან დასკვნა: ბიჭების დაბადების ალბათობა დაახლოებით უდრის 0,511. ბიჭების დაბადების ალბათობის მიხედვით გამოჰ-

ყავთ სერიოზული პროგნოზები მოსახლეობის შემადგენლობის შესახებ.

მთელი სადაზღვევო საქმე ემყარება სხვადასხვა მოვლენების (გარკვეული პროფესიის ადამიანის სიკვდილი მისი ცხოვრების გარკვეული წლის მანძილზე, ხანძრის შედეგად სახლის დაწვა, ნათესების დაღუპვა სეტყვისაგან და სხვ.) ალბათობის განსაზღვრას სტატისტიკური გზით (ბერნულის თეორემის საფუძველზე). ამის მიხედვით ანგარიშობენ სადაზღვევო გადასახადს.

ეს გაანგარიშებები იმდენად ზუსტია, რომ სადაზღვევო ორგანიზაციები კი არ კოტრდებიან, არამედ, პირიქით, სისტემატური შემოსავალი აქვთ.

მეორე თეორემა დაამტკიცა პ. ჩებიშევმა 1867 წ. ჩებიშევის დამტკიცება უაღრესად მარტივი და მოხდენილია. თავისი მათემატიკური საშუალებებით იგი მისაწვდომი და გასაგებია მეცხრე კლასის მოსწავლეებისათვის. ჩვენ აქ განვიხილავთ ჩებიშევის თეორემის მხოლოდ კერძო შემთხვევას.

ვთქვათ, შემთხვევითმა ξ სიდიდემ შეიძლება მიიღოს $x_1, x_2, \ldots, x_n$ მნიშვნელობები, შესაბამისად $p_1, p_2, \ldots, p_n (p_1 + p_2 + \ldots + p_n = 1)$ ალბათობებით. შემთხვევითი ξ სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა (მათემატიკური ლოდინი) ეწოდება $M\xi = p_1x_1 + p_2x_2 + \ldots + p_nx_n$ ჯამს.

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ გვაქვს მიმდევრობა დამოუკიდებელი შემთხვევითი სიდიდეებისა $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_k, \ldots$ და ყოველი მათგანის საშუალო მნიშვნელობა არის a და ყველა შემთხვევითი სიდიდე შემოსაზღვრულია რაიმე c რიცხვით. ასეთი პირობით ნებისმიერი დადებითი ξ რიცხვისათვის გვექნება უტოლობა:

$$P\left\{\left|\frac{\xi_1 + \xi_2 + \ldots + \xi_k}{k} - a\right| > \varepsilon\right\} \leqslant \frac{c^2}{k\varepsilon^2}.$$

ამრიგად, თუ შესაკრებთა რიცხვი დიდია, დამოუკიდებელ შემთხვევით სიდიდეთა საშუალო არითმეტიკული თითქმის მუდმივი ხდება. ამ გარემოებას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს და ფართოდ იყენებენ პრაქტიკაში. მაგალითისათვის, ვთქვათ ξ წარმოადგენს რაიმე a სიდიდის k-ური გაზომვის შედეგს, რომელიც თავისუფალია სისტემატური შეცდომისაგან (მაგალითად, საზომი ხელსაწყოს მუდმივი შეცდომისაგან). დიდ რიცხვთა კანონი ამტკიცებს, რომ გასაზომი სიდიდის მიახლოებითი მნიშვნელობის მისაღებად გაზომვათა შედეგიდან საშუალო არითმეტიკული უნდა ავიღოთ, და რაც უფრო მეტი იქნება გაზომვები, მით უფრო ახლოს იქნება საშუალო არითმეტიკული გასაზომ სიდიდესთან.

განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი — აირის წნევა იმ ჭურჭლის კედლებზე, რომელშიაც ის არის მოთავსებული. ამ შემთხვევაში წნევა წარმოადგენს ჭურჭლის კედელზე აირის ცალკეული მოლეკულების დარტყმათა შეჯამებული ზემოქმედების შედეგს. ამ დარტყმათა რიცხვი დროის ერთეულში და მათი ძალა შემთხვევის საქმეა. ამრიგად, ჭურჭლის კედლების ყოველ ნაწილში წნევა განიცდის შემთხვევითი ხასიათის მერყეობას. მაგრამ, რადგანაც იგი ცალკეულ ნაწილაკთა კოლოსალური რაოდენობის დარტყმებისაგან შედგება, მათ მიერ წარმოებული წნევის საშუალო არითმეტიკული, დიდ რიცხვთა კანონის თანახმად, პრაქტიკულად მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს. აქედან გამომდინარეობს, რომ აირის წნევა ნორმალურ პირობებში (ნაკლებ გაუხშოებული აირისათვის) მხოლოდ უმნიშვნელოდ მცირედ მერყეობს გარკვეული მუდმივი სიდიდის მახლობლად. მაგრამ ეს მტკიცება ჩვენ ფიზიკიდან ვიცით პასკალის კანონის სახელწოდებით. ამრიგად, პასკალის კანონი მივიღეთ არა როგორც ცდის ფაქტი, არამედ როგორც ალბათობის თეორიის ზოგადი თეორემის, ჩებიშევის თეორემის შედეგი.

აქვე შევნიშნავთ, რომ ჩებიშევის თეორემა შეიცავს ბერნულის თეორემას, როგორც უმარტივეს კერძო შემთხვევას, როდესაც ყველა შემთხვევით სიდიდეს შეუძლია მიიღოს მხოლოდ ორი 0 და 1 მნიშვნელობა $1 - p$ და p ალბათობათა შესაბამისად.

ალბათობათა თეორიის ზოგიერთი თანამედროვე მიმართულება

ძირითად ცნებებად, რომლებმაც გაამდიდრეს თანამედროვე ალბათობათა თეორია, უნდა ჩაითვალოს შემთხვევითი პროცესის, შემთხვევითი ველისა და ინფორმაციის ცნებები.

როგორც ცნობილია, ფიზიკოსს, ქიმიკოსს, ბიოლოგს, უპირველეს ყოვლისა, პროცესების, ანუ დროის გარკვეულ მონაკვეთში მიმდინარე მოვ-

ლენების შესწავლა აინტერესებს. მაგალითად, ქიმიური რეაქციის ან ქიმიურ საწარმოში ტექნიკური პროცესების შესწავლისას ჩვენ ყოველთვის გვაინტერესებს, როგორ მიმდინარეობს გარკვეულ დროში რეაქცია მოცემულ პირობებში, ნივთიერების რომელიმე ნაწილი როდის მონაწილეობს რეაქციაში, პრაქტიკულად როდის დამთავრდა რეაქცია და სხვ.

ვთქვათ, გვინდა თვალყური ვადევნოთ გაზის ან სითხის რომელიმე მოლეკულის მოძრაობას. დროის შემთხვევით მომენტებში ეს მოლეკულა ეჯახება სხვა მოლეკულებს და იცვლის სიჩქარესა და მოძრაობის მიმართულებას. მთელი რიგი ფიზიკური ამოცანების გადასაწყვეტად უნდა გამოვთვალოთ ალბათობა იმისა, თუ გარკვეული დროის განმავლობაში რამდენი მოლეკულა მოასწრებს გარკვეულ მანძილზე გადაადგილებას. მაგალითად, როდესაც ორი სითხე შეეხება ერთმანეთს, იწყება მოლეკულების ურთიერთშეჭრა — ერთი სითხის მოლეკულა იჭრება მეორეში, ხდება დიფუზია. რამდენად სწრაფად, რომელი კანონების შესაბამისად მიმდინარეობს ეს დიფუზია? გაზების მიღებული ნარევი პრაქტიკულად როდის ხდება ერთგვაროვანი? ყველა ამ კითხვაზე პასუხს იძლევა დიფუზიის სტატისტიკური თეორია, რომლის საფუძველს ალბათობითი გაანგარიშებები წარმოადგენს.

ძალიან საინტერესო მოვლენები ხდება რადიოაქტიური დაშლის დროს. როგორც ცნობილია, ამ მოვლენის არსი ისაა, რომ დროის შემთხვევით მომენტებში რადიოაქტიური ნივთიერების ესა თუ ის ატომები იშლებიან და გადაიქცევიან სხვა ნივთიერების ატომებად. ყოველი დაშლა ჰგავს აფეთქებას, რომლის დროსაც გარკვეული ენერგია გამოიყოფა. ხანგრძლივი დაკვირვებებით დადასტურდა, რომ თუ დასაშლელ ნივთიერებათა მასალა ძალიან დიდი არ არის (ე. ი. ნაკლებია გარკვეულ სიდიდეზე, რომელსაც კრიტიკული ეწოდება), მაშინ ატომების დაშლა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ხდება. რადიოაქტიური დაშლის პროცესის შესასწავლად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იმის ალბათობის დადგენას, რომ დროის გარკვეულ მონაკვეთში იშლება ატომების ესა თუ ის რაოდენობა. ზუსტად ასეთივე პრობლემა წამოიჭრება სატელეფონო საქმეშიც, ხიდების დაპროექტების დროს, იმედიანობის თეორიაში, ეკონომიკაში, სამხედრო საქმესა და ტექნიკაში. საკითხი, რომელიც მუდამ წამოიჭრება, იმის მიუხედავად, როგორ განხორციელდება კონკრეტულად, ისმის ასე: როგორია ალბათობა იმისა, რომ დროის გარკვეულ მონაკვეთში მოხდება ამდენი და ამდენი რაოდენობის გარკვეული ხდომილობა (ამდენი და ამდენი აბონენტის გამოძახება სატელეფონო სადგურში, ამდენი და ამდენი მანქანის მოთხოვნა ხიდზე გადასასვლელად და სხვ.)? ძალიან ფართო პირობებში საძიებელი ალბათობა შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}.$$

აქ $P_k(t)$ აღნიშნავს იმის ალბათობას, რომ t დროის მონაკვეთში მოხდება ზუსტად k ხდომილობა; λ არის მუდმივი, ე. წ. ხდომილობის ინტენსივობა, $e = 2{,}71828\ldots$, $k! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots \cdot k$.

სტატიის დასაწყისში მოყვანილია ოდესის ნავსადგურში გემების შემოსვლის პატარა ცხრილი. ცხრილის ქვედა სტრიქონი სწორედ ამ ფორმულის მიხედვით იყო გამოთვლილი. აღნიშნულ ფორმულას ფართოდ იყენებენ აგრეთვე ფიზიკაში იმის გამოსათვლელად, თუ რა რაოდენობის კოსმოსური ნაწილაკი ეცემა დედამიწის ზედაპირის გარკვეულ უბანზე t დროში. მისივე დახმარებით გამოთვლიან ელექტრონულ გამოთვლით მანქანაში იმ ნათურათა რაოდენობას, რომლებიც შეიძლება გადაიწვას t დროის განმავლობაში.

ეს ფორმულა ბრწყინვალედ დასტურდება სატელეფონო სადგურში აბონენტთა გამოძახების ფაქტიურ რაოდენობაზე სისტემატური დაკვირვების შედეგად.

ბუნებისმეტყველების ამოცანათა განხილვამ არა თვისებრივი თვალსაზრისით, არამედ რაოდენობის პოზიციებიდან, მოითხოვა შემთხვევითი პროცესის ცნების ჩამოყალიბება. ამ მიმართულებით პირველი იდეები ბიოლოგებმა და ფიზიკოსებმა ჯერ კიდევ გასული საუკუნის ბოლოს წამოაყენეს. უფრო ჩამოყალიბებული სახე ამ იდეებს მისცეს ა. ფოკერმა და მ. პლანკმა. მაგრამ ზუსტი განსაზღვრა და თეორიის საწყისები პირველად მოგვცა ა. კოლმოგოროვმა და ა. ხინჩინმა. პირველმა მათგანმა შექმნა ეგრეთ წოდებული მარკოვის პროცესების საფუძვლები, ხოლო მეორემ — სტაციონარული პროცესებისა.

ამ თეორიის ბაზაზე გამოჰყავთ მნიშვნელოვანი დასკვნები ფიზიკაში, ქიმიაში, აეროდინამიკაში, რადიოტექნიკაში, ბიოლოგიაში, გეოფიზიკასა და ეკონომიკაში.

ალბათობათა თეორია—შემთხვევითი მოვლენების შემსწავლელი მეცნიერება — ამჟამად უდიდესი აღმავლობის გზაზე დგას. ახლა ამ მეცნიერებას იყენებენ ფიზიკოსებიც, ასტრონომებიც, ეკონომისტებიც და ლინგვისტებიც. ალბათობათა თეორიის გარეშე შეუძლებელია რადიოგადაცემების დროს წარმოქმნილ დაბრკოლებათა პროცესების საფუძვლიანად შესწავლა, შეუძლებელია წარმოების ორგანიზაციის სწორი გაანგარიშება, დიდი რაოდენობის პროდუქციის მისაღები რაციონალური ხერხების მიგნება, თავდაცვის თადარიგისა და საშუალებათა სწორი გაანგარიშება.

ალბათობათა თეორიის შემდგომი განვითარებისათვის საჭიროა ამ დარგში მომუშავე მათემატიკოსთა რიგები განუწყვეტლად ივსებოდეს ნიჭიერი ახალგაზრდობით. „საბავშვო ენციკლოპედიის“ მკითხველთაგან მოველით ახალ ლაპლასებსა და ჩებიშევებს.

იმედიანობის თეორიის მათემატიკური მეთოდების შესახებ

რისთვისაა საჭირო იმედიანობის თეორია

ცნობილია, რომ ყოველი მეცნიერების სათავე პრაქტიკის მოთხოვნილებები, ის ამოცანებია, რომლებსაც კაცობრიობის წინაშე ცხოვრება აყენებს. საზოგადოების განვითარება, მეცნიერული აღმოჩენები, ტექნიკისა და ეკონომიკის პროგრესი განუწყვეტლივ წამოჭრის ახალ-ახალ ამოცანებს, რომელთა ამოსახსნელად ახალი მეთოდები და ხერხებია საჭირო. აქედან გამომდინარე, ყოველი ახალი თაობა მუდამ წინ უნდა ისწრაფოდეს და არავითარ შემთხვევაში არ უნდა შემოიფარგლოს იმ ცოდნით, რომელსაც წარსულისაგან ღებულობს მემკვიდრეობით.

თანამედროვე ტექნიკის, ეკონომიკის, აგრეთვე მეცნიერების სხვა მრავალი დარგის განვითარების ერთ-ერთი ყველაზე დამახასიათებელი გზა არის არა მარტო ცალკეული ოპერაციებისა და მთლიანად საწარმოო პროცესების ავტომატიზაცია, არამედ თვით მართვის პროცესების ავტომატიზაციაც. აპარატურა, რომელსაც ამ მიზნისთვის იყენებენ, ყოველწლიურად უფრო რთულდება. ეს პირველ რიგში იმითაა გამოწვეული, რომ ასეთ მოწყობილობებს სულ უფრო და უფრო რთული ამოცანები ეკისრება. ამ სირთულის გარეშე კი ის გასაოცარი მიღწევები არ გვექნებოდა, რომლებიც ასე გახშირდა ბოლო ხანებში. მაგალითად, დისტანციური მართვის რთული სისტემების გარეშე ვერც ატომური ელექტროსადგურების ექსპლუატაციის საქმეს მოვაგვარებდით და ვერც ისეთ არაჩვეულებრივ ოპერაციას განვახორციელებდით, როგორიცაა მთვარის უკანა მხარის ფოტოგადაღება. ახლა წარმოვიდგინოთ რამდენად რთულ გამოთვლებს ასრულებენ სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები. მაგრამ აქ აშკარა წინააღმდეგობა იჩენს თავს: რაც უფრო რთულია ასეთი მმართველი მოწყობილობები, მით უფრო დიდია მოთხოვნილება, წაყენებული მათი იმედიანობისადმი, ე. ი. მათი უნარისადმი — შეუფერხებლად შეასრულონ თავიანთი ფუნქციები.

მართლაც, ადვილი წარმოსადგენია, რა მოხდება, რომ ატომურ ელექტროსადგურსა ან რკინიგზის ავტობლოკირებაში უეცრად მართვის სისტემა შეფერხდეს, ან მუშაობის რეჟიმი შეიცვალოს: დაიღუპება არა მარტო მატერიალური ფასეულობა, არამედ ადამიანებიც. დიდი ენერგოსისტემის ავტომატური მართვის მოშლის შედეგად პარალიზებული დარჩება ამა თუ იმ რაიონის მრეწველობა, ელექტროენერგიას ვეღარ მიიღებს წყალსაწნევი სადგურები და ტრანსპორტი, სინათლე გამოითიშება საავადმყოფოებსა და სკოლებში. მაგრამ თუ არასაიმედო სისტემა დიდ ქიმიურ წარმოებას მართავს? მაშინ ხომ ქიმიური რეაქციებიც ყოველგვარი მართვის გარეშე დარჩება! ამის შედეგად მივიღებთ ცუდი ხარისხის პროდუქციას, შემცირდება

მზა პროდუქციის გამოშვება და შეიძლება აფეთქების საშიშროების წინაშეც დავდგეთ. არის შემთხვევები, როცა საინჟინრო ჩანაფიქრით სრულყოფილ ავტომატურ ხაზებზე ცუდი მმართველი მოწყობილობის გამო ირღვევა ტექნოლოგიური რეჟიმი. ამის შედეგად მზადდება უსტანდარტო პროდუქცია, რომელიც დამატებით, ხელით დამუშავებას მოითხოვს.

მაგრამ აპარატურის იმედიანობა მარტო საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციისა და კოსმოსური ხომალდების გასაშვებად როდია საჭირო. დიდი იმედიანობა თითქმის ყველგანაა აუცილებელი. თვითმფრინავებმა მარცხის გარეშე უნდა იფრინონ და დაემორჩილონ მფრინავის ნებას; მანქანებმა შეუფერხებლად უნდა გადაზიდონ ტვირთი და გადაიყვანონ მგზავრები; დაზგებმა დადგენილი სიზუსტით უნდა დაამუშაონ დეტალები; ხელოვნურმა გულმა ან ხელოვნურმა თირკმლებმა უნაკლოდ უნდა შეასრულონ თავიანთი ფუნქციები ურთულესი ოპერაციების დროს.

სამწუხაროდ, ჯერ ყველა ნაკეთობას არ გააჩნია საჭირო იმედიანობა. ხანდახან ავტომანქანების საბურავები მალე ფუჭდება და მანქანებიც უმოძრაოდ დგანან, რადგან სამაგიერო საბურავები არ არის. სხვადასხვა ნაწილების მწყობრიდან გამოსვლის გამო ჩვენს ქვეყანაში სატვირთო მანქანების 40% დგას. ამას უზარმაზარი მატერიალური ზარალი მოაქვს სახალხო მეურნეობისათვის. ავტომანქანების შესაკეთებლად ხომ სათადარიგო ნაწილები და ავტოსარემონტო ქარხნების აგება, მუშახელი, მასალები და სახსრებია საჭირო.

განსაკუთრებით დიდ მოთხოვნილებებს წაუყენებენ იმ აპარატურის იმედიანობას, რომლის შეკეთება ან ძალიან რთულია, ან საერთოდ შეუძლებელია.

ასეთი აპარატურა კი ახლა დიდი რაოდენობითაა ადამიანის განკარგულებაში და მომავალში, როგორც ვთქვით, უფრო მეტი იქნება.

იმისათვის, რომ თანამედროვე აპარატურის მთელი სირთულე წარმოვიდგინოთ, ეს საკითხი განვიხილოთ მხოლოდ წმინდა არითმეტიკული თვალსაზრისით, ტექნიკური დეტალების გარეშე. თანამედროვე ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა, რომელიც უდიდეს გამოთვლით სამუშაოებს ასრულებს, წყვეტს ლოგიკურ ამოცანებს (ერთი ენიდან მეორეზე თარგმნა), მართავს სხვადასხვა წარმოების ავტომატიზაციის პროცესებს, — მეტად რთული მოწყობილობაა. მასში ათასობითაა დიოდი, ტრიოდი, კონდენსატორი, მეხსიერების ელემენტი (ფერიტული რგოლი) და სხვ. მისი თითოეული შემადგენელი ელემენტი აბსოლუტურად საიმედო არაა და დროის გარკვეულ მონაკვეთში მწყობრიდან გამოსვლის დადებითი ალბათობა აქვს.

იმისათვის, რომ ასეთმა რთულმა მოწყობილობამ იმუშაოს, აუცილებელია მის ყოველ ელემენტს შევუნარჩუნოთ მუშაობის უნარიანობა. აბა წარმოიდგინეთ, რა მოხდება, რომ თუნდაც ერთი, რომელიმე ელემენტი გამოვიდეს მწყობრიდან რადიოთი მართულ თვითმფრინავზე, მაგალითად, გაწყდეს მიმყვანი სადენი.

აი, რატომ არის ასე მნიშვნელოვანი წინასწარ, პროდუქციის მასიურად გამოშვებამდე ვისწავლოთ მისი იმედიანობის გამოანგარიშება, აგრეთვე რომელიმე ხელსაწყოს სხვადასხვა ვარიანტებიდან ისეთის ამორჩევა, რომელსაც უდიდეს იმედიანობასთან ერთად სხვა აუცილებელი თვისებებიც ექნება. ამ გაანგარიშებებს მათემატიკის გარეშე თავს ვერ გავართმევთ. ამიტომაც არის, რომ იმედიანობის თეორიაში მათემატიკა ასეთ დიდ როლს თამაშობს.

ახლა განვიხილოთ იმედიანობის თეორიის ამოცანები და ზოგადად ის მათემატიკური საშუალებები, რომლებიც აღნიშნულ ამოცანათა ამოხსნისას უნდა გამოვიყენოთ.

მათემატიკა ეხმარება კონსტრუქტორს

პირველი ამოცანა, რომელსაც იმედიანობის თეორიაში ვხვდებით, შემდეგია: აპარატურა მუშა მდგომარეობიდან, როგორც წესი, მისი შემადგენელი რომელიმე ელემენტის გაფუჭების შედეგად გამოდის. რამდენი დრო გადის ელემენტის ჩართვიდან მის გაფუჭებამდე? მრავალგზისმა დაკვირვებამ და საგანგებო გამოცდამ ცხადყო, რომ ერთდროულად დამზადებული ნაკეთობებიც კი სულ სხვადასხვა დროს ფუჭდება. მუშის ერთი ცვლის ნამუშევრიდან ალალბედზე აღებულმა ნახევრად გამტარმა დიოდმა ან კონდენსატორმა შეიძლება რამდენიმე ათეული ათასი საათის განმავლობაშიც იმუშაოს და საათის რამდენიმე ათეული ათასი ნა-

წილის განმავლობაშიც. ჩვენ შეგვიძლია ვილაპარაკოთ არა იმ საათების რაოდენობის ზუსტად წინასწარმეტყველებაზე, რომელთა განმავლობაშიც ელემენტი იმუშავებს, არამედ მხოლოდ იმის $F(t)$ ალბათობაზე, რომ იგი დროის t ერთეულზე ნაკლებს არ იმუშავებს. მართალია, ელემენტთა სხვადასხვა კატეგორიებისათვის $F(t)$ ფუნქცია სხვადასხვანაირი სახისაა, მაგრამ მათ მაინც აქვთ საერთო. უპირველეს ყოვლისა, დიდია მუშაობის დასაწყისში მუშა მდგომარეობიდან გამოსვლის ალბათობა. ამ პერიოდს მოსდევს სტაბილურობის ცოტად თუ ბევრად ხანგრძლივი პერიოდი, როცა დროის ერთეულში მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა უცვლელი რჩება. ბოლოს კი დგება მოძველების პერიოდი, როცა გაფუჭების ალბათობა სწრაფად იზრდება.

აღსანიშნავია, რომ თუ ცალკეულ ელემენტთა მწყობრიდან გამოსვლის განაწილების კანონზომიერებები რთულია, მაშინ უამრავი ელემენტის შემცველი სისტემისათვის შეიძლება ზოგად და მარტივ კანონზომიერებათა დადგენა. ვთქვათ, თითოეული გაფუჭებული ელემენტი მაშინვე ახლით იცვლება, აგრეთვე ჩვენთვის სასურველი აპარატი შედგება უამრავი ელემენტისაგან, რომელთაგან თითოეული უფრო იშვიათად გამოდის მწყობრიდან, ვიდრე დანარჩენ ელემენტთა მწყობრიდან გამოსვლის ჯამია, ამასთან ერთი ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლა მეორე ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლაზე არაა დამოკიდებული. აქედან მტკიცდება შემდეგი მნიშვნელოვანი თეორემა: იმის ალბათობა, რომ დროის t შუალედში მოხდება n მწყობრიდან გამოსვლა, დაახლოებით უდრის:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (n = 0, 1, 2, \ldots),$$

$e \approx 2{,}7182, \ldots$, λ კი აღნიშნავს t-სგან დამოუკიდებელ დადებით რიცხვს. λ რიცხვის ფიზიკური აზრი მეტად მარტივია. ეს არის სისტემის მწყობრიდან გამოსვლის საშუალო რიცხვი დროის ერთეულში.

იმისათვის, რომ წინასწარ გვქონდეს ნაკეთობის იმედიანობის გაანგარიშების საშუალება, უნდა ვიცოდეთ იმ ელემენტების იმედიანობა, რომელთაგანაც ეს ნაკეთობაა დამზადებული. ამ მიზნით ქარხნებში ეწყობა გამოცდა, რომლის შედეგების მიხედვითაც გამოაქვთ დასკვნები ამა თუ იმ ელემენტზე. გამოცდის შედეგად შესაფასებელ სიდიდეთა და გამოცდის ჩასატარებელი პირობების შერჩევა, აგრეთვე სიზუსტე, რომელიც გამოცდის შედეგად უნდა მივიღოთ, არ შეიძლება ნებისმიერი იყოს. რა პირობებში უნდა იმუშაოს ნაკეთობამ? რამდენ ხანს უნდა იქნეს ამა თუ იმ პირობებში? ყველაფერი ეს კონსტრუქტორმა ან მექანიკოსმა უნდა განსაზღვროს. მათემატიკოსის ამოცანაა შეიმუშაოს გამოცდის გეგმა: რამდენი ნაკეთობა უნდა გამოიცადოს და რა დროის განმავლობაში, საჭირო იქნება თუ არა გამოცდისას მწყობრიდან გამოსული ნაკეთობის ახლით შეცვლა. შემდეგ მათემატიკოსმა გამოცდის საფუძველზე უნდა გამოავლინოს კავშირი იმ სიდიდეთა შორის, რომლებიც პრაქტიკოსს აინტერესებს. მათემატიკოსმა იმ მეთოდზე უნდა მიუთითოს, რომლითაც დაკვირვებების შედეგების დამუშავებისას უნდა ისარგებლონ, და დამუშავებიდან დასკვნაც გამოიტანოს.

მაგალითისათვის, ვთქვათ, ცნობილია, რომ $F(t)$ ფუნქცია მოცემულია ფორმულით: $F(t) = e^{-\lambda t}$, სადაც λ არაუარყოფითი მუდმივია. საჭიროა გამოცდის საფუძველზე უცნობი λ სიდიდის შეფასება. ეს ამოცანა სინამდვილეშიც ხშირად გვხვდება, რადგან ამ ფუნქციამდე მივყავართ იმ საერთო შედეგს, რომელიც რთული აპარატურების მწყობრიდან გამოსვლის თეორემაში იყო ჩამოყალიბებული.

გამოცდის ამჟამად წამოყენებული მრავალრიცხოვანი გეგმიდან ჩვენ მხოლოდ ერთზე შევჩერდებით: ცდიან N ერთნაირ ნაკეთობას, მწყობრიდან გამოსული ნაკეთობა მაშინვე იცვლება ახლით, გამოცდა მიმდინარეობს r მწყობრიდან გამოსვლის მიღებამდე (მაგალითად, $r = 5$ ან 8). რა სიდიდეების გაზომვაა აუცილებელი λ უცნობის საუკეთესო შეფასებისათვის? მათემატიკური სტატისტიკა გვასწავლის, რომ ამ მიზნისათვის საკმარისია მხოლოდ მწყობრიდან გამოსვლის r-ული მომენტის გაზომვა. თუ იგი t_r მომენტში მოხდა, მაშინ λ-სათვის საუკეთესო შეფასება იქნება რიცხვი

$$\lambda = \frac{r-1}{Nt_r}.$$

თუკი დამატებით აღვნიშნავთ რიგის მიხედვით პირველ, მეორე და შემდგომ მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებს ($t_1 < t_2 < \ldots < t_r$), მაშინ ეს დამა-

ტებითი ცნობები არ გააუმჯობესებს λ სიდიდის შეფასებას.

ცხადია, გამოცდა იმისთვისაცაა საჭირო, რომ თვალყური ვადევნოთ წარმოებას და შევინარჩუნოთ ნაკეთობათა ხარისხის განმსაზღვრელი პარამეტრები (სიდიდეები).

რეზერვირება და იმედიანობა

ბუნებაში არ არსებობს აბსოლუტურად საიმედო ელემენტები და ნაკეთობანი. ყოველი ელემენტი, როგორი სრულყოფილიც არ უნდა იყოს იგი, დროთა განმავლობაში კარგავს თავის თვისებებს. უდიდესი იმედიანობის ელემენტთა მიღება ან, საერთოდ, მიუღწეველია ტექნიკის არსებული დონისათვის, ან ისეთ დიდ ხარჯებს მოითხოვს, რაც უკვე გაუმართლებელია. ამიტომ ნაკეთობათა იმედიანობის გასაზრდელად საჭიროა სხვა გზა. იმედიანობის გაზრდის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული გზაა რ ე ზ ე რ ვ ი რ ე ბ ი ს გ ზ ა. რეზერვირების არსი ისაა, რომ სისტემაში არის ჭარბი ელემენტები, კვანძები და აგრეგატებიც კი, რომლებიც ძირითადი ელემენტების (კვანძების, აგრეგატების) მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში ერთვება მუშაობაში.

მაგალითად, რკინიგზის სადგურში დგანან სარეზერვო ორთქლმავლები, რომლებიც მზად არიან საჭიროების მიხედვით შეცვალოს დაზიანებული სარეისო ორთქლმავალი. დიდ აეროდრომებზე არის სარეზერვო თვითმფრინავები, მძლავრ ელექტროსადგურებში — სარეზერვო გენერატორები, რომლებიც ქსელს დენს არ აძლევენ, მაგრამ ყოველ წუთს შეუძლიათ მწყობრიდან გამოსული აგრეგატის შეცვლა.

ერთ-ერთი ელემენტარული ამოცანა, რომელიც დაუყოვნებლივ შეგვიძლია გადავწყვიტოთ, ასეთია: სისტემაში არის გარკვეული ტიპის ელემენტები. მაგრამ მუდმივად უნდა მუშაობდეს n ელემენტი. როგორ შეიცვლება ხელსაწყოს იმედიანობა, თუ n ძირითადი ელემენტის გარდა დატვირთულ რეზერვში (ე. ი. ისეთივე მდგომარეობაში, როგორშიც მუშა ელემენტებია) კიდევ m ელემენტია? თუ p-თი აღვნიშნავთ იმის ალბათობას, რომ მოცემული ელემენტი ჩვენთვის აუცილებელ დროში არ გამოვა მუშა მდგომარეობიდან, მაშინ იმის ალბათობა, რომ ამ დროის განმავლობაში არც ერთი ელემენტი არ გამოვა მწყობრიდან, ალბათობათა გამრავლების თეორემის მიხედვით იქნება p^n. ეს არის სისტემის ელემენტთა შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა, თუ არა გვაქვს სარეზერვო ელემენტები. ახლა, ვთქვათ, რომ სისტემაში m სარეზერვო ელემენტია. ალბათობათა შეკრების საფუძველზე იმის ალბათობა, რომ t დროის განმავლობაში სისტემაში არანაკლებ m ვარგისი ელემენტი იქნება, უდრის [1]:

$$\sum_{i=0}^{m} C_{m+n}^{n+i} p^{n+i} (1-p)^{m-i}.$$

განვიხილოთ მარტივი სქემატური რიცხვითი მაგალითი. ვთქვათ, $n=4$, $m=1$, $p=0{,}9$. ძნელი არ არის იმის გამოთვლა, რომ ურეზერვო სისტემის მწყობრიდან გამოუსვლელად მუშაობის ალბათობა უდრის 0,6561, ხოლო ერთი სარეზერვო ელემენტის არსებობისას — 0,9185. ჩვენს სისტემას რომ ერთი კი არა, ორი სარეზერვო ელემენტი ჰქონოდა, მისი მწყობრიდან გამოუსვლელად მუშაობის ალბათობა 0,9841-მდე გაიზრდებოდა. ჩვენ ვხედავთ, რომ მცირე რაოდენობის სარეზერვო ელემენტებიც კი მკვეთრად ზრდის სისტემის იმედიანობას. ამიტომ არის, რომ ელექტროსადგურში მხოლოდ ერთი სარეზერვო გენერატორი თითქმის გამორიცხავს ელექტროენერგიის გამომუშავების მკვეთრ შემცირებას.

რეზერვირების საკითხი კიდევ უფრო საინტერესო ხდება როგორც მათემატიკურად, ასევე ტექნიკურად, როცა მხედველობაშია მიღებული დამატებითი გარემოება — მწყობრიდან გამოსული ელემენტების აღდგენა. მართლაც, როგორც კი ელემენტი მუშა მდგომარეობიდან გამოდის, მაშინვე იწყებენ მის შეკეთებას (აღდგენას). მაგალითად, მწყობრიდან გამოსულ გენერატორში ან ნაპერწკლით დაზიანებულ სახვევს ცვლიან, ან სხვა ნაწილებს.

---

[1] ეს გამოსახულება წარმოადგენს $m+1$ შესაკრების ჯამის მოკლე ჩანაწერს. მათგან თითოეული არის Σ ნიშნის ქვეშ მოთავსებული გამოსახულება, სადაც i-ს ნაცვლად თანმიმდევრობით უნდა ჩავსვათ ნატურალური რიცხვები 0-დან m-ის ჩათვლით.

რეზერვირებასთან დაკავშირებულ უამრავ საკითხთაგან ახლა მხოლოდ ერთზე შევჩერდებით: რამდენი ელემენტი უნდა გვქონდეს რეზერვში, რომ სისტემის მოცემულ იმედიანობას მივაღწიოთ? ეს საკითხი მუდამ წამოიჭრება ხოლმე ტექნიკის სულ სხვადასხვა დარგში. მართლაც, მმართველი სისტემის ექსპლუატაცია რომ შეუფერხებლად მიმდინარეობდეს, უნდა ვიცოდეთ, მისი რომელი კვანძების რეზერვირებაა საჭირო და რამდენჯერ უნდა მოხდეს ეს რეზერვირება. მსგავსი ამოცანები გვხვდება ელექტროსადგურებში გენერატორის რეზერვის გაანგარიშებისას და კოსმოსური ხომალდების აღჭურვისას.

რეზერვირება ეკონომიური უნდა იყოს

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, რეზერვირება მოითხოვს სისტემაში ჭარბი ელემენტების არსებობას, ადიდებს მის მოცულობასა და ღირებულებას, ამძიმებს სისტემას. ყოველივე ამას არსებითი მნიშვნელობა აქვს თვითმფრინავებისა და კოსმოსური ხომალდებისათვის, იმ ხელსაწყოებისათვის, რომლებიც განკუთვნილია ორგანიზმში შესაღწევად (სხვადასხვა სტიმულატორები, მაგალითად, გულის მოქმედების სტიმულატორი), აპარატებისათვის, რომლებსაც ოპერაციის შემდგომ პერიოდში იყენებენ, სასმენი აპარატებისათვის და სხვ. მსგავსი ტიპის ხელსაწყოებში ზედმიწევნით უნდა გამოვიყენოთ წონის ყოველი გრამი და მოცულობის ყოველი სანტიმეტრი. ამასთან დაკავშირებით იბადება მეორე საინტერესო ამოცანა: ვიპოვოთ ისეთი რეზერვირება, რომლის დროსაც სისტემა მაქსიმალურად საიმედო იქნება დამატებით პირობებში — აპარატურის წონამ, მისმა მოცულობამ და ღირებულებამ მოცემულ სიდიდეებს არ უნდა გადააჭარბოს. მაგალითად, თუ i ტიპის ბლოკის ღირებულება C_i -ს უდრის, ბლოკების საერთო რიცხვი m-ს და n_i არის i ტიპის ბლოკების რეზერვის რიცხვი, მაშინ რეზერვის ღირებულება უდრის $\sum_{i=1}^{m} n_i C_i$. თუ C_0 იმ მაქსიმალურ თანხას აღნიშნავს, რომელიც შეიძლება რეზერვირებაზე გავცეთ, მაშინ შესაძლებელ რიცხვს შემდეგი პირობა დაერთვის:

$$\sum_{i=1}^{m} n_i C_i \leqslant C_0.$$

ამოცანის მათემატიკური თავისებურება ისაა, რომ ამონახსნებს ვეძებთ მთელ დადებით n_i რიცხვებს შორის.

ახალი ნაკეთობების კონსტრუირებისა და ძველების შესაძლო გაუმჯობესების გაანგარიშებისას მეტად მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ, რა გავლენას ახდენს სისტემის საერთო იმედიანობაზე ესა თუ ის ელემენტი, ესა თუ ის ბლოკი. ამის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს გულდაჯერებულად მივცეთ მკვლევარს ახალი, უფრო საიმედო ელემენტების ძებნის გეზი. მაგრამ რომელი ელემენტების გაუმჯობესებაა აუცილებელი პირველ რიგში? როგორც ჩანს, იმ ელემენტებისა, რომლებიც მაქსიმალურად უშლიან ხელს სისტემის იმედიანობას. იქნებ პარადოქსალურად მოგვეჩვენოს, მაგრამ შეიძლება ისეც მოხდეს, რომ ასე თუ ისე არასაიმედო ელემენტმა შედარებით ნაკლები გავლენა მოახდინოს მთლიანად სისტემის იმედიანობაზე და პირველ რიგში საჭირო გახდეს უკვე საკმაოდ საიმედო ელემენტის გაუმჯობესება. რატომ ხდება ასე? ძალიან უბრალო მიზეზის გამო: შეიძლება საიმედო ელემენტი სისტემაში ძალიან ბევრი იყოს, ნაკლებ საიმედო კი ერთეულები. ამ მტკიცების განსამარტავად მოვიყვანოთ რიცხვითი მაგალითი: ვთქვათ, ჩვენთვის სასურველ სისტემაში ექვსი პირველი და ერთი მეორე ტიპის ელემენტია. პირველი ტიპის ელემენტის იმედიანობა უდრის 0,9-ს, მეორისა კი 0,8-ს. მთელი სისტემის იმედიანობა ალბათობათა გამრავლების საფუძველზე უდრის $0{,}9^6 \cdot 0{,}8$. ადვილი გამოსათვლელია, რომ მეორე ტიპის ელემენტის იმედიანობის გაზრდა 10%-ით სისტემის იმედიანობასაც მხოლოდ 10%-ით გაზრდის. ხოლო პირველი ტიპის ელემენტის იმედიანობის 6%-ით გაზრდაც კი თითქმის 40%-ით გაზრდის სისტემის იმედიანობას. ეს პატარა გამოთვლა მეტად ყურადსაღებია. იგი ცხადყოფს, რა დიდი მნიშვნელობა აქვს ინჟინრის, ფიზიკოსისა და კონსტრუქტორისათვის მათემატიკური აპარატით სარგებლობას. ასეთ გამოთვლას შეუძლია სწორად წარმართოს მკვლევარის აზრი და აჩვენოს მას, სად იმალება კონსტრუქციის უწესივრობა.

ჩვენ მხოლოდ რამდენიმე საკითხს შევეხეთ ახა-

ლი მეცნიერებიდან, რომელსაც იმედიანობის თეორია ეწოდება. ალბათ ბევრ ჩვენს მკითხველს მომავალში უშუალოდ ექნება საქმე იმედიანობის თეორიასთან და განავითარებს კიდეც მას სხვადასხვა მიმართულებით — გამოიგონებს ახალ, უფრო საიმედო ელემენტებს, შექმნის ახალ საიმედო სქემებს, შეიმუშავებს მეთოდებსა და დაამტკიცებს ამ თეორიის ახალ ზოგად თეორემებს.

თამაშთა თეორია

რას სწავლობს თამაშთა თეორია

რა არის თამაშთა თეორია?

ეს არის კონფლიქტთა მათემატიკური თეორია.

კონფლიქტი რაღაა?

ეს ისეთი სიტუაციაა (მდგომარეობა, გარემოებათა დამთხვევა), სადაც ერთმანეთს ეჯახება მოწინააღმდეგეთა ინტერესები, მიმდინარეობს ბრძოლა.

კონფლიქტის ყველაზე მარტივი მაგალითია თამაში (შაში, ჭადრაკი, სხვადასხვა სპორტული თამაში). თამაშები იმით განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რომ თითოეულს თავისი წესი აქვს. თამაშის წესი პირობათა სისტემაა, რომელიც მიუთითებს, რა შესაძლებლობები აქვთ მოთამაშეებს (შესაძლო სვლების ჩამოთვლა) და რა შედეგს (მოგება, წაგება) იძლევა მოცემული სვლების ერთობლიობა.

პრაქტიკულად ყველა კონფლიქტი წესების მიხედვით როდი მიმდინარეობს. იმისათვის, რომ შევძლოთ კონფლიქტის მათემატიკურად გაანალიზება, იგი თამაშის სახით უნდა წარმოვადგინოთ, ე. ი. უნდა აღვნიშნოთ მოთამაშეთათვის შესაძლო სტრატეგიები (მოქმედების სახეები) და დავაზუსტოთ, რა შედეგს მოგვცემს თამაში, თუ თითოეული მოთამაშე გარკვეულ სტრატეგიას აირჩევს.

ამრიგად, თამაში არის მკაცრად ჩამოყალიბებული პირობების შემცველი კონფლიქტი.

ხშირად ისეც ხდება, რომ კონფლიქტის შედეგის წინასწარ ზუსტად განსაზღვრა მოთამაშეთა გარკვეული სტრატეგიების პირობებშიც შეუძლებელია, რადგან იგი შემთხვევაზეა დამოკიდებული. ასეთი შემთხვევითი გარემოება შეიძლება იყოს, მაგალითად, ბანქოს აჭრა და დარიგება, სროლის დროს ნიშანში მოხვედრა ან დაცილება და სხვ. ასეთ დროს თამაშის შედეგის ნაცვლად ლაპარაკობენ საშუალო შედეგზე, ე. ი. რამდენიმე (საკმაოდ ბევრი) ხელიდან ერთი ხელის შედეგზე. მართლაც, ერთი ხელის თამაშის დროს მოთამაშეს, რომელიც აშკარად მცდარ სტრატეგიას იყენებს, შეიძლება ბედმა გაუღიმოს. მაგრამ თუ თამაში ბევრჯერ განმეორდა, მაშინ საშუალოდ მოგებული დარჩება ის, ვინც გონივრულად მოიქცევა.

როცა თამაშის შედეგზე ან საშუალო შედეგზე ვლაპარაკობთ, ვგულისხმობთ, რომ იგი გარკვეული რიცხვით გამოისახება. მაგრამ ყოველთვის ასე ხდება? არა. მაგალითად, ჭადრაკის თამაშის შედეგს ჩვენ, ჩვეულებრივ, რიცხვით არ გამოვსახავთ, უბრალოდ ვამბობთ, მოგება, წაგება ან ყაიმი. მაგრამ ხომ შეიძლება შევთანხმდეთ და ამ შედეგებს რიცხვითი სახე მივცეთ? მაგალითად, მოგებას აღნიშნავდეს +1, წაგებას —1, ხოლო ყაიმს 0.

თუ შემდგომში ნებისმიერი კონფლიქტის დროს თითოეული მოთამაშის მოგებას (წაგებას) რიცხვით აღვნიშნავთ, მაშინ თამაშთა თეორიის ძირითადი ამოცანა შეიძლება ასე ჩამოვაყალიბოთ: როგორ უნდა მოიქცეს კონფლიქტის დროს გონიერი მოთამაშე გონიერ მოთამაშესთან (ან მოთამაშეებთან), რომ საშუალოდ თავისთვის მოგებათა უდიდესი რაოდენობა უზრუნველყოს?

წყვილის თამაში ნულოვანი შედეგით. თამაშის ღირებულება

თუ კონფლიქტში ორი მხარე მონაწილეობს, მაშინ თამაშს წყვილის თამაში ეწოდება, თუ რამდენიმე — მრავლის. წყვილის თამაშები მრავლის თამაშებზე მარტივია და მათ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვთ. ჩვენც მხოლოდ წყვილის თამაშებზე შევჩერდებით.

თითოეული თამაში გავარჩიოთ როგორც კონფლიქტი ორ მხარეს — წ (წითლებსა) და ლ (ლურჯებს) შორის. მსჯელობის გასაადვილებლად და იმისათვის, რომ გვქონდეს გარკვეული თვალსაზრისი, მივემხროთ მოთამაშეთა ერთ რომელიმე მხარეს (მაგალითად წ-ს) და მათ „ჩვენები“ ვუწოდოთ, მეორე მხარეს კი — მოწინააღმდეგენი. ეს სულაც არ ნიშნავს იმას, რომ წ მხარეს რაიმე რეალური უპირატესობა ენიჭება. უბრალოდ, ჩვენთვის ასე უფრო მოსახერხებელი იქნება.

თამაშს ეწოდება ნულოვანი შედეგით თამაში, როცა ერთი მხარე იგებს იმას, რასაც მეორე აგებს, ე. ი. წ და ლ მხარეების მოგების ჯამი უდრის ნულს. ცხოვრებაში ხშირად გვხვდება კონფლიქტები, რომლებშიც ასეთი პირობა არ არის დაცული. მაგალითად, ჯარების შეჯახებისას ადვილი შესაძლებელია ორივე მხარე წაგებული დარჩეს. მაგრამ მაინც ბევრ შემთხვევაში მოვლენათა არსის მეტისმეტი დამახინჯების გარეშეც წყვილის კონფლიქტები ისე განიხილება, როგორც თამაში ნულოვანი შედეგით.

ამრიგად, ვთქვათ, რომ წ და ლ მხარეების ინტერესები ურთიერთსაწინააღმდეგოა და მათი მოგების შედეგი უდრის ნულს. გამოთვლის თვალსაზრისით ეს ჩვენთვის მეტად მოსახერხებელი იქნება, რადგან თუ წ-ს მოგება ლ-ს წაგების ტოლი და მოპირდაპირე ნიშნისაა, მაშინ შეგვიძლია მხოლოდ ერთი რომელიმე მოთამაშის მოგება განვიხილოთ: მეორის მოგება ავტომატურად დაზუსტდება.

ამოვირჩიოთ მომგებ მოთამაშედ წ. მოთამაშე წ დაინტერესებულია თავისი მოგება (აღვნიშნოთ იგი წ-ით) მაქსიმუმამდე აქციოს (უდიდესი გახადოს). მოთამაშე ლ კი, პირიქით, დაინტერესებულია მინიმუმამდე აქციოს იგი (უმცირესი გახადოს). წ და ლ მოთამაშეები საკუთარი მიზნების განსახორციელებლად ყოველნაირად ცდილობენ თავიანთი მდგომარეობა გააუმჯობესონ, მოწინააღმდეგისა კი გააუარესონ.

თუ ორივე მოთამაშე გონიერია, ინტერესთა ასეთი შეჯახების შედეგად უნდა შეიქმნას ერთგვარი გაწონასწორებული მდგომარეობა, რომლის თითოეული მოთამაშე იმას მიიღებს, რაც ეკუთვნის, არც მეტს და არც ნაკლებს. ამ გაწონასწორებულ საშუალო მოგებას, რომლის იმედიც სამართლიანად შეიძლება წ-საც ჰქონდეს, თუკი ორივე მხარე გონიერად მოიქცევა, ე. ი. არ გადაუხვევს თავის ოპტიმალურ (საუკეთესო) სტრატეგიებს, თამაშის ღირებულება ეწოდება.

თუ თამაშის ღირებულება ნულს უდრის, მაშინ ეს სამართლიანი თამაშია, ე. ი. ერთნაირად ხელსაყრელი ან არახელსაყრელია ორივე მხარისათვის. თუ თამაშის ღირებულება დადებითია, მაშინ იგი წ-სთვისაა ხელსაყრელი, ხოლო თუ უარყოფითია, ლ-სთვის...

თამაშის ამოხსნა ნიშნავს წყვილის ოპტიმალური სტრატეგიისა (წ-სთვის და ლ-სთვის) და თამაშის ღირებულების მონახვას, ე. ი. უნდა მოინახოს წ მოთამაშის საშუალო მოგება, თუ ორივენი, წ-ც და ლ-ც, გონივრულად მოიქცევიან.

მაგრამ თუ მხოლოდ წ მოიქცევა გონივრულად და ლ არა? მით უარესი ლ-სთვის! ამის შედეგად წ-ს მოგება არ შეიძლება შემცირდეს. უარეს შემთხვევაში იგი უცვლელი დარჩება, უკეთესში კი გაიზრდება.

თამაში ნორმალური ფორმით. თამაშის მატრიცა

ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ სასრულ თამაშებს, ე. ი. ისეთ თამაშებს, რომელთა დროსაც თითოეულ მოთამაშეს სტრატეგიების მხოლოდ სასრული რიცხვი გააჩნია.

თუ წ მოთამაშის განკარგულებაში m სტრატეგიაა, ხოლო ლ-ს განკარგულებაში n სტრატეგია, თამაშს ეწოდება $n \times m$ თამაში.

თამაშის წესი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ცხრილის (ან მატრიცის) სახით:

„ლურჯების“ სტრატეგიები

„წითლების“ სტრატეგიები	$ლ_1$	$ლ_2$	...	$ლ_n$
$წ_1$	$წ_{11}$	$წ_{12}$	...	$წ_{1n}$
$წ_2$	$წ_{21}$	$წ_{22}$	...	$წ_{2n}$
.	.	.	...	.
.	.	.	...	.
.	.	.	...	.
$წ_m$	$წ_{m1}$	$წ_{m2}$	...	$წ_{mn}$

ამ ცხრილში m სტრიქონი და n სვეტია. სტრიქონები შეესაბამება „წითლების“ სტრატეგიებს, რომ-

ლებიც ჩვენ $წ_1, წ_2, \ldots, წ_n$-ით აღვნიშნეთ, სვეტები კი „ლურჯების სტრატეგიებს: $ლ_1, ლ_2, \ldots, ლ_n$.

ცხრილის უჯრედებში მოთავსებულია „წითლების“ მოგება (ან საშუალო მოგება) სტრატეგიების შესაბამისი წყვილის დროს. მაგალითად, $წ_{12}$ არის მოგება, რომელიც „წითლებს“ ექნებათ. იმ შემთხვევაში, თუ $წ_1$ სტრატეგიას აირჩევენ, ხოლო „ლურჯები“ — $ლ_2$ სტრატეგიას. საერთოდ, $წ_{ij}$ არის „წითლების“ მოგება $წ_i$ და $ლ_j$ სტრატეგიების კომბინაციის დროს.

ასეთ ცხრილს სააღრიცხვო მატრიცა ან, უბრალოდ, თამაშის მატრიცა ეწოდება

თუ სასრული თამაში ასეთი მატრიცის სახითაა ჩაწერილი, მაშინ ამბობენ, რომ იგი ნორმალურ ფორმამდეა დაყვანილი. მაგრამ, აბა, სინჯეთ და ნორმალური ფორმით ჩაწერეთ ჩვეულებრივი ჭადრაკის თამაში! თქვენს წინაშე მაშინვე წამოიჭრება უზომოდ დიდი რაოდენობის შესაძლო სტრატეგიები, იმდენად დიდი, რომ მათი ჩამოთვლა ადამიანის შესაძლებლობებს კი არა, თანამედროვე გამოთვლითი მანქანების შესაძლებლობებსაც კი აღემატება. დასანანია, რადგან ჭადრაკის თამაშის მატრიცის შედგენა რომ შეგვძლებოდა, ამას ძალზე საინტერესო შედეგები მოჰყვებოდა... მაგრამ ნუ ავჩქარდებით.

სასრული თამაშების მაგალითები. მინიმაქსის პრინციპი

მოვიყვანოთ სასრული თამაშების რამდენიმე მაგალითი და თითოეული მათგანი ნორმალური ფორმით ჩავწეროთ.

პირველი მაგალითი. განვიხილოთ თამაში, რომელსაც „ძებნა“ ვუწოდოთ. თამაშში ორი მხარე მონაწილეობს წ და ლ. წ-ს უნდა ლ-ს მოძებნა, ლ-ს კი — პირიქით, წ-სგან დამალვა.

ლ-ს აქვს ორი სამალავი — თავშესაფარი I და II, რომელთაგანაც ნებისმიერს ირჩევს. თამაშის წესის მიხედვით წ-საც, სადაც მოეხასიათება, იქ შეუძლია ლ-ს ძებნა. თუ წ მოძებნის ლ-ს, ერთ ქულას აგებს ლ, თუ ვერ მოძებნის, ე. ი. იმ თავშესაფარში შევა, სადაც ლ არ არის, მაშინ პირიქით— წ აგებს ერთ ქულას. საჭიროა თამაშის ნორმალური ფორმით ჩაწერა.

ამოხსნა: წ-ს ორი სტრატეგია აქვს:

$წ_1$ — I თავშესაფარში ძებნა,
$წ_2$ — II თავშესაფარში ძებნა.

ლ-საც ორი სტრატეგია აქვს:

$ლ_1$ — I თავშესაფარში დამალვა,
$ლ_2$ — II თავშესაფარში დამალვა.

თამაში სასრულია — 2×2, თამაშის მატრიცა იქნება:

	$ლ_1$	$ლ_2$
$წ_1$	1	—1
$წ_2$	—1	1

(1)

ამ თამაშს ჩვენ კიდევ დავუბრუნდებით და შევძლებთ მის ამოხსნას. მანამდე კი მოთამაშე წ-ს ნაცვლად ვიმსჯელოთ. წარმოვიდგინოთ, რომ წ ჩვენ ვართ და უნდა ამოვირჩიოთ სტრატეგია. რა გაეწყობა, ვსინჯოთ! ამოვირჩიოთ, მაგალითად, $წ_1$, ე. ი. ყოველთვის I თავშესაფარში ვეძებოთ. მაგრამ მაშინ გონიერი მოწინააღმდეგე რამდენიმე ხელის შემდეგ მიგვიხვდება სტრატეგიას და იქ დაიმალება, სადაც არ ვეძებთ, ე. ი. II თავშესაფარში. არ ვარგა! ამოვირჩიოთ სტრატეგია $წ_2$. არც აქ გვექნება უკეთესი მდგომარეობა. მოწინააღმდეგე ისევ მიგვიხვდება და ახლა I თავშესაფარში დაიმალება. როგორ მოვიქცეთ? ვცადოთ და მორიგეობით გამოვიყენოთ $წ_1$ და $წ_2$ სტრატეგიები თითო ხელის შემდეგ. მაგრამ ხომ შეიძლება მოწინააღმდეგე ამასაც მიხვდეს და ყოველთვის იქ დაიმალოს, სადაც არ ვეძებთ! ამაზეა ნათქვამი, საითაც გავიქეცი, იქით წავიქეციო! მაშ, გამოუვალი მდგომარეობა გვქონია? როგორი სტრატეგიაც არ უნდა ამოვირჩიოთ, მაინც ვაგებთ? ჩანს, რომ ასეა.

ახლა მოწინააღმდეგის მხარეზე დავდგეთ. ჩვენდა გასაკვირად აღმოვაჩენთ, რომ მისი მდგომარეობაც ასეთივე სავალალო იქნება. რომელი სტრატეგიაც არ უნდა აირჩიოს, არც ერთი არ იქნება მისთვის ხელსაყრელი.

უფრო მოგვიანებით ამოვხსნით ამ ამოცანას, ე. ი. მოვნახავთ წ-სა და ლ-ს წყვილ ოპტიმალურ სტრატეგიას. სხვათა შორის, ამის თქმა ახლაც შეიძლება საიდუმლოდ: თითოეულმა მოთამაშემ თავისი სტრატეგიები უნდა გაიმეოროს არა რეგულარულად (თითო ხელის შემდეგ) არამედ შემთხვევით (მაგალითად, ააგდოს ფული და თუ გერბით ზევით დაეცემა, I თავშესაფარში ეძებოს, ხოლო თუ ციფრით — II თავშესაფარში). ანალოგიურად უნდა იმოქმედოს ლ-მაც. ამ შემთხვევაში საშუალოდ ერთ ხელზე ნულოვანი მოგება გვექნება (ამ თამაშის ღირებულება ნულის ტოლი იქნება): წ არც წააგებს და არც მოიგებს. ეს მაინცდამაინც სასიამოვნო არაა, მაგრამ გამუდმებულ წაგებას მაინც სჯობია.

აქ ჩვენ პირველად შევხვდით თამაშთა თეორიის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ცნებას — შერეულ სტრატეგიას, ე. ი. რამდენიმე „წმინდა“ სტრატეგიის მორიგეობას შემთხვევითი კანონებისა და გარკვეული პროპორციების მიხედვით, ანდა, როგორც ამბობენ, გარკვეული სიხშირეებით. მოცემულ მაგალითში თითოეული სტრატეგია მეორდება $1/2$ სიხშირით.

ახლა განვიხილოთ სხვა თამაში, რომლის ამოხსნაც ასე თვალნათლივი არ იქნება.

მეორე მაგალითი. თამაში „სამი თითი“.

ორი მოთამაშე წ და ლ ერთდროულად და წინასწარ მოულაპარაკებლად აჩვენებენ ერთმანეთს ერთ, ორ ან სამ თითს. თუ ნაჩვენები თითების (პირველისა და მეორისა ერთად) რაოდენობა წყვილი რიცხვია, მაშინ იგებს წ, იგი იმდენ ქულას იღებს, რამდენი თითიც იყო სულ; თუ თითების რაოდენობა კენტია, იგივე პირობებით იგებს ლ. საჭიროა თამაშის ნორმალური ფორმით ჩაწერა.

ამოხსნა: გადავნომროთ სტრატეგიები ნაჩვენები თითების რიცხვის მიხედვით. თამაშია 3×3. თამაშის მატრიცა იქნება:

	$ლ_1$	$ლ_2$	$ლ_3$
$წ_1$	2	—3	4
$წ_2$	—3	4	—5
$წ_3$	4	—5	6

(2)

ჩავუფიქრდეთ თითოეული მხარის სტრატეგიებს. ჯერ წ-ს მხარეზე დავდგეთ. ვთქვათ, $წ_1$ სტრატეგია ავირჩიეთ. რას გააკეთებს ჩვენი მოწინააღმდეგე? იგი გონიერია და უნდა რაც შეიძლება ნაკლებად წააგოს. ცხადია, მოწინააღმდეგე ამოირჩევს $ლ_2$ სტრატეგიას. ჩვენი მოგება ამ დროს —3 იქნება, ე. ი. ჩვენ სამ ქულას დავკარგავთ. არ ვარგა! ჩავწეროთ რიცხვი —3 დამატებით სვეტში პირველი სტრიქონის გასწვრივ (იხ. მატრიცა (3).

	$ლ_1$	$ლ_2$	$ლ_3$	სტრიქონთა მინიმუმები
$წ_1$	2	—3	4	—3*
$წ_2$	—3	4	—5	—5
$წ_3$	4	—5	6	—5
სვეტების მაქსიმუმები	4*	4*	6	

(3)

ახლა $წ_2$ სტრატეგია ვსინჯოთ. ამ სტრატეგიას გონიერი მოწინააღმდეგე $ლ_3$ სტრატეგიით უპასუხებს და ჩვენ 5 ქულას დავკარგავთ. კიდევ უფრო უარესი! მესამე სტრატეგია $წ_3$ იგივე შედეგს იძლევა: მოგება (—5).

როგორ მოვიქცეთ? როგორც ჩანს, ყველას $წ_1$ სტრატეგია სჯობია, 3 ქულაზე მეტს მაინც არ დავკარგავთ. ამ სტრატეგიის პირდაპირ ხომ დამატებითი სვეტის მაქსიმალური რიცხვია, რომელიც ჩვენ ვარსკვლავით აღვნიშნეთ.

$წ_1$ სტრატეგიის ამორჩევით ჩვენ გარანტირებული ვართ იმით, რომ რაც არ უნდა ჰქნას მოწინააღმდეგემ, 3 ქულაზე მეტს მაინც არ წავაგებთ (ანუ არ მოვიგებთ (—3) ქულაზე ნაკლებს). სიდიდე (—3) მაქსიმალური, გარანტირებული მოგებაა, რომელიც ჩვენ („წითლებმა“) შეგვიძლია გავინაღდოთ ერთადერთი სტრატეგიის გამოყენებით. ეს სტრატეგია უნდა იყოს $წ_1$.

როგორ მივიღეთ (—3)? მოვნახეთ ყოველი სტრიქონის მინიმუმი და ამ მინიმუმებიდან მაქსიმალური ავიღეთ. ამ სიდიდეს ეწოდება მაქსიმინი ანუ თამაშის ქვედა ღირებულება. აღვნიშნოთ იგი α-თი.

ახლა მოწინააღმდეგის მაგიერ ვიფიქროთ. მასაც რაც შეიძლება ნაკლების წაგებისა და მეტის

მოგების სურვილი აქვს. მაგრამ რომელი სტრატეგიაც არ უნდა ამოირჩიოს, ჩვენ („წითლები“) ისე მოვიქცევით, რომ მას მეტი ქულა წავართვათ. მაშასადამე, „ლურჯებმა“ თითოეულ სვეტში მინიმალური კი არა, მაქსიმალური რიცხვი უნდა ჩაწეროთ (იხ. ქვედა დამატებითი სტრიქონი (3) მატრიცაში). ამ მაქსიმუმებიდან მათ უნდა იპოვონ მინიმალური რიცხვი, ე. ი. მ ი ნ ი მ ა ქ ს ი (თ ა მ ა შ ი ს ზ ე დ ა ღ ი რ ე ბ უ ლ ე ბ ა), რომელსაც β-თი აღვნიშნავთ. ჩვენს შემთხვევაში ეს სიდიდე 4-ს უდრის და ვარსკვლავითაა აღნიშნული. იმისათვის, რომ 4-ზე მეტი არ წააგონ, „ლურჯებმა“ უნდა გამოიყენონ ნებისმიერი სტრატეგია თავიანთი ორი $Л_1$ და $Л_2$ სტრატეგიიდან.

მაშასადამე, თუ თითოეულ მონაწილეს შეუძლია აირჩიოს ერთადერთი სტრატეგია, მაშინ ეს სტრატეგია „წითლებისათვის“ იქნება $В_1$ და „ლურჯებისათვის“ $Л_1$ ან $Л_2$.

როგორ ამოვირჩიეთ ეს სტრატეგიები? ვხელმძღვანელობდით სიფრთხილის პრინციპით, რომელიც ამბობს: თამაშში ისე მოიქეცი, რომ, როცა მოწინააღმდეგე შენს სასარგებლოდ მოქმედებს, უდიდესი უპირატესობა გქონდეს. ეს პრინციპი წარმოადგენს მინიმაქსის პრინციპს, რომელიც ძირითადია თამაშთა თეორიაში.

ამ პრინციპის გამოყენებით ჩვენ ჯერჯერობით $В$ მოთამაშეს ერთი თითის ჩვენება ვურჩიეთ, $Л$ მოთამაშეს კი — ერთი ან ორი თითისა.

ხომ არ გვიპოვია თამაშის ამოხსნა, ანუ სტრატეგიების ისეთი წყვილი, რომელიც წ ო ნ ა ს წ ო რ ო ბ ი ს მდგომარეობად ჩაითვლება? ადვილად დავრწმუნდებით, რომ არა. ჩვენს მიერ ნაპოვნ სტრატეგიებს ერთი მეტად ცუდი თვისება აქვთ: ისინი ა რ ა მ დ გ რ ა დ ი ა. მართლაც, ვთქვათ, ორივე მოთამაშე შეთავაზებული წმინდა სტრატეგიების — $В_1$-ის და, ვთქვათ, $Л_1$-ის მიხედვით მოქმედებს. ვიდრე ორივე ამ გზას ადგია, მოგება 2-ის ტოლი იქნება, ე. ი. თამაშის ყოველ ხელზე $В$ ორ ქულას მოუგებს $Л$-ს. შეიძლება $В$ კმაყოფილიც იყოს, მაგრამ $Л$ ვერ იქნება მაინცდამაინც კარგ ხასიათზე, რადგან არ უნდა წაგება. ვთქვათ, მან საიდანღაც გაიგო, რომ ჩვენ $В_1$ სტრატეგიით ვმოქმედებთ. რას იზამს მაშინ? რა თქმა უნდა, დაუყოვნებლივ $Л_2$ სტრატეგიაზე გადავა და სამ-სამ ქულას წაგვართმევს, ე. ი. ჩვენს მოგებას —3-ზე დაიყვანს. მაგრამ, ვთქვათ, ახლა ჩვენ მივუხვდით $Л$-ს. გადავალთ $В_2$ სტრატეგიაზე. ამის პასუხად $Л$ გადავა $Л_3$-ზე და ა. შ.

ჩვენ დავრწმუნდით, რომ მინიმაქსის პრინციპიდან გამომდინარე წყვილი სტრატეგია არამდგრადია: საკმარისია ერთმა მოთამაშემ გაიგოს, რას აკეთებს მეორე, რომ წონასწორობა ირღვევა. მაგრამ ყოველთვის ასე იქნება? თურმე არა.

უნაგირა წერტილი. თამაშის წმინდა ღირებულება

განვიხილოთ მ ა გ ა ლ ი თ ი. მოცემულია თამაშის (4) მატრიცა:

	$Л_1$	$Л_2$	$Л_3$	$Л_4$	სტრიქონთა მინიმუმები
$В_1$	10	1	2	1	1
$В_2$	6	8	5	6	5
$В_3$	2	4	4	8	2
სვეტების მაქსიმუმები	10	8	5	8	

(4)

მოსაძებნია თამაშის ქვედა ღირებულება α, თამაშის ზედა ღირებულება β და მინიმაქსური სტრატეგიები, აგრეთვე შესამოწმებელია, მდგრადია თუ არა ისინი.

ა მ ო ხ ს ნ ა. დამატებითი სვეტისა და სტრიქონების ანალიზიდან მივიღებთ: $\alpha=5$, $\beta=5$. მაქსიმინი მინიმაქსის ტოლია! ეს განსაკუთრებული შემთხვევაა, მაგრამ რა გამომდინარეობს აქედან?

ავიღოთ წყვილი მინიმაქსური სტრატეგია: $В_2$ და $Л_3$. თუ ორივე მოთამაშე ამ სტრატეგიებს გამოიყენებს, მოგება 5 იქნება. ახლა ვთქვათ, მოწინააღმდეგის მოქმედების შესახებ გავიგეთ. რა უნდა ვქნათ? არაფერი! კვლავ $В_2$ სტრატეგიას გამოვიყენებთ, რადგან სტრატეგიის ნებისმიერი შეცვლა თვით ჩვენთვის იქნება არახელსაყრელი. ვიცით თუ არა მოწინააღმდეგის მოქმედება, სულ ერთია, $В_2$ სტრატეგიას უნდა მივყვეთ! იგივე ითქმის „ლურჯებზეც“. არც მათთვის აქვს აზრი თავიანთი $Л_3$ სტრატეგიის შეცვლას.

მოცემულ შემთხვევაში $წ_2$ და $ლ_3$ წყვილი სტრატეგიები მდგრადია, ე. ი. წონასწორობის მდგომარეობას წარმოადგენს და თამაშის ბედს წყვეტს.

რატომ ხდება ასე? იმიტომ, რომ მატრიცაში არის განსაკუთრებული ელემენტი 5, რომელიც მინიმალურია თავის სტრიქონში და ამავე დროს მაქსიმალურია თავის სვეტში. ასეთ ელემენტს უნაგირა წერტილი ეწოდება. თუ მატრიცას აქვს უნაგირა წერტილი (ე. ი. თამაშის ქვედა ღირებულება ზედას უდრის), მაშინ თამაში წმინდა სტრატეგიების მიხედვით წყდება: ეს არის წყვილი სტრატეგიებისა, რომლებიც უნაგირა წერტილში იკვეთება. თვით უნაგირა წერტილი კი თამაშის ღირებულებას იძლევა, რაც ჩვენს შემთხვევაში 5-ს უდრის.

უნაგირა წერტილიან თამაშთა კლასს დიდი მნიშვნელობა აქვს თამაშთა თეორიისათვის. კერძოდ, დამტკიცებულია, რომ თუ თამაშის წესების მიხედვით თითოეულმა მოთამაშემ იცის როგორც საკუთარი, ასევე მოწინააღმდეგის ყველა შემდგომი სვლის შედეგი (ე. წ. თამაში სრული ინფორმაციით), მაშინ თამაშს აქვს უნაგირა წერტილი და, მაშასადამე, ამოხსნაც წმინდა სტრატეგიებში. სრული ინფორმაციის თამაშების ნიმუშია ჭადრაკი, შაში და სხვ.

მოვიყვანოთ სრული ინფორმაციით თამაშის მაგალითი, რომლის ამოხსნაც ადვილი მოსაძებნია.

ორი მოთამაშე წ და ლ რიგრიგობით დებენ მრგვალ მაგიდაზე მონეტებს. თითოეული მონეტის მდგომარეობის ამორჩევა ნებისმიერად ხდება, ოღონდ ისინი ერთმანეთს არ უნდა ფარავდნენ. იგებს ის მოთამაშე, რომელიც უკანასკნელი დადებს მონეტას (როცა მაგიდაზე უკვე აღარ იქნება ადგილი სხვა მონეტისათვის).

საჭიროა ცოტათი დავფიქრდეთ და დავრწმუნდებით, რომ ამ თამაშის შედეგი ყოველთვის წინასწარაა განსაზღვრული და არსებობს სავსებით გარკვეული სტრატეგია, რომელიც მოგების გარანტიას აძლევს იმ მოთამაშეს, ვინც პირველი დადებს მონეტას (ეს იყოს წ). კერძოდ წ-მ პირველი მონეტა მაგიდის ცენტრში უნდა დადოს და შემდეგში ლ-ს ყოველ სვლას უპასუხოს მაგიდის ცენტრის მიმართ ზუსტად სიმეტრიული სვლით. საბრალო ლ-ს ამ დროს როგორც უნდა ისე შეუძლია მოიქცეს, წაგება მაინც არ ასცდება...

ეტყობა, ასეთ თამაშს მარტო იმათთვის აქვს აზრი, ვინც მისი ამოხსნა არ იცის. საინტერესოა, რომ ზუსტად იგივე მდგომარეობაა ისეთ პოპულარულ თამაშშიც, როგორიც ჭადრაკია. ამ თამაშს მანამდე აქვს აზრი, ვიდრე მისი ამოხსნა არ არის მოძებნილი. თეორიულად დამტკიცებულია, რომ ამოხსნა არსებობს და ჭადრაკის თამაშის შედეგი არსებითად წინასწარაა განსაზღვრული. თუ თითოეული მხარე თავის ოპტიმალურ სტრატეგიას გამოიყენებს, მაშინ თამაში ან ყოველთვის თეთრების გამარჯვებით დამთავრდება, ან ყოველთვის შავების გამარჯვებით, ან ყოველთვის ყაიმით, მაგრამ რა განაპირობებს ამას? ჯერჯერობით ჩვენ ეს არ ვიცით, რადგან შესაძლო სტრატეგიათა რიცხვი მეტად დიდია იმისათვის, რომ ჭადრაკის თამაშის მატრიცა შედგეს და შიგ უნაგირა წერტილი მოიძებნოს. ალბათ ჭადრაკის მოყვარულებიც იმით არიან დაინტერესებული, რომ ჭადრაკის თამაშის პრობლემა კიდევ დიდხანს დარჩეს გადაუჭრელი.

ბოლოს აღვნიშნავთ, რომ უნაგირა წერტილები შეიძლება იყოს არა ერთი, არამედ რამდენიმე. მაშინ თამაშის გადაწყვეტა წმინდა სტრატეგიებში იმდენია, რამდენიც უნაგირა წერტილია. თითოეული მათგანი იძლევა მოგებას, რომელიც თამაშის ღირებულების ტოლია.

თამაშის ამოხსნა შერეულ სტრატეგიებში. თამაშთა თეორიის ძირითადი თეორემა

ჩვენ ვიცით, რომ თუ თამაშის ქვედა ღირებულება α ზედა β-ს უდრის (მაქსიმინი უდრის მინიმაქსს), მაშინ თამაშს აქვს უნაგირა წერტილი და ერთი ამოხსნა მაინც წმინდა სტრატეგიებში.

მაგრამ თუ გვაქვს $\alpha \neq \beta$? შეიძლება დამტკიცდეს, რომ ამ შემთხვევაშიც არსებობს ამოხსნა. მაგრამ იგი მოქცეულია არა წმინდა, არამედ შერეული სტრატეგიების სფეროში. თამაშის ამოხსნა ეწოდება ისეთ წყვილ სტრატეგიებს, საერთოდ კი შერეულს, რომელთა სისტემატური გამოყენება თამაშის წესის მიხედვით თითოეული მხარისათვის უზრუნველყოფს თამაშის ღირებულების ტოლ მაქსიმალურ მოგებას. მაგრამ თუ ერთი რომელიმე მხარე თმობს თავის ოპტიმალურ სტრატეგიას (იმ დროს, როცა მეორე იცავს მას), ეს არავითარ შემთხვევაში არ

შეიძლება ხელსაყრელი იყოს დამთმობისათვის — მისი მოგება ან უცვლელი დარჩება, ან შემცირდება.

ამგვარად, ყოველ სასრულ თამაშს აქვს ამოხსნა (შეიძლება შერეულ სტრატეგიათა სფეროში). ამ მდგომარეობას თამაშთა თეორიის ძირითადი თეორემა ეწოდება.

შემოვიღოთ სპეციალური აღნიშვნა შერეული სტრატეგიებისათვის. ვთქვათ, წ იყენებს თავის სტრატეგიებს $წ_1$, $წ_2$, $წ_3$, რომელთა სიხშირეებია შესაბამისად p_1, p_2, $p_3 (p_1 + p_2 + p_3 = 1)$. ეს შერეული სტრატეგია ასე აღინიშნება:

$$S_წ = \begin{pmatrix} წ_1 & წ_2 & წ_3 \\ p_1 & p_2 & p_3 \end{pmatrix}.$$

ანალოგიურად, ლ მოთამაშის შერეულ სტრატეგიას ასე აღვნიშნავთ:

$$S_ლ = \begin{pmatrix} ლ_1 & ლ_2 & ლ_3 \\ q_1 & q_2 & q_3 \end{pmatrix},$$

სადაც $q_1 + q_2 + q_3 = 1$.

როგორც ჩანს, ნებისმიერი წმინდა სტრატეგია კერძო შემთხვევაა შერეული სტრატეგიისა, რომელშიც ყველა სიხშირე ერთის გარდა ნულს უდრის, ერთი კი — ერთიანს.

თამაშის ამოხსნა — წყვილი ოპტიმალური სტრატეგია — აღვნიშნოთ $S^*_წ$ და $S^*_ლ$, ხოლო მისი შესაბამისი მოგება (თამაშის ღირებულება) აღვნიშნოთ $ν$ ასოთი.

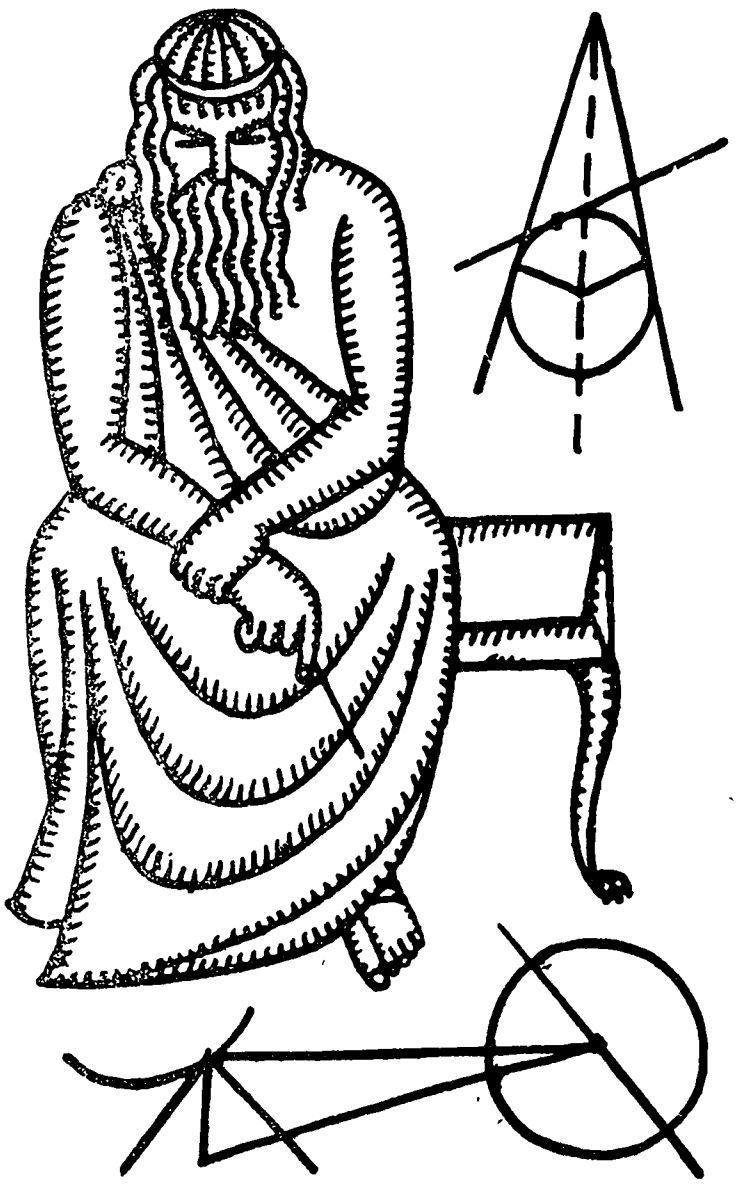
როგორც ირკვევა, თამაშის ღირებულება $ν$ არ შეიძლება არც ქვედა ღირებულებაზე ნაკლები იყოს და არც ზედაზე მეტი:

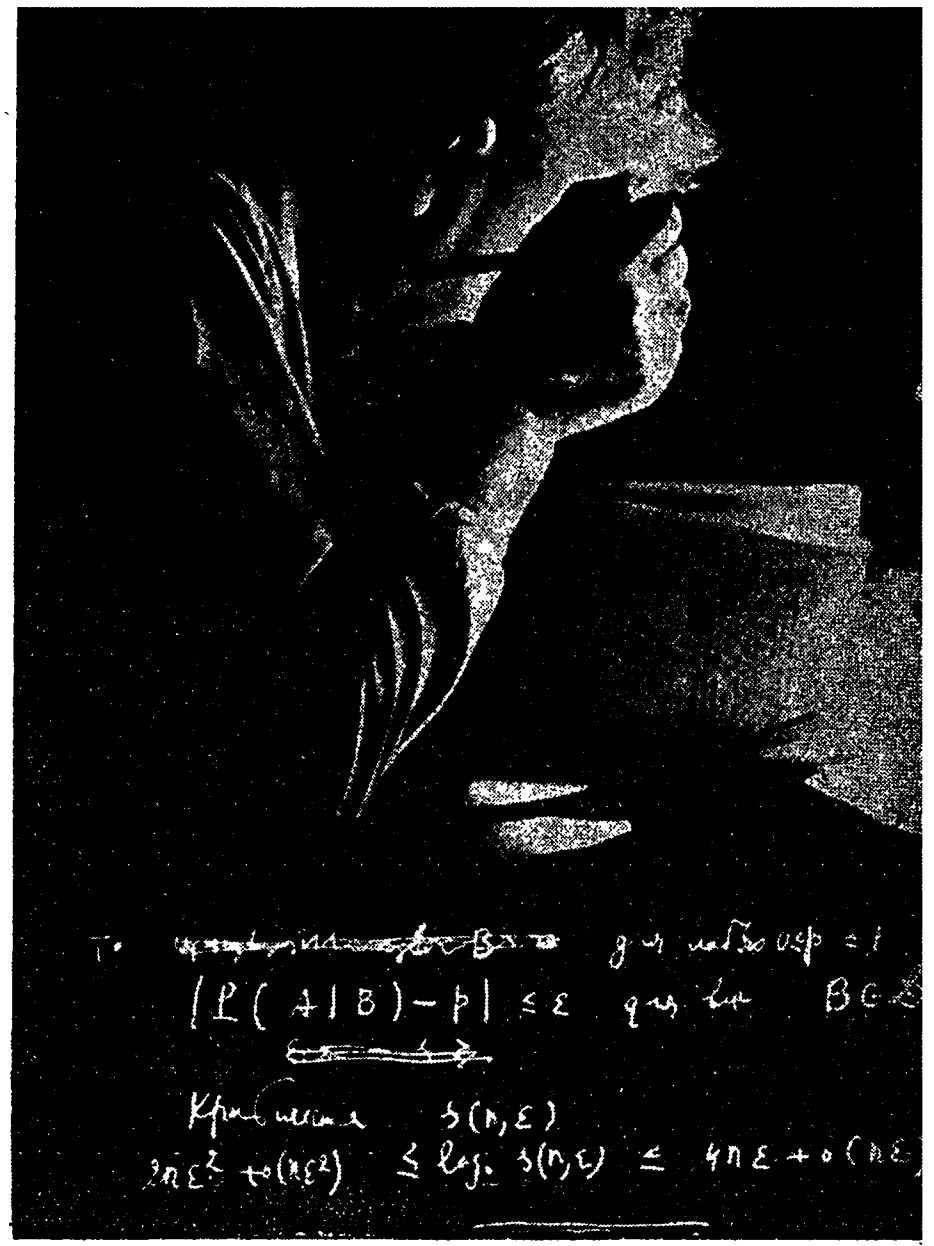
$$α \leqslant ν \leqslant β.$$

პირველ მაგალითში არაზუსტი მოსაზრებებით ჩვენ მივხვდით, რომ თამაშის ამონახსნი უნდა იყოს:

$$S^*_წ = \begin{pmatrix} წ_1 & წ_2 \\ 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}; \qquad S^*_ლ = \begin{pmatrix} ლ_1 & ლ_2 \\ 1/2 & 1/2 \end{pmatrix},$$

ხოლო თამაშის ღირებულება $ν = 0$. შევამოწმოთ ეს. დავუშვათ, რომ ჩვენ („წითლები") ჩვენს $S^*_წ$ სტრატეგიას ვიცავთ, ე. ი. ლ-ს ვეძებთ I და II თავშესაფრებში ერთნაირი სიხშირით და ამ სტრატეგიების მორიგეობას შემთხვევით ვახდენთ. შეუძლია თუ არა ლ-ს გაიუმჯობესოს თავისი მდგომარეობა (აამაღლოს თავისი მოგება), თუ ნებისმიერად დათმობს თავის $S^*_ლ$ სტრატეგიას? ეტყობა, არა. მაგრამ თუ წ-ს თავში მოუვა $S^*_წ$ სტრატეგიიდან ერთმხრივი გადახვევა (მაშინ, როცა გონიერი ლ ისევ $S^*_ლ$ სტრატეგიით იმოქმედებს), არც ეს მოუტანს ხელსაყრელ შედეგს. მაშასადამე, ჩვენ მოვძებნეთ თამაშის ამოხსნა და მისი ღირებულება $ν = 0$. მაგრამ ეს თამაში მართლაც მეტად მარტივი იყო. უკვე მეორე მაგალითი იძლევა ისეთ თამაშს, რომლის ამოხსნა ასე აშკარა არ არის. იქიდან, რომ $α \neq β$, მხოლოდ ის ჩანს, რომ ამოხსნა შერეულ სტრატეგიებში უნდა ვეძებოთ.





გამოჩენილი მათემატიკოსები

არქიმედე

თანამედროვე მათემატიკოსთაგან ვისაც არ უნდა უთხრათ, თქვენი დარგის ხუთი უდიდესი მეცნიერი ჩამომითვალეთო, ყოველი მათგანი პირველს არქიმედეს დაგისახელებთ.

არქიმედე დაიბადა ძვ. წ. 287 წ. სიცილიის ერთერთ უმდიდრეს ქალაქ სირაკუზაში. პირველდაწყებითი განათლება მამის — ასტრონომ ფიდიასის ხელმძღვანელობით მიიღო.

არქიმედე ძალიან ადრე დაინტერესდა ასტრონომიით, მექანიკითა და მათემატიკით. სწავლის გასაგრძელებლად ჭაბუკი გაემგზავრა ეგვიპტის ალექსანდრიაში, რომელიც იმ დროის მეცნიერე-



არქიმედე.

ბისა და კულტურის ცენტრს წარმოადგენდა. ალექსანდრიაში ცხოვრობდნენ და მოღვაწეობდნენ ანტიკური ხანის უდიდესი მეცნიერები — ასტრონომი კონონი, მრავალმხრივი მეცნიერი ერატოსთენე და სხვ., ხოლო უფრო ადრე აქ ევკლიდე ქმნიდა თავის ცნობილ „საწყისებს“. ალექსანდრიაში იყო სახელგანთქმული უმდიდრესი ბიბლიოთეკაც, სადაც 700 ათასამდე ხელნაწერი ინახებოდა. ამ ბიბლიოთეკაში არქიმედე გაეცნო დემოკრიტეს, ევდოქსისა და სხვა გამოჩენილ ბერძენ გეომეტრთა შრომებს.

არქიმედეს როგორც მათემატიკოსის, მექანიკოსის, თეორეტიკოსისა და კონსტრუქტორის მოღვაწეობა განსაკუთრებით ნაყოფიერი გახდა სირაკუზაში მისი დაბრუნების შემდეგ. არქიმედეს სიცოცხლეშივე მასზე ლეგენდებს თხზავდნენ. ამ ლეგენდებს საფუძვლად ედო მეცნიერის გასაოცარი გამოგონებები, რომლებიც თავზარდამცემ შთაბეჭდილებას ახდენდნენ მის თანამედროვეებზე.

გადმოცემით, ერთხელ არქიმედეს მეფე გიერონის გვირგვინის შემოწმება დაევალა. მას უნდა დაედგინა, გვირგვინი სუფთა ოქროსაგან იყო გაკეთებული, თუ ოქრომჭედელმა ვერცხლიც შეურია. ოქროს ხვედრითი წონა ცნობილი იყო, მაგრამ გაძნელდა გვირგვინის მოცულობის განსაზღვრა, რადგანაც მას არაწესიერი ფორმა ჰქონდა. არქიმედე ბევრს ფიქრობდა და ერთხელ, როდესაც აბაზანას იღებდა, დაებადა ბრწყინვალე აზრი, რომლის მიხედვით გვირგვინის მოცულობა შეიძლება დადგინდეს, თუ მას წყალში ჩავძირავთ, ხოლო შემდეგ გავზომავთ განდევნილი წყლის მოცულობას. ლეგენდის თანახმად, არქიმედე შიშველი გამოვარდა ქუჩაში და დაიძახა: „ევრიკა!“, ე. ი. „აღმოვაჩინე“. და მართლაც, ამ დიდმა მეცნიერმა ჰიდროსტატიკის ძირითადი კანონი აღმოაჩინა.

მეორე ლეგენდა კი აი, რას გადმოგვცემს: მეფე გიერონს ეგვიპტის მეფისათვის საჩუქრად აუგია მდიდრული გემი „სიროკოსია“, რომელიც თურმე ვერაფრით ვეღარ ჩაუშვეს წყალში. არქიმედემ ააგო ბლოკების სისტემა (პოლისპასტი) და მხოლოდ ხელის მოძრაობით შეასრულა მთელი სამუშაო. ამ შემთხვევამ თუ ბერეკტის პრინციპებზე ფიქრებმა ათქმევინა მას: „მომეცით საყრდენი წერტილი და დედამიწას გადავაბრუნებ!“

არქიმედემ სახელი გაითქვა აგრეთვე სხვა მექანიკური კონსტრუქციებითაც. მის მიერ გამოგონებულ წყლის ამოსახაპავ ხრახნს დღემდე იყენებენ ეგვიპტეში. მანვე ააგო პლანეტარიუმი (ანუ „ციური სფერო“), რომელიც, როგორც ჩანს, შეკუმშული ჰაერის დახმარებით მოძრაობდა. სფეროს მოძრაობის დროს აკვირდებოდნენ მზისა და მთვარის ამოსვლას, მთვარის ფაზებსა და დაბნელებებს, აკვირდებოდნენ, როგორ იკარგებოდა ორივე ეს სხეული ჰორიზონტის ხაზის მიღმა.

არქიმედე იყო აგრეთვე გენიოსი ინჟინერი, რასაც შემდეგი ფაქტი ადასტურებს: 212 წ. ძვ. წ. სირაკუზას ალყა შემოარტყეს რომაელებმა. (არქიმედე მაშინ 75 წლის იყო!) მაგრამ ამოქმედდნენ არქიმედეს მიერ აგებული მძლავრი სატყორცნი მანქანები და მოწინააღმდეგეს დიდრონი ქვები სეტყვასავით დააყარეს. რომაელებმა იფიქრეს, ქა-

ლაქის კედლის ახლოს შორსმტყორცნი მანქანები ვერას დაგვაკლებენო და იქით მიაწყდნენ. მაშინ ამოქმედდნენ მხცოვანი მეცნიერის მიერ შექმნილი მსუბუქი სატყორცნი მანქანები. არქიმედეს აგებული ამწე მანქანები რომაელების გემებს ჰაერში იტაცებდნენ, მერე კი ისე აგდებდნენ ქვევით, რომ გემები წყალში იძირებოდნენ.

რომაელები იძულებულნი გახდნენ ქალაქის იერიშით აღებაზე უარი ეთქვათ და ალყა შემოარტყეს მას. სახელგანთქმული ძველი ისტორიკოსი პოლიბიუსი წერდა: „ასეთია საოცარი ძალა ერთი ადამიანისა, რომლის ნიჭი და უნარი გონივრულადაა მიმართული ერთი რომელიმე საქმისაკენ... ვინმეს რომ ერთი მოხუცი სირაკუზელი მოეშთო, რომაელები იოლად დაიპყრობდნენ ქალაქს“. მხოლოდ ღალატით მოახერხეს რომაელებმა ძვ. წ. 212 წ. შემოდგომაზე სირაკუზას აღება. ამ დროს მოკლეს არქიმედეც. პლუტარქე დაწვრილებით მოგვითხრობს მისი სიკვდილის ამბავს: „არქიმედეს მოსაკლავად მიუახლოვდა მახვილმომარჯვებული ჯარისკაცი. მეცნიერი დაჟინებით სთხოვდა ჯარისკაცს, წუთით დამაცადე, თორემ ერთი ამოცანა ამოუხსნელი დამრჩებაო. ჯარისკაცს სულ არ ედარდებოდა არქიმედეს მტკიცებანი და მახვილით განგმირა იგი“.

არქიმედე შესანიშნავი მექანიკოსი, თეორეტიკოსი და პრაქტიკოსი იყო, მაგრამ მთელი მისი სიცოცხლის მთავარ საქმეს მაინც მათემატიკა წარმოადგენდა. პლუტარქეს თქმით, არქიმედე ისე იყო გატაცებული მათემატიკით, რომ ჭამაც ავიწყდებოდა და თავის მოვლაც. მისი მთავარი ყურადღება მიმართული იყო სამი პრობლემისაკენ:

1. მრუდწირულ ნაკვთთა ფართობების ან, შესაბამისად, სხეულთა მოცულობების განსაზღვრა.

თქვენ ალბათ უკვე იცით, როგორ უნდა განისაზღვროს წრფივი ნაკვთებისა და წრის ფართობი, პრიზმის, პირამიდის, ცილინდრის, კონუსის მოცულობა. მაგრამ მხოლოდ არქიმედემ აღმოაჩინა ზოგადი მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, განვსაზღვროთ ნებისმიერი ფართობი ან მოცულობა. ამ მეთოდს უსაზღვროდ დიდი მნიშვნელობა აქვს ფიზიკისა და ასტრონომიისათვის. არქიმედეს იდეები დაედო საფუძვლად ინტეგრალურ აღრიცხვას.

თვით არქიმედემ თავისი მეთოდის დახმარებით განსაზღვრა თითქმის ყველა იმ სხეულის ფართობი და მოცულობა, რომელსაც მაშინდელი გეომეტრია სწავლობდა. თავის ყველაზე დიდ მიღწევად არქიმედეს მიაჩნდა სფეროს ზედაპირისა და მოცულობის განსაზღვრა. იგი ითხოვდა, ჩემს საფლავზე ცილინდრში ჩახაზული სფერო ამოკვეთეთო.

2. ვთქვათ, მოცემულია რომელიმე მრუდი. როგორ განვსაზღვროთ მხები მის ნებისმიერ წერტილში? ანდა, თუ ამ პრობლემას ფიზიკის ენაზე გადავიტანთ, ვთქვათ, ცნობილია რომელიმე სხეულის მოძრაობა დროის ყოველ მომენტში, როგორ განვსაზღვროთ მისი სიჩქარე ნებისმიერ წერტილში? სკოლაში ასწავლიან, როგორ უნდა გავავლოთ წრეწირის მხები. ძველი ბერძნები, გარდა ამისა, პოულობდნენ ავრეთვე მხებს ელიფსისათვის, ჰიპერბოლისა და პარაბოლისათვის. ამ ამოცანის ამოსახსნელი პირველი ზოგადი მეთოდიც არქიმედემ შეიმუშავა. შემდგომ ეს მეთოდი საფუძვლად დაედო დიფერენციალურ აღრიცხვას.

3. მათემატიკაში, ფიზიკასა და ასტრონომიაში უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ცვლად სიდიდეთა უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობების — ექსტრემუმების პოვნას. მაგალითად, როგორ ვიპოვოთ სფეროში ჩახაზულ ცილინდრთა შორის უდიდესი მოცულობის ცილინდრი? ყველა ასეთი ამოცანა დღეს შეიძლება გადაწყდეს დიფერენციალური აღრიცხვის საშუალებით. არქიმედემ პირველმა შენიშნა კავშირი ამ ამოცანებსა და მხებთა განსაზღვრის პრობლემებს შორის. მან პირველმა გვიჩვენა, ამ უკანასკნელთა დახმარებით როგორ უნდა ამოიხსნას ამოცანები ექსტრემუმებზე.

არქიმედემ დიდი სიზუსტით გამოითვალა წრეწირის სიგრძისა და დიამეტრის $\frac{C}{D}$ ფარდობა. ე. ი. π რიცხვი, რომელსაც უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა მათემატიკის განვითარებისათვის. ამისათვის მან განიხილა წრეწირში ჩახაზული და შემოხაზული ისეთი წესიერი მრავალკუთხედების მიმდევრობა, რომლებსაც 6, 12, 24, 48 და 96 გვერდი ჰქონდა და იპოვა მათი პერიმეტრების ფარდობანი დიამეტრთან. ცხადია, $\frac{p_n}{D} < \frac{C}{D} < \frac{P_n}{D}$, სადაც p_n არის ჩახაზული n-კუთხედის პერიმეტრი, P_n კი შემოხაზული n-კუთხედისა. არქიმედემ აღმოაჩინა, რომ

$$3\frac{10}{71} < \pi = \frac{C}{D} < 3\frac{1}{7}.$$

თუ განვაგრძობთ მრავალკუთხედის გვერდთა გაორკეცებას, არქიმედეს მეთოდით შევძლებთ π რიცხვი ნებისმიერი სიზუსტით გამოვთვალოთ.

არქიმედეს იდეებმა თითქმის ორი ათასი წლით გაუსწრო თავის დროს. მხოლოდ XVII ს. შეძლეს მეცნიერებმა უდიდესი ბერძენი მათემატიკოსის შრომათა განვრცობა და განვითარება. მხოლოდ მაშინ გამოაშკარავდა და დადგინდა არქიმედეს იდეების ჭეშმარიტი მნიშვნელობა.

დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის ერთ-ერთი შემოქმედი ლაიბნიცი წერდა: „როდესაც ყურადღებით კითხულობ არქიმედეს თხზულებებს, აღარ გაკვირვებს გეომეტრთა არც ერთი უახლესი აღმოჩენა“.

ომარ ხაიამი

შუა საუკუნეების აღმოსავლეთის ერთ-ერთი უდიდესი მათემატიკოსი ომარ ხაიამი დაახლოებით 1040 წ. დაიბადა, ხოლო გარდაიცვალა 1123 წ. (ზუსტი თარიღები ცნობილი არ არის). იგი წარმოშობით ხორასანის მთავარი ქალაქიდან — ნიშაპურიდან ყოფილა. ხორასანი, რომელიც სამხრეთ-აღმოსავლეთით და კასპიის ზღვის აღმოსავლეთით მდებარეობდა, მაშინ სელჯუკთა სახელმწიფოს შემადგენლობაში შედიოდა. ამჟამად ხორასანის მნიშვნელოვანი ნაწილი შედის ირანის შემადგენლობაში, ჩრდილოეთი რაიონები — თურქმენეთის სსრ, ხოლო აღმოსავლეთი რაიონები — ავღანისტანის შემადგენლობაში.

ყველაზე მეტად ომარ ხაიამმა სახელი გაითქვა, როგორც შესანიშნავი ოთხტაეპიანი ლექსების ავტორმა. თავის ლექსებში პოეტი უმღეროდა სიცოცხლეს, ადამიანს, ამათრახებდა თავისი დროის უკუღმართობას, დასცინოდა ოფიციალურ რელიგიას. იგი ოცნებობდა უკეთეს მომავალზე.

ომარ ხაიამი წერდა ფარსულ ენაზე, რომლიდანაც შემდეგ თანამედროვე სპარსული და ტაჯიკური ენები განვითარდა. ახლა მისი ლექსები თარგმნილია რუსულ, ქართულ და მრავალ ევროპულ ენაზე. ახალგაზრდობის წლებში ომარ ხაიამმა ბევრი იხეტიალა. იგი ცხოვრობდა და მუშაობდა სამარყანდსა და ბუხარაში, ხოლო 1074 წ. სატახტო ქალაქ ისპაჰანის ობსერვატორიის სათავეში ჩააყენეს. აქ მან შეადგინა უაღრესად ზუსტი კალენდრის პროექტი. მაგრამ კალენდარი არ გამოუყენებიათ. მალე ზედიზედ გარდაიცვალნენ ომარ ხაიამის მფარველნი — პირველი მინისტრი ნიზამ ალ-მულქი, სულთანი მალიქ-შაჰი — და ობსერვატორია დაიხურა.

მუსულმანთა სასულიერო წოდებას სძულდა „ღვთისმგმობელი“ ომარ ხაიამი. მალიქ-შაჰის მემკვიდრეთა დროს ამ წოდების გავლენა გაძლიერდა და ომარ ხაიამიც აითვალწუნეს.

ომარ ხაიამის მათემატიკური ნაშრომები უმთავრესად ალგებრას, არითმეტიკასა და გეომეტრიას ეხება. ნაშრომები დაწერილია არაბულ ენაზე, რადგან არაბთა მიერ დაპყრობილ აზიისა და აფრიკის ქვეყნებში მეცნიერები, ჩვეულებრივ, არაბულ ენაზე წერდნენ.

ომარ ხაიამის მთავარი ნაშრომია „ტრაქტატი ალგებრის ამოცანების და ალ-მუკაბალას მტკიცებათა შესახებ“. იმ დროს განტოლებები ამოსახსნელად ნორმალურ სახემდე დაჰყავდათ, ისე რომ, განტოლების ორივე ნაწილში ყოფილიყო დადებითკოეფიციენტებიანი წევრები. მაგალითად, არჩევდნენ კვადრატულ განტოლებათა სამ სახეს: $x^2 = px + q$, $x^2 + px = q$, $x^2 + q = px$, და თვითეულისათვის ცალკე აყალიბებდნენ ამოხსნის განსაკუთრებულ ხერხს. განტოლება $x^2 + px + q = 0$ სრულიად არ განიხილებოდა, რადგან როცა $p \geqslant 0$, $q \geqslant 0$, განტოლებას არ შეიძლება ჰქონოდა დადებითი ამონახსნები (მაშინ მხედველობაში იღებდნენ მხოლოდ დადებით ამონახსნებს). მოცემული განტოლების მამცირი წევრების მეორე ნაწილში გადატანის ოპერაციას, სადაც ისინი უკვე მისამატებლად იქცევიან, ეწოდებოდა ალ-ჯებრ („შევსება“), განტოლების ორივე ნაწილში მსგავსი წევრების დაყვანის ოპერაციას კი ალ-მუკაბალა („დაპირისპირება“). სიტყვიდან „ალ-ჯებრ“ — წარმოდგება ჩვენი სიტყვა „ალგებრა“ და ომარ ხაიამი უკვე ლაპარაკობს „ალგებრაისტების“ შესახებ.

ომარ ხაიამის ტრაქტატი უმთავრესად კუბურ განტოლებებს ეხება. ჯერ კიდევ ძველ ბაბილონში გამოჩნდა პირველი ამოცანები, რომლებიც დაიყვანებოდა მთელფესვებიან კუბურ განტოლებებამდე. ამ ფესვების ამოხსნა კი ადვილად შეიძლებოდა უბრალო შერჩევის გზით. ძველმა ბერძნებმა აღმოაჩინეს კუბურ განტოლებათა დადებითი ფესვების აგების გეომეტრიული ხერხები. მათ იგი, უპირველეს ყოვლისა, გამოიყენეს კუბის გაორკეცების ამოცანისათვის, ე. ი. ისეთი x^3 კუბის x წიბოს მოსაძებნად, რომელიც ორჯერ მეტი იქნებოდა მოცემულ y^3 კუბზე. x სიდიდე, ანუ $x^3=2y^3$ განტოლების ფესვი მათ ააგეს როგორც იმ ორი პარაბოლის გადაკვეთის წერტილის აბსცისა, რომელთა განტოლებებია $ax=y^2$ და $2ay=x^2$. შემდეგ არქიმედემ $x^3+r=px^2$ განტოლებამდე დაიყვანა ამოცანა სფეროს სიბრტყით გაყოფისა ისეთ ორ სეგმენტად, რომელთა მოცულობების ფარდობა მოცემულია. მან ამ განტოლების ფესვი ააგო როგორც გარკვეული პარაბოლისა და ჰიპერბოლის გადაკვეთის წერტილის აბსცისა და ჩაატარა ამოცანის დაწვრილებითი ანალიზი.

არქიმედეს პრობლემით არაბეთის ქვეყნების მათემატიკოსები ჯერ კიდევ IX ს. დაინტერესდნენ. მალე დაიწყეს სხვა საკითხების, კერძოდ კი, გეომეტრიის იმ საკითხების შესწავლაც, რომლებიც დაიყვანება მესამე ხარისხის განტოლებამდე. ასეთ განტოლებებს უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ასტრონომიისათვისაც, სახელდობრ, ასტრონომებისათვის უაღრესად საჭირო ტრიგონომეტრიული ცხრილების გამოსათვლელად. საქმე ისაა, რომ სინუს 1° გამოთვლა შეიძლება დავიყვანოთ $x^3+r=qx$ სახის განტოლების ამოხსნამდე. მეცნიერებმა შექმნეს სხვადასხვა ხერხები მესამე ხარისხის განტოლებათა ფესვების მიახლოებით ამოსახსნელად. ამასთან ერთად აუცილებელი გახდა უფრო ზოგადი თეორიის შექმნაც.

თავისი დროისათვის ყველაზე სრულყოფილი თეორია შექმნა ომარ ხაიამმა. მან ფართოდ გამოიყენა ძველი ბერძნების გეომეტრიული მეთოდი, განიხილა ყველა სახის კუბური განტოლება, რომლებსაც შეიძლება ჰქონდეთ დადებითი ფესვები. ასეთი განტოლება სულ 14 აღმოჩნდა: ერთი ორწევრა, ექვსი სამწევრა და შვიდი ოთხწევრა. ყოველი სახის განტოლებისათვის მას მოჰყავს შესაბამისი აგება. მაგალითად, პირველი სამწევრა $x^3+qx=r$



ომარ ხაიამი.

განტოლების ფესვი გამოისახება იმ წრეწირისა და პარაბოლის გადაკვეთის წერტილის აბსცისით, რომელთა განტოლებებია შესაბამისად $x^2+y^2=\frac{r}{q}x$ და $x^2=\sqrt{qy}$. ომარ ხაიამმა გააანალიზა ეს აგება და გამოარკვია, რა პირობებში აქვს მოცემული სახის განტოლებას ერთი ან ორი დადებითი ფესვი. მაგალითად, $x^3+qx=r$ განტოლებას კოეფიციენტების ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის ერთადერთი დადებითი ფესვი აქვს. ეს ნათლად ჩანს ნახაზიდანაც. ზოგჯერ ხაიამი მიუთითებს საზღვრებს, რომლებშიც მოთავსებულია ამა თუ იმ სახის განტოლების ფესვი. ომარ ხაიამი მაგალითებზე გვიჩვენებს, როგორ უნდა გამოვიყენოთ ზოგადი თეორია იმ განტოლებათა გამოსაკვლევად, რომელთა რიცხვითი კოეფიციენტები მოცემულია.

ხაიამის გამოკვლევებსაც აქვს თავისი ნაკლოვანებები. მაგალითად: მან ვერ შენიშნა, რომ x^3+

$+qx=px^2+r$ განტოლებას ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება ჰქონდეს სამი დადებითი ფესვი. მაგრამ მარტო ნახაზის მიხედვით ამის აღმოჩენა ძნელია.

ისევე, როგორც შუა საუკუნეთა სხვა აღმოსავლელი მათემატიკოსები, ომარ ხაიამიც ცდილობდა კუბური განტოლებების ფესვები, კვადრატული განტოლებების მსგავსად, რადიკალების დახმარებით ამოეხსნა. მაგრამ წარმატებას ვერ მიაღწია. მხოლოდ XVI ს. შეძლეს იტალიელმა მეცნიერებმა კუბური რადიკალების დახმარებით კუბურ განტოლებათა ფესვის გამოსახვა. მაგრამ ხაიამი უკვე დარწმუნდა, რომ საზოგადოდ კვადრატული რადიკალების დახმარებით ამის გაკეთება შეუძლებელია.

კუბურ განტოლებათა გეომეტრიული თეორია შემდგომ განვითარდა აღმოსავლეთშიც და ევროპაშიც, კერძოდ, დეკარტეს შრომებში. XVI—XVII სს. გამოკვლევის გეომეტრიული ხერხები უფრო სრულყოფილმა ალგებრულმა ხერხებმა შეცვალა და მაინც ზოგჯერ განტოლებათა ფესვების (არა მარტო კუბურის) გეომეტრიულ აგებას დღესაც იყენებენ, რათა მიახლოებით განსაზღვრონ მათი მნიშვნელობა ან წარმოდგენა იქონიონ დადებითი და უარყოფითი ფესვების რიცხვზე და ა. შ.

ომარ ხაიამი ალგებრულ ტრაქტატში იხსენიებს აგრეთვე თავის შრომას არითმეტიკის შესახებ, რომელშიც მან მოგვცა რიცხვებიდან ნებისმიერი მთელი დადებითი ხარისხის ფესვის ამოღების ხერხი. ადრე ცნობილი იყო კვადრატული და კუბური ფესვების ამოღების ხერხები. ეს შრომა დღემდე არ არის აღმოჩენილი. როგორც ჩანს, ომარ ხაიამმა მასში გამოიყვანა ე. წ. ნიუტონის ბინომის ფორმულა მთელი დადებითი მაჩვენებლისათვის. ფორმულა პირველად გვხვდება შუა აზიის მეორე შესანიშნავი მათემატიკოსის ნასირედინ ტუსი მუჰამედის მიერ 1265 წ. დაწერილ სახელმძღვანელოში.

ბერძნების მსგავსად, აღმოსავლელ მათემატიკოსებს არავითარი ალგებრული აღნიშვნები არ ჰქონდათ და ყველა განტოლებასა და გარდაქმნებს სიტყვებით წერდნენ. ეს ძალიან ართულებდა და აჭიანურებდა როგორც გამოკვლევას, ასევე მსჯელობას. ეკონომიურ და მოხდენილ ალგებრულ სიმბოლოებს შეჩვეული თანამედროვე ადამიანისათვის უაღრესად ძნელია ძველი ალგებრული ტრაქტატების კითხვა.

ხაიამმა დაწერა აგრეთვე კომენტარები ევკლიდეს „საწყისებისათვის“, სადაც განხილულია ფარდობათა და პროპორციების თეორიის საკითხები, აგრეთვე მოძღვრება პარალელურობის შესახებ. აქაც მას გამოთქმული აქვს მთელი რიგი საინტერესო მოსაზრებებისა, რომლებმაც გავლენა იქონიეს მათემატიკის შემდგომ განვითარებაზე.

ფრანსუა ვიეტი

შორს წაგვიყვანდა ყველა იმ მათემატიკოსის ჩამოთვლა, ვინც თანამედროვე „სასკოლო“ მათემატიკა შექმნა. მაგრამ ორ მათემატიკოსს—ძველი საბერძნეთის გეომეტრს ევკლიდესა და „თანამედროვე ალგებრის მამამთავარს“ ფრანსუა ვიეტს—განსაკუთრებით დიდი დამსახურება მიუძღვით ამ საქმეში.

ფრანსუა ვიეტი დაიბადა 1540 წ. საფრანგეთის პატარა ქალაქ ფონტენეიში. პროფესიით ადვოკატს, შესანიშნავი, მრავალმხრივი განათლება ჰქონდა მიღებული. იცოდა ძველი ენები, ასტრონომია. მაგრამ მისი ნამდვილი მოწოდება მათემატიკა იყო. ზოგჯერ მათემატიკური ამოცანის ამოხსნა ისე გაიტაცებდა, რომ სამი დღე და ღამე აღარც სმა-ჭამა ახსოვდა და აღარც ძილი. თავის უნარსა და განათლებას ვიეტი იყენებდა არა მარტო ალგებრისა და გეომეტრიის ურთულეს ამოცანათა ამოსახსნელად; ცნობილია, მაგალითად, რომ მას ძალიან უყვარდა დაშიფრული წერილების ამოხსნაც. საფრანგეთ-ესპანეთის ომის დროს ესპანელთა მთელ საიდუმლო მიმოწერას თავისუფლად კითხულობდნენ ფრანგები, რადგან როგორც არ უნდა გაერთულებიათ შიფრი მოწინააღმდეგის მშიფრავებს, ვიეტი ყოველთვის ახერხებდა მის ამოხსნას. ესპანელებს ვერ წარმოედგინათ, რომ ადამიანის გონებას ყველაფერი ძალუძს და დაასკვნეს -— ფრანგებს თვით ეშმაკი ეხმარებაო. მათ რომის პაპსაც კი შესჩივლეს და სთხოვეს, მოესპო ეს „ეშმაკის“ ძალა.



ფრანსუა ვიეტი.

ვიეტმა დაამუშავა და თანმიმდევრულად გამოიყენა ალგებრაში ასოითი აღრიცხვა. სწორედ ამ მნიშვნელოვანი აღმოჩენისათვის უწოდებენ ვიეტს თანამედროვე ალგებრის შემქმნელს. ნათელი წარმოდგენა რომ ვიქონიოთ, რა არის ვიეტის ასოითი აღრიცხვის არსი და რატომ აქვს მას ასეთი დიდი მნიშვნელობა თანამედროვე ალგებრისათვის, ვნახოთ როგორი იყო ალგებრა ვიეტამდე. ადრე ყველა მოქმედება და ნიშანი სიტყვებით იწერებოდა, არ არსებობდა ის მოხერხებული, თითქმის ავტომატური წესები, რომელიც ახლა ყოველმა მოსწავლემ იცის. შეუძლებელი იყო აგრეთვე განტოლებებისა და სხვა ალგებრულ გამოსახულებათა ჩაწერა და, მაშასადამე, მათი ზოგადად შესწავლა. საჭირო იყო იმის დამტკიცება, რომ არსებობს საერთო მოქმედებები რიცხვებზე, რომლებიც ამ რიცხვებისაგან დამოკიდებულნი არ არიან. ვიეტმა და მისმა მიმდევრებმა დაადგინეს, რომ მნიშვნელობა არა აქვს, რას გამოსახავს განსახილველი რიცხვი — საგანთა რაოდენობას, თუ მართობის სიგრძეს. მთავარი ისაა, რომ ჩვენ ამ რიცხვებით შეგვიძლია შევასრულოთ ალგებრული მოქმედებანი და შედეგად მივიღოთ ასეთივე სახის რიცხვები. არც იმას აქვს მნიშვნელობა, ცნობილია თუ არა რიცხვი. და თუ ჩვენთვის ყოველი განსახილველი რიცხვის ციფრებით ჩაწერას ან გეომეტრიულ განმარტებას არავითარი მნიშვნელობა არა აქვს, მაშინ ყველა რიცხვი ერთგვაროვანია და შეგვიძლია ისინი აღვნიშნოთ რაიმე ზოგადი ნიშნებით, მაგალითად, ლათინური ალფაბეტის ასოებით.

ვიეტმა არა მარტო შემოიღო ასოითი აღრიცხვა, არამედ აღმოაჩინა პრინციპულად ახალი რამ — მან მიზნად დაისახა შეესწავლა არა რიცხვები, არამედ მოქმედება რიცხვებზე. ეს უაღრესად საინტერესო მიგნება იყო, რომელმაც უმალვე გამოიღო ნაყოფი. მაგალითად, ამის შემდეგ მალე დამტკიცდა გამრავლების ზოგადი კანონი: მონაკვეთთა გამრავლება რიცხვთა გამრავლებაა. ახლა შესაძლებელი გახდა ალგებრულ გამოსახულებათა ფორმულების სახით ჩაწერა.

მაგრამ ვიეტის ალგებრული ნიშნები, ანუ, როგორც ახლა უწოდებენ, ალგებრული სიმბოლოები, სრულიად არ ჰგავდა ჩვენსას. შეადარეთ კუბური განტოლების თანამედროვე ჩანაწერი

$$x^3 + 3bx = d$$

და იმავე განტოლების ვიეტისეული ჩანაწერი: A cubus $+ B$ planum in A 3 aequatur D solido. როგორც ხედავთ, აქ ჯერ კიდევ ბევრია სიტყვები, მაგრამ აშკარაა, რომ ეს სიტყვები უკვე ჩვენი სიმ-

ბოლოების როლს ასრულებენ. მაგალითად, ლათინური სიტყვა cuhus A უცნობის შემდეგ (უცნობი აღინიშნებოდა ხმოვანი ასოთი) აღნიშნავს ჩვენს გამოთქმას — „კუბში“. სიტყვა aequatur (ქართულად „ტოლი“) ნიშნავს ჩვენი ტოლობის ნიშანს „=“. B და A რიცხვების გამრავლება აღნიშნულია in წინდებულით (მხოლოდ ესღა დარჩა გამოთქმიდან „ავიღოთ ამდენჯერ მეტი“). დანარჩენი სიტყვები წარსულის ნაშთებია, რომლებიც მოწმობენ, რომ ვიეტის ალგებრაც არ იყო სავსებით თავისუფალი მისთვის უცხო, გეომეტრიული გავლენისაგან.

ჩაწერის ასეთი ასოითი ხერხის დახმარებით ვიეტმა ალგებრულ განტოლებათა საერთო თვისებების შესწავლის დროს მრავალი საინტერესო რამ აღმოაჩინა. ახლა ყველასათვის ცნობილი ვიეტის თეორემა — განტოლების კოეფიციენტები მისივე ფესვებით გამოისახება — ვიეტს თავის ყველაზე დიდ მიღწევად მიაჩნდა, თუმცა ფესვებში იგი გულისხმობდა მხოლოდ დადებით რიცხვებს; უარყოფით რიცხვებს ფესვებად არ მიიჩნევდა და ვერ წარმოედგინა კომპლექსური რიცხვების არსებობა. ტრიგონომეტრიული ფუნქციების ვრცელი ცხრილის შედგენისას ვიეტმა დიდი ხელოვნებით გამოიყენა ათწილადები. ვიეტს უნდოდა ასტრონომია უფრო ზუსტ მეცნიერებად გადაექცია და სწორედ ამით აიხსნება მისი განსაკუთრებული ინტერესი ტრიგონომეტრიისადმი. ვიეტმა ტრიგონომეტრიაშიც მიაღწია თვალსაჩინო შედეგებს. მაგალითად, ჯერადი რკალების სინუსისა და კოსინუსის გამოსახვას $\sin x$ და $\cos x$-ით ის ახერხებს იმ ფორმულების საშუალებით, რომლებსაც ახლა ჩავწერდით შემდეგი სახით:

$$\sin mx = 2\cos x \sin (m-1)x - \sin (m-2)x,$$

$$\cos mx = 2\cos x \cos (m-1)x - \cos (m-2)x.$$

ტრიგონომეტრიის ამ ცოდნას ვიეტი წარმატებით იყენებდა როგორც ალგებრაში, ასევე ტრიგონომეტრიაში.

ვიეტმა გამოიყენა წარმოდგენა წრეწირზე, როგორც მასში ჩახაზული მრავალკუთხედების ზღვარზე, როდესაც ამ მრავალკუთხედების გვერდების რიცხვი უსასრულოდ იზრდება, და გამოთვალა π რიცხვი მე-18 ნიშნამდე მძიმის შემდეგ.

ალგებრულ ამოცანათა ამოხსნის დროს ვიეტმა ჩინებულად გამოიყენა გეომეტრია და ტრიგონომეტრია და ბრწყინვალე გამარჯვება მოიპოვა იმ დროის საუკეთესო მათემატიკოსთა ტურნირში. საქმე ასე იყო: ერთხელ ჰოლანდიელმა მათემატიკოსმა ადრიან ვან-როუმენმა მთელი მსოფლიოს მათემატიკოსებს 45-ე ხარისხის რიცხვითი განტოლების ამოხსნა შესთავაზა. ფრანგი მათემატიკოსებისთვის მას არ მიუმართავს, რითაც თითქოს თქვა — საფრანგეთს არა ჰყავს მათემატიკოსები, რომლებიც ამ ამოცანის ამოხსნას შეძლებენო. როდესაც ეს ამბავი შეიტყო საფრანგეთის მეფემ ჰენრიხ IV, რომელთანაც მაშინ ვიეტი მსახურობდა, წამოიძახა: „მე მყავს ასეთი მათემატიკოსი, და უაღრესად გამოჩენილი. ვიეტს მიხმეთ“. მართლაც, ვიეტმა იქვე, მეფის თანდასწრებით იპოვა მოცემული განტოლების ერთი ფესვი, ხოლო მეორე დღეს 22 დადებითი ფესვი. ასეთი წარმატების შემდეგ ვან-როუმენი ვიეტის უდიდესი თაყვანისმცემელი გახდა.

ვიეტმა თავი ისახელა აგრეთვე წმინდა გეომეტრიაში. მან სახაზავისა და ფარგლის დახმარებით ამოხსნა ძველი ბერძენი გეომეტრის აპოლონიუს პერგელის მიერ ჩამოყალიბებული ცნობილი ამოცანა. ამ ამოცანის პირობის თანახმად, უნდა აიგოს წრეწირი, რომელიც სამი მოცემული წრეწირის მხები იქნება. ვიეტს თავი მოსწონდა იმით, რომ იპოვა ამოცანის ამოხსნა და თავის თავს უწოდებდა „აპოლონიუს გალიელს“ (ძველად საფრანგეთს გალია ერქვა).

სიცოცხლის ბოლო წლებში ვიეტი საპატიო თანამდებობებზე მუშაობდა საფრანგეთის მეფის კარზე. იგი გარდაიცვალა 1603 წ. პარიზში.

დღეს მათემატიკა არნახული ტემპებით ვითარდება და, რა თქმა უნდა, ვიეტის მიერ დამუშავებულ იდეებსა და მეთოდებზე გაცილებით ღრმა და ზოგად იდეებსა და მეთოდებს იყენებს. მაგრამ ვიეტის მახვილგონივრულ მათემატიკურ ნააზრევს დღესაც არ დაუკარგავს მნიშვნელობა. ვიეტმა მათემატიკას გადაუშალა ალგებრის ახალი და მდიდარი სამყარო. მუდამ უნდა გვახსოვდეს ისიც, რომ თანამედროვე ალგებრის საფუძველს შეადგენს ფრანსუა ვიეტის ასოითი აღრიცხვა.

რენე დეკარტ

ცნობილი ფილოსოფოსი და მათემატიკოსი რენე დეკარტე ცხოვრობდა და მოღვაწეობდა XVII საუკუნეში. ეს ის დრო იყო, როდესაც ევროპელი ფილოსოფოსები და მეცნიერები ეკლესიის ბრჭყალებიდან მეცნიერების განთავისუფლებისათვის იბრძოდნენ. ახალი მეცნიერება უარყოფდა ყოველგვარ ავტორიტეტებს და ამტკიცებდა, ადამიანის გონება და გამოცდილება ერთადერთი მეგზური უნდა იყოს ჭეშმარიტებათა ძიების გზაზეო.

დეკარტეს მიაჩნდა, რომ მეცნიერულ ჭეშმარიტებათა გამოსახატავად ყველაზე ზუსტი და ნათელი ენა მათემატიკის ენაა. იგი მათემატიკურ კანონებს ეძებდა ფილოსოფიაშიც, მეცნიერებაშიც, ცდილობდა ყოველი საკითხი და ყოველი ამოცანა მათემატიკურ ამოცანამდე დაეყვანა. დეკარტეს უნდოდა შეექმნა ისეთი უნივერსალური მათემატიკური მეთოდი, რომლის დახმარებითაც ყოველი ადამიანი შეძლებდა ნებისმიერი ამოცანის ამოხსნას.

რენე დეკარტე დაიბადა 1596 წ. საფრანგეთის ქალაქ ლაეში. ლოგიკური მსჯელობებისადმი სიყვარულისათვის რენეს ჯერ კიდევ ბავშვობაში შეარქვეს „პატარა ფილოსოფოსი“. ავადმყოფობის გამო მას სკოლა-ინტერნატში ლოგინში მეცადინეობის უფლება მისცეს. რენე ძალიან იოლად და სწრაფად ასრულებდა საშინაო დავალებებს, ხოლო თავისუფალ დროს გატაცებით სწავლობდა საყვარელ საგანს — მათემატიკას. არაჩვეულებრივად დიდი გონებრივი ენერგია დეკარტეს მთელი სიცოცხლის მანძილზე შემორჩა. სკოლის დამთავრების შემდეგ ჭაბუკი სამი წელი სწავლობდა ქ. პუატიეს უნივერსიტეტში და იურისტი გახდა.

ახალგაზრდა დეკარტე ერთნაირი გატაცებით ეწაფება მეცნიერულ საქმიანობას და ფრანგი კავალერის მოუსვენარ ცხოვრებასაც. ზოგჯერ საქმე პარიზის ქუჩებში ღამის დუელამდეც კი მიდიოდა. ეს იყო მუშკეტერების წარმტაცი ხანა, რომელსაც ჩვენ კარგად ვიცნობთ ა. დიუმას ცნობილი რომანების მიხედვით.

როდესაც ნიდერლანდები შეიარაღდა, რათა ესპანელთა უღლისაგან განთავისუფლებულიყო, დეკარტე ესპანეთის წინააღმდეგ მებრძოლთა არმიაში მოხალისე მუშკეტერად ჩაეწერა. მაგრამ მას ბრძოლებში მონაწილეობის მიღება აღარ მოუხდა. საერთოდ კი, როდესაც მოხალისე მუშკეტერთა არმია ნიდერლანდების ქალაქ ბრედში იდგა, დეკარტეს ომზე მეტად მეცნიერება აინტერესებდა. ახალგაზრდა ოფიცრები აქ თავს იმით ირთობდნენ, რომ ქალაქის კედლებზე ურთულეს, თავსატეხ ამოცანებს წერდნენ და გამვლელ-გამომვლელებს იწვევდნენ მათ ამოსახსნელად. დეკარტე ხალისით მონაწილეობდა ასეთ გართობებში და მალე გაეცნო ადგილობრივ მეცნიერებს.

დეკარტე ბევრს ფიქრობდა ფილოსოფიისა და მათემატიკის საკითხებზე, დაჟინებით ეძებდა უნივერსალურ მეთოდს, ცდილობდა შეექმნა მისი ზუსტი და ზოგადი წესები. იგი წერს: „როდესაც ახალგაზრდობაში ვინმე გონებამახვილი ავტორის ოსტატურ დასკვნებს ვისმენდი, ვცდილობდი დამოუკიდებლად, მისი ნაშრომის წაუკითხავად აღმედგინა ეს დასკვნები. თანდათან შევნიშნე, რომ ამ დროს გარკვეულ წესს ვიყენებდი“.

დეკარტემ ღრმად შეისწავლა შემოქმედების ფსიქოლოგია და შეადგინა „გონების სახელმძღვანელო წესები“. აქ იგი წერდა: ყოველი პრობლემის გასაანალიზებლად ძნელი პრობლემები უფრო იოლ პრობლემებად უნდა დაიყოს, ვიდრე არ შეიქმნება მათი იოლად ამოხსნის შესაძლებლობაო. და აი, ერთხელ, შთაგონების წუთებში მეცნიერს მოეჩვენა, რომ აღმოაჩინა უნივერსალური მეთოდი; ეს იყო კოორდინატთა მეთოდი, რომელიც ანალიზური გეომეტრიის საფუძველს წარმოადგენს. დეკარტეზე მისმა აღმოჩენამ უდიდესი შთაბეჭდილება მოახდინა და გადაწყვიტა ამიერიდან სულ სხვაგვარად ეცხოვრა; არმია მიატოვა და ჰოლანდიისა და საფრანგეთის მივარდნილ სოფლებში იმალებოდა. მისი მისამართი მხოლოდ უახლოესმა მეგობრებმა იცოდნენ.

დეკარტემ გააერთიანა და განაზოგადა მისთვის ცნობილი კოორდინატებისა და ასოითი ალგებრის მეთოდები და თავისი მეთოდი ზუსტი და ნათელი მათემატიკური ფორმით ჩამოაყალიბა. დეკარტეს მეთოდის არსი მდგომარეობს გეომეტრიულ ობიექტებსა და ალგებრულ ფორმულებს შორის უმჭიდროესი კავშირის დამყარებაში. ეს კავშირი კოორდინატთა სისტემის მეშვეობით ხორციელდება. თუ



რენე დეკარტე.

სიბრტყეზე მოცემულია კოორდინატთა სისტემა, მაშინ ყოველი წერტილისათვის შეგვიძლია მოვძებნოთ რიცხვთა წყვილი, აგრეთვე კოორდინატები და პირიქით, თუ მოცემულია რიცხვთა წყვილი, ამასთან მითითებულია მათი შესაბამისობის წესი კოორდინატთა ღერძის მიმართ, ყოველთვის შეიძლება სიბრტყეზე ავაგოთ ერთადერთი წერტილი. დეკარტემ გამოიყენა კოორდინატთა მეთოდი მხოლოდ სიბრტყეზე (იხ. სტატია „რა არის და რას ემსახურება კოორდინატები“).

წერტილებსა და რიცხვებს შორის კავშირის დამყარების დეკარტეს მეთოდი იმდენად ნაყოფიერი აღმოჩნდა, რომ მან არსებითად საფუძველი ჩაუყარა მთელ თანამედროვე მათემატიკას. უდიდესი მათემატიკოსი და მექანიკოსი პ. ლაპლასი წერდა, რომ დღე, როდესაც დეკარტემ დაადგინა თავისი მეთოდი, შეიძლება ჩაითვალოს თანამედროვე მათემატიკის დაბადების ოფიციალურ დღედ (ისტორიამ შემოგვინახა ეს თარიღი — 1619 წლის 10 ნოემბერი).

მართლაც, გეომეტრიულ წერტილებზე ასეთი ანალიზური წარმოდგენის მეოხებით შეიძლება შევუდგეთ მრავალგანზომილებიანი, აგრეთვე უსასრულოგანზომილებიანი სივრცეების მოვლენათა შესწავლას; შეიძლება შევისწავლოთ ისეთი უაღრესად საინტერესო სივრცეთა მოვლენები, როგორიცაა ლობაჩევსკისა და აინშტაინის სივრცეები. ანალიზური გეომეტრიის საფუძველზე აღმოცენდა და განვითარდა სამყაროს შეცნობის ისეთი მძლავრი საშუალება, როგორიცაა მათემატიკური ანალიზი.

დეკარტემ ბევრი რამ გააკეთა იმისათვის, რომ ალგებრული სიმბოლიკა მაქსიმალურად სადა და ზოგადი ყოფილიყო. მის მიერ შემოთავაზებული ნიშნები დღემდე შემორჩა. მას კარგად ესმოდა, რომ მათემატიკური მეთოდის ძალა მდგომარეობს არა მარტო მის ზოგადობაში, არამედ, აგრეთვე, მის ლოგიკურ დასაბუთებულობაში. ამიტომ იკვლევდა მათემატიკის ძირითად ცნებას — რიცხვს. ისტორიკოსების აზრით, დეკარტემ საფუძველი ჩაუყარა თანამედროვე შეხედულებებს რიცხვზე. მან მათემატიკაში დადებითი და რაციონალური რიცხვების გარდა, როგორც სავსებით კანონიერი წევრები, შემოიყვანა აგრეთვე უარყოფითი და ირაციონალური რიცხვებიც.

ამოცანათა ამოხსნის თავისი ანალიზური მეთოდის გამოყენებას დეკარტე ასე აგვიწერს: „ამრიგად, რაიმე ამოცანის ამოსახსნელად თავდაპირველად იგი ამოხსნილად უნდა მივიჩნიოთ და ყველა ცნობილი და უცნობი სიდიდე ასოებით აღვნიშნოთ. შემდეგ განსხვავებულად არ უნდა მივიჩნიოთ ცნობილი და საძიებელი სიდიდეები და შევნიშნოთ მათ შორის დამოკიდებულება ისე, რომ მივიღოთ ერთი და იგივე სიდიდის ორი გამოსახულება; ეს მიგვიყვანს განტოლებამდე, რომლის დახმარებითაც შეიძლება ამოცანის ამოხსნა, რადგან ერთი გამოსახულება შეიძლება გავუტოლოთ მეორეს“. კოორდინატთა სისტემის საშუალებით x და y ცვლადების შემცველ ყოველ ალგებრულ განტოლებას შეგვიძლია შევუსაბამოთ წირი, რომლის წერტილების კოორდინატები დააკმაყოფილებენ მოცემულ განტოლებას. ამრიგად, თუ გეომეტრიულ ენას ალგებრული ენით შევცვლით და, პირიქით, შეიძლება ვისარგებლოთ ორივე ხერხის უპირატესობით და მრავალ სიძნელეს გვერდი ავუაროთ. დე-

კარტეს აზრით, ყოველი მათემატიკური ამოცანა შეიძლება დავიყვანოთ ალგებრულ განტოლებამდე. აქ იგი ცდებოდა. მათემატიკის შემდგომმა განვითარებამ ცხადყო, რომ არანაკლებ მნიშვნელოვანი და საინტერესოა სხვა მეთოდები და თეორიებიც. მაგრამ ალგებრულ მრუდთა შესწავლა, რომელსაც საფუძველი დეკარტემ ჩაუყარა, დღეს უაღრესად სწრაფი ტემპით ვითარდება და თანამედროვე მათემატიკის უაღრესად საინტერესო დარგს წარმოადგენს.

დეკარტე ბევრს ფიქრობდა ალგებრულ განტოლებათა ზოგად თეორიაზე. როგორც ყოველთვის, აქაც ეძებდა ზოგად მეთოდს ნებისმიერი ალგებრული განტოლების ამოსახსნელად. დეკარტე იმედოვნებდა, რომ ასეთ ზოგად ხერხად შეიძლებოდა აგვეღო განუსაზღვრელი კოეფიციენტების მეთოდით განტოლების უფრო დაბალი ხარისხის მამრავლების ნამრავლად დაშლის მის მიერ დამუშავებული ხერხი. მან შეძლო ზოგადი სახით მოეცა მეოთხე ხარისხის განტოლების ამოხსნის ხერხი.

მაგრამ XIX ს. დადასტურდა, რომ ვერც განუსაზღვრელი კოეფიციენტის მეთოდი და, საზოგადოდ, ვერავითარი სხვა მეთოდი ვერ დაგვეხმარება მეხუთე ან მეექვსე ხარისხის ზოგადი ალგებრული განტოლების ამოხსნაში, რადგან ასეთი ამოცანების ამოხსნა რადიკალებში, საზოგადოდ, შეუძლებელია. ალგებრულ განტოლებათა გამოკვლევისას დეკარტემ აღმოაჩინა თეორემა, რომელსაც ახლა სკოლაში ბეზუს თეორემის სახელწოდებით ასწავლიან. მანვე აღმოაჩინა ნებისმიერი ალგებრული განტოლების დადებითი და უარყოფითი ფესვების რიცხვთა გამოთვლის მარტივი ხერხი. ესაა ე. წ. დეკარტეს ნიშანთა წესი, რომელსაც შეიძლება გაეცნოთ უმაღლესი ალგებრის ნებისმიერ სახელმძღვანელოში.

დეკარტე თანმიმდევრულად იცავდა თავის აზრს იმის შესახებ, რომ აუცილებელია ყველაფერში ვეძებოთ ფიზიკური და მათემატიკური კანონზომიერებანი, და ცხოველებსაც ისევე განიხილავდა, როგორც ფიზიკისა და მათემატიკის მოვლენებს. ცხოველების შემსწავლელი მეცნიერება მაშინ განვითარების დაბალ დონეზე იდგა და ამის გამო დეკარტემ ვერ შეძლო ამ დარგში მნიშვნელოვანი აღმოჩენა მოეხდინა. მაგრამ მის მიერ გამოთქმული საინტერესო მოსაზრებანი თანამედროვე დიდი მეცნიერების — კიბერნეტიკის საფუძველს შეადგენს.

მოძღვრება, რომელიც უარყოფდა ღმერთის მონაწილეობას ადამიანთა და ბუნების ცხოვრებაში, ბუნებრივია, ეკლესიის მსახურებისა და მის თანამგრძნობთა რისხვას იწვევდა. რაც უფრო ფართოდ ვრცელდებოდა დეკარტეს მოძღვრება, მით უფრო მძიმე და აუტანელი ხდებოდა მისი ცხოვრება ნიდერლანდებში. სასამართლოს დევნისაგან თავის დასაღწევად დეკარტემ ისარგებლა შვეციის დედოფლის ქრისტინას მიწვევით. დედოფალს სურდა მეცნიერება თვით დეკარტეს ხელმძღვანელობით შეესწავლა, ამას გარდა, იგი შვეციის აკადემიის ჩამოყალიბებასთან დაკავშირებით რჩევას ეკითხებოდა მეცნიერს, მაგრამ დეკარტემ შვეციის მკაცრი ჰავა ვერ აიტანა, გაცივდა და 1650 წ. 9 თებერვალს გარდაიცვალა. ჩვიდმეტი წლის შემდეგ მისი ნეშტი სამშობლოში, საფრანგეთში, გადაასვენეს.

თანამედროვე მათემატიკა ამტკიცებს, რომ ყველა ამოცანის ამოსახსნელი უნივერსალური მეთოდი, რომელზეც დეკარტე ოცნებობდა, არ არის და არც შეიძლება იყოს. მაგრამ ზედმეტი ფილოსოფიური მინარევებისაგან გაწმენდილი დეკარტეს მათემატიკური იდეები დღესაც წარმოადგენს სამყაროსა და ადამიანური აზროვნების საიდუმლოებათა ამოცნობის მძლავრ საშუალებას.

პიერ ფერმა

ჩვენ ძალიან ცოტა რამ ვიცით ამ ერთერთი დიდი მათემატიკოსის ცხოვრების შესახებ. ცნობილია, რომ იგი დაიბადა 1601 წელს სამხრეთ საფრანგეთში ტყავით მოვაჭრის ოჯახში, სწავლობდა იურიდიულ მეცნიერებას და იყო ტულუზის პარლამენტის (სასამართლოს) მრჩეველი. ფერმა მხოლოდ სამუშაოდან თავისუფალ დროს ახერხებდა მათემატიკის საკითხებზე მუშაობას.



პიერ ფერმა.

მიუხედავად ამისა, მისმა გენიამ, მისმა იდეებმა უდიდესი კვალი დააჩნიეს რიცხვთა თეორიის, გეომეტრიისა და მათემატიკური ანალიზის განვითარებას.

ფერმამ მთელი სიცოცხლე ტულუზში და მის მიდამოებში გაატარა, იგი პარიზშიც კი არ ყოფილა.

მაშინ არ არსებობდა არც მეცნიერებათა აკადემია, არც სამეცნიერო ჟურნალები და ქვეყნის სხვადასხვა კუთხეში მიმოფანტული თითო-ოროლა მეცნიერების მოყვარული ან უშუალოდ ერთმანეთთან აწარმოებდა მიწერ-მოწერას, ან წერილებს პარიზში აგზავნიდა ვინმე ენთუზიასტთან, რომელიც ამ წერილებს გადაწერდა და მერე სხვა მეცნიერებს გაუგზავნიდა. თავის უაღრესად საინტერესო იდეებსა და აზრებს ფერმა წერილებში უზიარებდა მეგობრებს: რ. დეკარტეს, ჟ. რობერვალს, ბ. პასკალს, ჟ. დეზარგს და სხვ. ისინი ერთსულოვნად აღიარებდნენ ფერმას ევროპის უდიდეს მათემატიკოსად.

ფერმას სიცოცხლეში მეცნიერის თხზულებათა მცირე ნაწილი გამოქვეყნდა და ისიც მხოლოდ მეგობართა დაჟინებული მოთხოვნით. ფერმას თხზულებათა კრებული მხოლოდ მისი სიკვდილის შემდეგ გამოვიდა. იგი გარდაიცვალა 1665 წ.

ფერმამ დაადგინა გეომეტრიული ოპტიკის ძირითადი პრინციპი. ამ პრინციპის თანახმად სინათლე ერთი წერტილიდან მეორეში ისეთი გზით ვრცელდება, რომლის გასავლელად საჭიროა მინიმალური დრო. ფერმას ამ პრინციპიდან გამომდინარეობს სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები.

ფერმა შესანიშნავად იცნობდა ანტიკურ კულტურას, წერდა ლექსებს ბერძნულად და ლათინურად. ისევე როგორც პასკალი, ფერმა ითვლება ფრანგული სალიტერატურო ენის ერთ-ერთ ფუძემდებლად. მისი წერილები დაწერილია უაღრესად დახვეწილი და ლამაზი სტილით. მეცნიერებთან მწვავე პოლემიკის დროს, როდესაც რომელიმე მათგანი ფერმას მსჯელობას ვერ გაიგებდა და თავს ესხმოდა მას, ფერმა მუდამ კეთილშობილური სიდარბაისლით და მოთმინებით უხსნიდა მოპაექრეს თავის აზრს.

ფერმას წერილების კითხვისას ჩვენ წარმოგვიდგება ადამიანი, რომელზედაც თამამად შეიძლება გავიმეოროთ ძველი ხანის ერთ-ერთი უდიდესი მათემატიკოსის ევდოქსეს შესახებ არისტოტელეს მიერ წარმოთქმული სიტყვები: „იგი იყო სიდარბაისლის, სიკეთისა და ხასიათის სიმტკიცის განსახიერება“.

ფერმას გენიამ განსაკუთრებული ძალით იჩინა თავი მათემატიკაში. მან დეკარტეზე ადრე და უფრო სრულყოფილი ფორმით ააგო ანალიზური გეომეტრიის სისტემა. აღმოაჩინა მაქსიმუმების, მინიმუმებისა და მხებთა განსაზღვრის ზოგადი მეთოდი, მნიშვნელოვნად განავითარა არქიმედეს მეთოდი და გამოიყენა იგი ფართობების, მოცულობებისა და რკალების სიგრძეთა განსაზღვრავად. მაგრამ ფერმას საყვარელი დარგი, რომელიც ფაქტიურად მან შექმნა, იყო რიცხვთა თეორია. მრავალ სხვადასხვა საკითხსა და ამოცანას შორის მან სწორედ ის საკითხები შეარჩია, რომლებიც XVIII და XIX სს. რიცხვთა ალგებრული თეორიის ძირითად საკითხებად იქცნენ. ფერმას ზოგიერთი მტკიცება მეცნიერთა მომდევნო თაობისათვის კვლავ პრობლემებად დარჩა, ხოლო ნაწილი დღემდეც არ არის ამოხსნილი.

ჩვენ შევჩერდებით ფერმას ოთხ პრობლემაზე.

1. როდესაც რიცხვთა თეორიის საკითხებს იკვლევდა, ფერმამ ყურადღება მიაქცია იმ გარემოებას, რომ არითმეტიკის ყველა საკითხში უდიდეს როლს ასრულებენ მარტივი რიცხვები: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17,.... მან სცადა, ეპოვა ისეთი ფორმულა, რომელიც მოგვცემდა მარტივ რიცხვს, როცა n-ის

ნაცვლად 1, 2, 3, 4... მთელ რიცხვებს ჩავსვამდით. ფერმა ვარაუდობდა, რომ სწორედ ასეთი იქნებოდა გამოსახულება $2^{2^n}+1$. მაგრამ 100 წლის შემდეგ რიცხვთა თეორიის მეორე გენიამ — ეილერმა შენიშნა: მართალია, $n=0, 1, 2, 3, 4$ მნიშვნელობებისათვის ფორმულა მოგვცემს მარტივ რიცხვებს 3, 5, 17, 257, 65837, მაგრამ როცა $n=5$, მაშინ ვღებულობთ რიცხვს 4294967297, რომელიც იყოფა 641-ზე. ახლა $2^{2^n}+1$ სახის რიცხვებს ფერმას რიცხვები ეწოდება. იგი გვხვდება რიცხვთა თეორიის მრავალ გამოკვლევაში. მაგრამ მეცნიერებს დღემდე არ დაუდგენიათ, არის თუ არა ამ რიცხვთა შორის უსასრულოდ ბევრი მარტივი რიცხვი.

2. როდესაც ფერმა ეძებდა იმის კრიტერიუმს, არის თუ არა მოცემული რიცხვი მარტივი, მან აღმოაჩინა შემდეგი შესანიშნავი თეორემა: თუ n მარტივი რიცხვია, ხოლო a მთელი რიცხვი, რომელიც არ იყოფა n-ზე, მაშინ $a^{n-1}-1$ იყოფა n-ზე. მაგალითად, 5^6-1 იყოფა 7-ზე, ხოლო 7^4-1 იყოფა 5-ზე. მაგრამ 2^5-1 არ გაიყოფა 6-ზე, მაშასადამე, 6 არ არის მარტივი რიცხვი. ამ თეორემას ფერმას მცირე თეორემა ეწოდა. იგი პირველად დაამტკიცა ეილერმა. ახლა ცნობილია მისი მრავალი სხვადასხვა დამტკიცება. ხსენებულ თეორემას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს რიცხვთა თეორიისა და ჯგუფთა თეორიის პრობლემების გამოკვლევისათვის.

3. „მცირე“ თეორემაზე უფრო ცნობილი გახდა ფერმას „დიდი“ თეორემა, რომლის თანახმად განტოლებას

$$x^n+y^n=z^n \qquad (1)$$

არა აქვს მთელი ამონახსნები, როცა $n>2$.

შემთხვევა $n=2$ ძველად იყო განხილული; მაშინ დაამტკიცეს აგრეთვე, რომ ასეთ განტოლებას აქვს უსასრულოდ ბევრი ამონახსნი. ეს ამოცანა მოცემულია ალექსადრიელი მეცნიერის დიოფანტეს „არითმეტიკაში“ და სწორედ მის კიდეებზე ჩაწერა ფერმამ თავისი დიდი თეორემა. თან იქვე დაუმატა, რომ იპოვა თეორემის შესანიშნავი დამტკიცება, მაგრამ მისი ჩაწერა არ შეუძლია ადგილის უქონლობის გამო. მას შემდეგ გავიდა 400 წელი, ფერმას დიდი თეორემის ზოგადი დამტკიცება კი დღემდე არ არის მიკვლეული.

საინტერესოა ამ თეორემის ბედი: ერთის მხრივ, მეცნიერები ცდილობდნენ ეპოვათ მისი დამტკიცება, ავითარებდნენ სულ უფრო და უფრო სრულყოფილ მეთოდებს და მათ წინაშე ისახებოდა სულ ახალი და ახალი გამოსაკვლევი პრობლემები. ამჟამად თეორემა დამტკიცებულია ყველა n-სათვის, რომელიც აკმაყოფილებს უტოლობას $n\leqslant 10\,000$.

მეორეს მხრივ, ეს თეორემა ფრიად ცნობილი გახდა არასპეციალისტებს შორის. მათ ხიბლავდათ ფორმულირების სიმარტივე, აგრეთვე ფერმას შენიშვნა: აღმოვაჩინე ამ თეორემის შესანიშნავი დამტკიცებაო. ასობით ადამიანი ხარჯავდა დროსა და ენერგიას ფერმას თეორემის დასამტკიცებლად. ისინი ცდილობდნენ დაემტკიცებინათ თეორემა ელემენტარული საშუალებებით, მაშინ როცა არავითარი წარმოდგენა არა ჰქონდათ არც ამ თეორემის ისტორიაზე და არც თანამედროვე მათემატიკურ თეორიებთან მის კავშირზე. მათემატიკის არც ერთ თეორემას ასე მწარედ არ გაუცრუებია ადამიანების იმედები. ახლა ნათელია, რომ თუ კაცმა უმაღლესი მათემატიკა არ იცის, ამ თეორემის დამტკიცებას ხელი არ უნდა მოჰკიდოს.

4. „დიდი“ თეორემა წარმოადგენს ე. წ. დიოფანტეს ანალიზის ერთ-ერთ ამოცანას. ორ ან მეტ უცნობიან განტოლებას, მაგალითად $x^n+y^n=z^n$ განტოლებას, განუსაზღვრელი განტოლება ეწოდება. დიოფანტეს ანალიზის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა: გავიგოთ, აქვს თუ არა მოცემულ მთელკოეფიციენტებიან განუსაზღვრელ განტოლებას მთელი ამონახსნები, ხოლო თუ აქვს, მათი რიცხვი სასრულია თუ უსასრულო და უკანასკნელ შემთხვევაში შევეცადოთ განვსაზღვროთ ყველა ამონახსნი (მაგალითად, როგორც ეს გაკეთდა ძველად (1) განტოლებისათვის, როცა $n=2$). თვითონ ფერმა იკვლევდა განტოლებას

$$x^2-ay^2=\pm 1. \qquad (2)$$

ევკლიდეს „საწყისებში“ ნათქვამია, როგორ უნდა ვიპოვოთ

$$x^2-2y^2=\pm 1$$

განტოლების უსასრულოდ ბევრი ამონახსნი, როცა გამოვდივართ უმცირესი ამონახსნიდან: $x_0=1$, $y_0=1$. შემდეგი ამონახსნი იქნება: $x_1=x_0+2y_0=3$; $y_1=x_0+y_0=2$. საზოგადოდ, თუ x_n, y_n

არის ამონახსნი, მაშინ მისგან შეიძლება მივიღოთ შემდეგი ამონახსნი ფორმულებით:

$$x_{n+1} = x_n + 2y_n, \quad y_{n+1} = x_n + y_n.$$

ფერმამ გამოიკვლია (2) განტოლება ნებისმიერი მთელი არაკვადრატული a-სთვის. ერთ-ერთ თავის წერილში მან მათემატიკოსების წინაშე დააყენა შემდეგი ამოცანები: 1) ეპოვათ ამ განტოლების უმცირესი ამონახსნის მოძებნის ხერხი; 2) დაედგინათ ფორმულები ყველა დანარჩენი ამონახსნის მოსაძებნად, როცა უმცირესი ამონახსნი უკვე ცნობილია. თვით ფერმამ იცოდა ორივე ამოცანის ამოხსნის მეთოდი. ფერმას უნდოდა გაეგო, ჰქონდათ თუ არა სხვა მათემატიკოსებს მეთოდი და განზრახ შეარჩია a-ს ისეთი მნიშვნელობები, რომლებისათვისაც უმცირესი ამონახსნი ძალიან დიდია და ამიტომ მისი პოვნა უბრალო შერჩევით მეტად ძნელია.

ორივე ამოცანის ამომწურავი ამონახსნი მხოლოდ ლ. ეილერმა და ჟ. ლაგრანჟმა მიიღეს XVIII ს.

ჩვენ განვიხილეთ მხოლოდ ზოგიერთი იმ პრობლემათაგან, რომლებსაც უდიდესი მათემატიკოსი იკვლევდა. მაგრამ ესეც საკმარისია, რათა ვირწმუნოთ მისი გენიოსობა.

ისააკ ნიუტონი

ისააკ ნიუტონმა უდიდესი გავლენა მოახდინა მთელი მსოფლიოს კულტურისა და მეცნიერების განვითარებაზე. ამ მხრივ მას თითქმის არა ჰყავს ბადალი.

ცნობილი მათემატიკოსი და მეცნიერებათა ისტორიკოსი ბ. ვან-დერ-ვარდენი თავის წიგნში „მეცნიერების გარიჟრაჟი“ წერდა: „ყოველი ბუნებისმეტყველი უეჭველად დამეთანხმება, რომ ნიუტონის მექანიკა შეადგენს თანამედროვე ფიზიკის საფუძველს. ყოველმა ასტრონომმა იცის, რომ თანამედროვე ასტრონომია კეპლერიდან და ნიუტონიდან იწყება. ყოველმა მათემატიკოსმა იცის, რომ თანამედროვე მათემატიკის ერთ-ერთი საყურადღებო და ფიზიკისათვის უაღრესად მნიშვნელოვანი დარგია მათემატიკური ანალიზი, რომლის საფუძველს შეადგენს ნიუტონის დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვები. ამრიგად, ჩვენი დროის ზუსტ მეცნიერებათა უდიდესი ნაწილის საფუძველს ნიუტონის შრომები შეადგენს“.

ისააკ ნიუტონი დაიბადა 1643 წ. სოფ. ვულსტორპში ქ. გრენთემის ახლოს. მამამისი ღარიბი ფერმერი იყო. ნიუტონი ცხოვრობდა და მოღვაწეობდა ინგლისის ისტორიის ერთ-ერთ ყველაზე მძიმე და არეულ ხანაში: 1640 — 1648 წლების რევოლუცია და სამოქალაქო ომი, მეფე კარლოს I სიკვდილით დასჯა, კრომველის მმართველობა, სტიუარტების რესტავრაცია, მეორე „უსისხლო“ რევოლუცია, კონსტიტუციური მონარქიის დამყარება — აი, იმ მღელვარე მოვლენების არასრული სია. მაგრამ გარეგნულად ნიუტონის ცხოვრება მშვიდად მიდიოდა. იგი ჯერ სოფლის პირველდაწყებით სკოლაში სწავლობდა, 12 წლისა კი სასწავლებლად უახლოეს ქალაქში გაგზავნეს. სკოლის დირექტორმა ყურადღება მიაქცია ნიჭიერ ყმაწვილს და მისი დაჟინებული თხოვნის შემდეგ დედამ ნიუტონი კემბრიჯის უნივერსიტეტში გააგზავნა. აქ იგი მიიღეს როგორც ღარიბი სტუდენტი, ყოველი ღარიბი სტუდენტი კი მოვალე იყო მომსახურებოდა ბაკალავრებს, მაგისტრებს და უფროსი კურსის სტუდენტებს.

უნივერსიტეტში ნიუტონმა თავიდანვე ფიზიკა და მათემატიკა აირჩია. იგი ეცნობოდა ევკლიდეს, დეკარტეს, ვალისის შრომებს. იმ ხანებში მათემატიკის კათედრას განაგებდა შესანიშნავი ახალგაზრდა მეცნიერი ისააკ ბაროუ. იგი მალე გახდა ნიუტონის მასწავლებელიცა და მეგობარიც, ხოლო რამდენიმე წლის შემდეგ გენიალურ მოწაფეს მათემატიკის კათედრაც დაუთმო. ამ დროისათვის ნიუტონს უკვე მიღებული ჰქონდა ბაკალავრისა და მაგისტრის ხარისხი, მაგრამ ისევ მძიმე მატერიალურ პირობებში ცხოვრობდა. მხოლოდ კათედრის მიღების შემდეგ შეძლო ნიუტონმა მეცხიერული მუშაობის გაგრძელება.

ახალგაზრდა მეცნიერი დიდი მონდომებით მუ-

შაობდა. მის ცხოვრებაში განსაკუთრებით გასაოცარი იყო 1665 — 1667 წლები. ამ დროს ინგლისში შავი ჭირი მძვინვარებდა და ნიუტონი მშობლიურ ვულსტორპში ცხოვრობდა. სწორედ ამ სოფელთანაა დაკავშირებული ახალგაზრდა ნიუტონის ყველა გენიალური აღმოჩენა მათემატიკისა და ფიზიკის დარგში. ჯერ კიდევ მაშინ აღმოაჩინა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი და მისი დახმარებით შეუდგა პლანეტათა მოძრაობის კანონების გამოკვლევას. თუმცა თავისი აღმოჩენა სავსებით დაამტკიცა მხოლოდ 1672 წელს, როდესაც ჩატარდა მერიდიანის გრადუსთა უფრო ზუსტი გაზომვა. მაშინ აღმოაჩინა აგრეთვე სინათლის დისპერსია და შეუდგა სარკიანი ტელესკოპ-რეფლექტორის აგებას. ამ ტელესკოპში პირველად მიიღეს საგნის მკაფიო გამოსახულება ფერადი გვირგვინის გარეშე (ძველ ტელესკოპებში საგნის გამოსახულებას თან ახლდა ე. წ. ფერადი გვირგვინი).

ამავე დროს ნიუტონი მუშაობდა ისეთი მათემატიკური აპარატის შექმნაზე, რომლის დახმარებით შესაძლებელი იქნებოდა ფიზიკის კანონთა გამოკვლევა და გამოსახვა. ასეთი აპარატი მაშინ არ არსებობდა და ყოველი მეცნიერი იგონებდა თავის მეთოდებს, ანზოგადებდა და იყენებდა ჯერ კიდევ არქიმედეს მიერ აღმოჩენილს. ნიუტონმა პირველმა შექმნა დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა და მას ფლუქსიის მეთოდი უწოდა. ამ მეთოდის დახმარებით შესაძლებელი გახდა მრავალი სრულიად სხვადასხვაგვარი მათემატიკური და ფიზიკური ამოცანის ამოხსნა. ნიუტონამდე მრავალი ფუნქცია მხოლოდ გეომეტრიულად განისაზღვრებოდა და შეუძლებელი იყო მათ მიმართ ალგებრა და ფლუქსიის ახალი აღრიცხვა გამოეყენებინათ. ნიუტონმა აღმოაჩინა ფუნქციათა ანალიზური წარმოდგენის ახალი ზოგადი მეთოდი — მათემატიკაში შემოიღო და სისტემატურად იყენებდა უსასრულო მწკრივებს.

განვმარტოთ ნიუტონის ეს იდეა. ცნობილია, რომ ნებისმიერი ნამდვილი რიცხვი შეიძლება სასრული ან უსასრულო ათწილადით გამოვსახოთ; მაგალითად:

$$\frac{7}{40}=0{,}175;\quad \frac{1}{3}=0{,}333\ldots;\quad \sqrt{2}=1{,}412\ldots$$

ეს ნიშნავს, რომ ნებისმიერი a რიცხვი შეიძლება წარმოვადგინოთ ასე:



ისააკ ნიუტონი.

$$a=N+a_1\left(\frac{1}{10}\right)+a_2\left(\frac{1}{10}\right)^2+\cdots+$$
$$+a_n\left(\frac{1}{10}\right)^n+\cdots,$$

სადაც N მთელი ნაწილია, ხოლო $a_1, a_2, \ldots, a_n, \ldots$ რიცხვებმა შეიძლება მიიღონ ერთ-ერთი მნიშვნელობა 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 რიცხვებიდან. რიცხვთა ასეთი წარმოდგენის ანალოგიით ნიუტონმა ივარაუდა, რომ x-ის ნებისმიერი ფუნქცია, მაგალითად, $\sqrt{1+x}$, $\sin x$, $\log(1+x)$, შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც უსასრულო მრავალწევრი, ანუ მწკრივი, რომელიც უკვე განლაგებულია არა $\frac{1}{10}$ ხარისხის მიხედვით, არამედ x-ის ხარისხების მიხედვით:

$$f(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\cdots+a_nx^n+\cdots,$$

სადაც $a_1, a_2, \ldots a_n, \ldots$ კოეფიციენტებია. ასეთი მწკრივის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ გეომეტრიული პროგრესია:

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \cdots + x^n + \cdots .$$

მწკრივის დახმარებით ფუნქციის წარმოდგენა მეტად მოსახერხებელია. ნიუტონის თქმით, მწკრივის დახმარებით „შეიძლება გადავლახოთ დაბრკოლებანი, რომლებიც სხვა შემთხვევაში თითქმის გადაულახავი გვეჩვენება“.

ნიუტონმა აღმოაჩინა ფუნქციათა მწკრივებად დაშლის ძირითადი ხერხები და გვიჩვენა, როგორ უნდა გამოვიყენოთ მწკრივები მათემატიკურ გამოკვლევებში. მან იპოვა მწკრივები იმ დროისათვის ცნობილი ყველა ფუნქციის: $\sqrt{ax+b}$, ტრიგონომეტრიული და შექცეული ტრიგონომეტრიული ფუნქციების, მაჩვენებლიანი ფუნქციის, ლოგარითმული ფუნქციის, ალგებრულ განტოლებათა საშუალებით მოცემული ფუნქციების წარმოსადგენად.

მეცნიერული მუშაობით გატაცებულ ნიუტონს ყველაფერი ავიწყდებოდა. მრავალი ანეკდოტი არსებობს მისი საარაკო დაბნეულობის შესახებ. ბოლო როდესაც ერთხელ ნიუტონს ჰკითხეს, როგორ ახერხებთ ასე რთული პრობლემების გადაწყვეტას, მან უპასუხა: „გამუდმებით მათზე ფიქრით“.

კემბრიჯში დაბრუნებისთანავე ნიუტონმა წერილობითი სახით ჩამოაყალიბა საკუთარი აღმოჩენები, მაგრამ მათ გამოქვეყნებას არ ჩქარობდა. თავის გამოკვლევათა ერთ ნაწილზე იგი ოპტიკის შესახებ წაკითხულ ლექციებზე ჰყვებოდა, სხვა აღმოჩენებს მათემატიკოსები ნიუტონისავე ხელნაწერის მიხედვით ეცნობოდნენ. ნიუტონის პირველი მათემატიკური შრომები დაიბეჭდა მხოლოდ 1704 და 1711 წლებში, ხოლო მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი — „უსასრულო მწკრივთა და ფლუქსიების მეთოდები“ — მხოლოდ მეცნიერის სიკვდილის შემდეგ გამოქვეყნდა.

ტელესკოპ-რეფლექტორის შექმნისათვის 1672 წ. ნიუტონი ლონდონის სამეფო საზოგადოების წევრად აირჩიეს, ხოლო 1703 წლიდან სიცოცხლის უკანასკნელ დღემდე ამ საზოგადოების უცვლელი პრეზიდენტი იყო.

მეგობარ მეცნიერთა დაჟინებული მოთხოვნით ნიუტონი ჯერ კიდევ 1680 წ. შეუდგა მუშაობას თავის წიგნზე „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“, რომელშიც უნდა ჩამოეყალიბებია სამყაროს საკუთარი სისტემა. მუშაობას 5 წელი მოანდომა. ნიუტონის ცხოვრების ამ პერიოდზე არსებობს მისი პირადი მდივნის ჩანაწერები. მდივნის სიტყვებით, იმ ხანებში ნიუტონი მშვიდი, ალერსიანი იყო და თითქმის არ გამოდიოდა ოთახიდან, საჭმლის ჭამა რამდენჯერმე უნდა შეეხსენებინათ, თვითონ არც კი აგონდებოდა; უფრო ხშირად ნაჩქარევად, ფეხზე დამდგარი ჭამდა, ღამეში 4—5 საათი ეძინა და დროს, რომელიც მუშაობას არ ხმარდებოდა, დაკარგულად თვლიდა. 1687 წ. წიგნი გამოქვეყნდა. „საწყისებზე“ მუშაობის გარდა იმხანად ნიუტონი დიდ დროს ანდომებდა აგრეთვე ქიმიურ ცდებს. იგი ბრწყინვალე ექსპერიმენტატორი იყო.

ფიზიკოსთა ერთსულოვანი აღიარებით, ნიუტონის „საწყისების“ გამოქვეყნება ყველაზე დიდი მოვლენა იყო ბუნებისმეტყველების მთელი ისტორიის მანძილზე. ორიოდე სიტყვით ძნელია ამ წიგნის მთელი სიდიადის გადმოცემა: ნიუტონმა მოძრაობის აქსიომებზე (მათ ახლა ნიუტონის სამი კანონის სახელწოდებით იცნობენ) და მსოფლიო მიზიდულობის კანონზე დაყრდნობით წმინდა მათემატიკურად გამოიყვანა მიწიერ და ციურ სხეულთა მექანიკის იმდროისათვის ცნობილი ყველა ძირითადი ფაქტი: წერტილისა და მყარი სხეულის მოძრაობის კანონები, კეპლერის პლანეტათა მოძრაობის კანონები (კეპლერმა ისინი დაკვირვებათა შედეგად აღმოაჩინა), მთვარის მოძრაობის კანონი, მიქცევათა და მოქცევათა მოვლენები, კომეტების ორბიტათა ფორმა; მანვე ჩაუყარა საფუძველი ჰიდროდინამიკას. დ. მენდელეევის სიტყვებით, ნიუტონმა პირველად გვიჩვენა, რომ ერთიანი თვალსაზრისით შეიძლება განიხილო „სამყაროს მოვლენათა მთელი მექანიზმი — დაწყებული უძრავ ვარსკვლავთა ბრუნვით და დამთავრებული ქიმიურ ატომთა გადაადგილებით“.

ასეთი სისტემის ასაგებად იმ დროს სათანადო მათემატიკური აპარატი არ არსებობდა. ამიტომ ნიუტონი თავისი წიგნის დასაწყისში აგებს ახალ მათემატიკურ თეორიას — მოძღვრებას ზღვართა შესახებ.

„საწყისებმა“ უდიდესი შთაბეჭდილება მოახდინა ნიუტონის თანამედროვეებზე და იგი მეცნიერის სიცოცხლეშივე სამჯერ გამოიცა. ასი წლის შემდეგ ჟ. ლაგრანჟი წერდა: „ნიუტონი უდიდესია ყველა დროის გენიოსთა შორის, ამასთან ყველაზე ბედნიერიც, რადგან ადამიანს მხოლოდ ერთხელ უწერია სამყაროს სისტემის აღმოჩენა“.

ნიუტონი უკვე ლონდონის სამეფო საზოგადოების პრეზიდენტი იყო, როდესაც შეუდგა ჯერ კიდევ ჭაბუკობის წლებში განზრახული შრომების წერას. მათ შორის აღსანიშნავია „ოპტიკა“, რომელსაც მეცნიერმა დაურთო ორი შესანიშნავი მათემატიკური თხზულება — „წირთა კვადრატურის შესახებ“ და „მესამე რიგის წირთა ჩამოთვლა“. პირველი მათგანი ეხება დიფერენციალურ და ინტეგრალურ აღრიცხვას, მეორე კი მესამე რიგის წირთა თვისებების შესწავლას. ეს უკანასკნელი სათანადოდ შეაფასეს მხოლოდ XIX საუკუნეში, როდესაც განვითარდა ალგებრული გეომეტრია.

ნიუტონი გარდაიცვალა 1727 წ. 84 წლის ასაკში. მას სიცოცხლის უკანასკნელ დღემდე არ შეუწყვეტია ექსპერიმენტული და თეორიული ხასიათის კვლევა-ძიებანი.

აი, რას ამბობდა თვითონ ნიუტონი თავისი შემოქმედების შესახებ: „არ ვიცი, რა თვალით შემხედავს ქვეყნიერება, მე კი ჩემი თავი მგონია ოკეანის პირას მოთამაშე პატარა ბიჭი, რომლის სიხარულს და აღტაცებას საზღვარი არ აქვს, თუ ხანდახან შემთხვევით იპოვის ჩვეულებრივზე უფრო გლუვ ქვას ან ლამაზ ნიჟარას. ჩემს წინაშე კი გადაშლილია საიდუმლოებით მოცული ჭეშმარიტების უზარმაზარი ოკეანე“.

გოტფრიდ ვილჰელმ ლაიბნიცი

გოტფრიდ ვილჰელმ ლაიბნიცი დაიბადა 1646 წ. ქ. ლაიფციგში. ექვსი წლის ცნობისმოყვარე ბიჭუნა ისტორიის საინტერესო საკითხებზე ესაუბრებოდა მამამისს, ლაიფციგის უნივერსიტეტის პროფესორს. თორმეტი წლისამ კარგად იცოდა ლათინური და გატაცებით სწავლობდა ძველ ბერძნულ ენას. განსაკუთრებით აინტერესებდა ძველი ფილოსოფოსები, შეეძლო დიდხანს ეფიქრა და ემსჯელა არისტოტელესა და დემოკრიტეს თეორიების შესახებ. თხუთმეტი წლის ლაიბნიცი უნივერსიტეტში შევიდა და წარმატებით სწავლობდა იურისპრუდენციასა და ფილოსოფიას. იგი ბევრს კითხულობდა, მისი უსაყვარლესი წიგნები იყო რ. დეკარტეს, გ. გალილეის, ი. კეპლერისა და კამპანელას შრომები. უზარმაზარი მათემატიკური ცოდნა ლაიბნიცმა სრულიად დამოუკიდებლად შეიძინა. მან სამი წლის შემდეგ, უნივერსიტეტის დამთავრებისთანავე, სამუდამოდ დატოვა ლაიფციგი. ლაიბნიცი ნაწყენი იყო, რომ უნივერსიტეტის სამეცნიერო საბჭომ უარი უთხრა სამართლის დოქტორის ხარისხის მინიჭებაზე. უარის მიზეზად მის სიახალგაზრდავეს ასახელებდნენ.

ამიერიდან ლაიბნიცისათვის დაიწყო მძიმე შრომით აღსავსე ცხოვრების დღეები. მუშაობის გარდა იგი ძალიან ბევრს მოგზაურობდა. ადვილი წარმოსადგენია, რა ძნელი იქნებოდა უხეირო ეტლით მაშინდელი ევროპის ოღროჩოღრო გზებზე მოგზაურობა. მაგრამ მეცნიერი დროს უქმად არსად კარგავდა, მრავალი საინტერესო აზრი სწორედ ამ ხანგრძლივ მოგზაურობათა ჟამს დაებადა. ლაიბნიცს განსაკუთრებით ეხერხებოდა ამოცანის სწრაფად გაგება და მისი ამოხსნა ზოგადი ხერხით. მას მრავალი გენიალური აზრი ებადებოდა, მაგრამ ყველას ჩაწერას ვერ ასწრებდა. და, რადგან გრძნობდა, რომ ყველა ამ საინტერესო აზრის ნათელ, დასრულებულ თეორიებად ჩამოყალიბებას ვერ მოახერხებდა, საქმის არსის გადმოცემით კმაყოფილდებოდა. იდეებზე ასეთი „ნადირობა“ მოსწონდა ლაიბნიცს. იგი თავის თავს ხუმრობით ადარებდა ვეფხვს, რომელიც თურმე პირველი, მეორე ან მესამე ნახტომით ნადირს თუ ვერ დაიჭერს, თავს აღარ ესხმის და გაქცევის საშუალებას აძლევს.

ადამიანები, რომლებიც პირადად იცნობდნენ ლაიბნიცს, წერდნენ, რომ იგი იყო გულისხმიერი, კეთილი და ძალიან თავმდაბალი. ლაიბნიცი მუშაობდა დიპლომატად, კარის მრჩევლად, თავადების შვილთა აღმზრდელად, ისტორიოგრაფად. თითქმის მთელი სიცოცხლე გერმანიის ხელმწიფეთა, თავადებისა და ჰერცოგების კარზე მსახურობდა, მაგრამ არასოდეს არ ავიწყდებოდა თავისი საყვარელი მეცნიერება. დიდკაცებთან ნაცნობობას იგი ყოველთვის კეთილი საქმისათვის იყენებდა. ლაიბნიცს კარგად ესმოდა, რომ მეცნიერების განვითა-



გოტფრიდ ვილჰელმ ლაიბნიცი.

რებისათვის აუცილებელია სპეციალური სამეცნიერო საზოგადოებები, აკადემიები, სადაც მეცნიერებს აზრთა თავისუფალი გაცვლა-გამოცვლის შესაძლებლობა ექნებოდათ. მისი წინადადებით 1700 წ. დაარსდა ბერლინის მეცნიერებათა აკადემია. ამ აკადემიის პირველი პრეზიდენტის საპატიო წოდება ლაიბნიცს შესთავაზეს. ლაიბნიცი იღვწოდა ევროპის სხვა ქვეყნებში მეცნიერებათა აკადემიებისა და აგრეთვე ევროპის ერთიანი აკადემიის შექმნაზე. პეტრე პირველთან ლაიბნიცის ხანგრძლივ საუბრებს რუსეთში მეცნიერების განვითარებაზე დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიის დაარსებისათვის. პეტრე პირველმა მადლობის ნიშნად ლაიბნიცს საიდუმლო მრჩეველის ტიტული უბოძა.

ლაიბნიცმა ბევრი ახალი იდეა შესძინა მეცნიერების თითქმის ყველა დარგს. ფიზიკაში მან ჩამოაყალიბა ძირითადი კანონი კინეტიკური ენერგიის მუდმივობისა, ანუ როგორც თვითონ უწოდებდა, „ცოცხალი ძალისა“: $\frac{mv^2}{2}$. ლაიბნიცის მეოხებით მოწესრიგდა გერმანიაში კალენდრის საქმე და შეიქმნა უფრო ზუსტი გრიგორიანული კალენდარი. ფილოსოფიურ და მათემატიკურ საკითხებზე ხანგრძლივი ფიქრის შემდეგ ლაიბნიცი დარწმუნდა, რომ ჭეშმარიტების ძიებისა და პოვნის ყველაზე საიმედო საშუალებას მათემატიკა წარმოადგენს. მთელი სიცოცხლის მანძილზე იგი ცდილობდა მათემატიკური აღრიცხვის სახით გამოესახა ადამიანის აზროვნების კანონები. ლაიბნიცის აზრით, ამისათვის ნებისმიერი ცნება და იდეა უნდა აღვნიშნოთ გარკვეული სიმბოლოებით, ეს სიმბოლოები განსაკუთრებულ ფორმულებად ჩამოვაყალიბოთ, შემდეგ კი აზროვნების წესები დავიყვანოთ ამ სიმბოლური ფორმულების გამოთვლის წესებამდე. ლაიბნიცი სიტყვებს ზუსტად ჩამოყალიბებული სიმბოლოებით ცვლიდა და ამ გზით ცდილობდა ჩვენი მსჯელობები გაეწმინდა ყოველგვარი გაურკვევლობისაგან, რათა თვითონ არ დაგვეშვა შეცდომა, ამასთან შეცდომაში არ შეგვეყვანა სხვებიც. თუ მოსაუბრეთა შორის აზრთა სხვადასხვაობა შეიქმნება, — ოცნებობდა ლაიბნიცი, — საკითხი გადაწყდება არა გრძელი და მომქანცველი კამათის გზით, არამედ ისევე, როგორც ხდება ამოცანის ამოხსნა ან თეორემის დამტკიცება: მოკამათეები აიღებენ ხელში კალამს, იტყვიან: „გამოვთვალოთ“ და გამოთვლას შეუდგებიან.

ამ აზრის უდიდესი ძალა, უპირველეს ყოვლისა, ლაიბნიცის შემოქმედებაში გამოვლინდა. თავისი უნივერსალური აღრიცხვის მეოხებით მან მნიშვნელოვნად გააფართოვა მათემატიკის არე.

ნიუტონისაგან დამოუკიდებლად და ერთდროულად ლაიბნიცმა აღმოაჩინა დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის ძირითადი პრინციპები. ამ აღრიცხვას ახლა მათემატიკურ ანალიზს უწოდებენ. ამ თეორიამ განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა მოიპოვა მას შემდეგ, რაც ლაიბნიცმა და ნიუტონმა დაამტკიცეს, რომ დიფერენცირება და ინტეგრება ურთიერთშებრუნებული ოპერაცი-

ებია. ეს თვისება კარგად იცოდა ნიუტონმაც. მაგრამ მხოლოდ ლაიბნიცმა შენიშნა და დაინახა, რა დიდი შედეგების მოტანა შეუძლია სიმბოლური მეთოდის გამოყენებას.

ადამიანი, რომელიც შეისწავლის დიფერენცირებისა და ინტეგრების ოპერაციების აღმნიშვნელ სიმბოლოებზე მოქმედებათა თუნდაც ელემენტარულ წესებს, მძლავრი მათემატიკური მეთოდის მფლობელი ხდება. დღეს ოპერაციების ასეთ სიმბოლოებს ოპერატორებს უწოდებენ. დიფერენცირების $d(\ )$ და ინტეგრების $\int(\ )\,dx$ ოპერატორები მოქმედებენ ფუნქციებზე, მათ ისეთ ფუნქციებად „გარდაქმნიან“, რომელთა ზუსტად გამოთვლა შესაძლებელია (იხ. სტატია „ინტეგრალი და წარმოებული“). ამ ოპერატორებზე მოქმედებისათვის ლაიბნიცმა შეიმუშავა საგანგებო ალგებრა. იგი ამტკიცებს, რომ ჩვეულებრივი α რიცხვი შეიძლება გავიტანოთ ოპერატორის ნიშნის გარეთ:

$$d(\alpha f(x)) = \alpha d(f(x)).$$

ერთნაირი ოპერატორები შეიძლება გავიტანოთ ფრჩხილებს გარეთ:

$$d(f(x)) + d(\varphi(x)) = d(f(x) + \varphi(x)),$$

ანუ:

$$\int(f(x))dx + \int(\varphi(x))dx = \int(f(x) + \varphi(x))\,dx.$$

თუ ვისარგებლებთ სიმბოლიკით, ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი თვისება შეიძლება გამოვსახოთ თანაფარდობით:

$$d(\alpha f(x) + \beta\varphi(x)) = \alpha d(f(x)) + \beta d(\varphi(x)),$$

სადაც α და β რიცხვებია.

ოპერატორებს, რომლებსაც ასეთი თვისება აქვთ, წრფივი ეწოდებათ. წრფივ ოპერატორთა თეორია, რომლის წარმატებით განვითარება ლაიბნიცმა დაიწყო, თანამედროვე მათემატიკაში წარმოადგენს კარგად დამუშავებულ და სასარგებლო თეორიას.

ოპერატორების მრავალგზისი გამოყენება შეიძლება გავიგოთ როგორც ოპერატორის ხარისხი; მაგალითად, $d(\ )$ ოპერატორისათვის:

$$\underbrace{d(d(\dots d(f(x))))}_{n\text{-ჯერ}} = d^n(f(x)).$$

იმას, რომ მათემატიკური ანალიზის ოპერატორები წარმოადგენენ ურთიერთშებრუნებულს, ლაიბნიცი აღნიშნავს თავისი სიმბოლიკით და ამტკიცებს, რომ $d(x)$ და $\int(\ )dx$ აგრეთვე ურთიერთშებრუნებულია, როგორც ხარისხი და ფესვი ჩვეულებრივ აღრიცხვაში. ხმარობენ აგრეთვე აღნიშვნას, რომელიც ანალოგიურია a რიცხვის შებრუნებული რიცხვის a^{-1} აღნიშვნისა, ამასთან $a \cdot a^{-1} = 1$. თუ ოპერატორებისათვის შემოვიღებთ აღნიშვნებს: $d^{-1}(\ ) = \int(\ )dx$ ან, პირიქით, $\int^{-1}(\ )dx = d(\ )$ და მათ ნამრავლად მივიჩნევთ მათ თანამიმდევრულ გამოყენებას, გვექნება:

$$d^{-1}(df(x)) = \int^{-1}\left(\int f(x)\,dx\right) = f(x),$$

ე. ი. ნამრავლი არის „ერთეული“, რომელიც ფუნქციას არ ცვლის.

ლოგიკის, მსჯელობათა წესების ანალიზის დროს ლაიბნიცი დარწმუნდა, რომ აქაც შესაფერისი სიმბოლიკის გამოყენების გზით სხვადასხვა ხერხები შეიძლება დავიყვანოთ ზუსტად განსაზღვრულ მცირერიცხოვან ოპერაციებამდე. დასკვნათა ასეთ აღრიცხვას, ანუ ლოგიკის ალგებრას, როგორც ახლა უწოდებენ, უდიდესი მნიშვნელობა აქვს დღეს. მის საფუძველზე აგებენ თანამედროვე ელექტრონულ გამოთვლით მანქანებს. ასეთ „მოაზროვნე“ მანქანათა თეორიას უდიდესი პრინციპული მნიშვნელობა აქვს. მთელ სამყაროს ლაიბნიცი განიხილავდა როგორც გიგანტურ კიბერნეტიკულ ავტომატს. კიბერნეტიკის შემქმნელი ნ. ვინერი, რომელიც აღნიშნავდა ლაიბნიცის იდეათა მნიშვნელობას კიბერნეტიკისათვის, ხუმრობით წერდა: „მეცნიერებათა ისტორიის ანალებში კიბერნეტიკის უფარველი წმინდანის არჩევა რომ დამჭირდეს, მე ლაიბნიცს ავირჩევდი“.

თვით ლაიბნიცი ცდილობდა შეექმნა ისეთი მანქანა, რომელშიაც განხორციელებული იქნებოდა მისი აზრები აზროვნების პროცესთა მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის შესახებ. მან ააგო ლითონის გამოთვლითი მანქანა, რომელიც მთელი რიცხვების მიმატება-გამოკლებასა და გამრავლებას ახორციელებდა. ამ მანქანამ უდიდესი შთაბეჭდილება მოახდინა მაშინდელ მეცნიერებაზე. როდესაც მანქანა ლაიბნიცმა ინგლისის მეცნიერებათა აკადემიაში, ე. წ. ლონდონის სამეფო საზოგადოებაში, წარადგინა, იგი ამ საზოგადოების საზღვარგარეთელ წევრად აირჩიეს.

პირველი ხარისხის მრავალუცნობიან ალგებრულ განტოლებათა სისტემის შემთხვევაში ოპერა-

ტორებისა და აღრიცხვათა ძიებამ ლაიბნიცი მიიყვანა ახალი მნიშვნელოვანი ცნების — ასეთ განტოლებათა სისტემის დ ე ტ ე რ მ ი ნ ა ნ ტ ი ს ცნების შექმნამდე. თუ რა არის დეტერმინანტი, დაწვრილებით შეიძლება გავიგოთ უმაღლესი ალგებრის ნებისმიერ სახელმძღვანელოში. დეტერმინანტი დღეს უაღრესად მნიშვნელოვანი იარაღია როგორც თვით მათემატიკაში, ასევე ყველგან, სადაც მათემატიკა გამოიყენება.

ლაიბნიცის არაჩვეულებრივი გამჭრიახობა და შორსმჭვრეტელობა გამოვლინდა აგრეთვე მათემატიკური თამაშობებისადმი მის დამოკიდებულებაში. იგი წერდა: „ჩვენ ხშირად შეგვინიშნავს, რომ ადამიანები ყველაზე მეტ გამომგონებლობას თამაშში ამჟღავნებენ და ამიტომ მათემატიკური თამაშები ყურადღებას იმსახურებს... რადგანაც სწრაფი აზროვნების უნარს ავითარებს“. სხვა ადგილას ლაიბნიცი წერს: „ყველა თამაში, რომელიც მოხერხებულობაზე ან თუნდაც შემთხვევაზეა დამყარებული, უდიდეს მასალას იძლევა მეცნიერული კვლევისათვის“. მეცნიერის ეს სიტყვები წინასწარმეტყველური აღმოჩნდა — თამაშთა თანამედროვე მათემატიკურ თეორიას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო მათემატიკისათვის, არამედ სამხედრო საქმისათვის, ეკონომიკისა და სხვა მრავალი დარგისათვის.

თავისი ცხოვრების მიზნად ლაიბნიცს მიაჩნდა გონებრივი შემოქმედება და ყველასათვის ხელმისაწვდომი ისეთი იდეების შექმნა, რომლებიც დაეხმარებოდნენ ადამიანს სამყაროს შეცნობაში. უნდა აღინიშნოს, რომ ლაიბნიცი ძალიან პატივმოყვარე იყო და მტკივნეულად განიცდიდა ყველაფერს, რაც მეცნიერების წინაშე მისი მართლაცდა დიდი დამსახურების შეფასებას შეეხებოდა. განსაკუთრებით მტკივნეულად განიცადა ცნობილი სამწუხარო დავა ნიუტონთან მათემატიკური ანალიზის შექმნის პრიორიტეტზე. მძიმე იყო მეცნიერის სიცოცხლის უკანასკნელი წლები, როდესაც დასნეულებული და ყველასაგან დავიწყებული მარტოდმარტო ღაფავდა სულს. მხოლოდ მუდამ ნათელი აზრი და არაჩვეულებრივი შრომისუნარიანობა უმსუბუქებდა მარტოობის სიმწარეს. ლაიბნიცი გარდაიცვალა 1716 წ. მისი სიკვდილი არ აღუნიშნავს არც ბერლინის, არც ინგლისის აკადემიას. ლაიბნიცის ბიოგრაფის სიტყვებით, მეცნიერი დაასაფლავეს, როგორც ღატაკი და არა როგორც საქვეყნოდ ცნობილი გენიოსი. მას მხოლოდ მრავალი წლის შემდეგ დაუდგეს ძეგლი მშობლიურ ქალაქში. მაგრამ ლაიბნიცის სახელი უკვდავყო არა ამ ძეგლმა, არამედ მისმა მათემატიკურმა იდეებმა, რომლებსაც დღეს ადამიანის საკეთილდღეოდ შესანიშნავი ნაყოფი გამოაქვს.

ლეონარდ ეილერი

XVIII ს. უდიდესი მათემატიკოსი ლეონარდ ეილერი დაიბადა 1707 წ. შვეიცარიის ქალაქ ბაზელში. მამამისი პასტორი იყო და სურდა მისი შვილიც მღვდელი გამოსულიყო. ბაზელის უნივერსიტეტში ლეონარდ ეილერი ღვთისმეტყველებას და ძველ ენებს სწავლობდა, იმავე დროს ესწრებოდა ლაიბნიცის სკოლის ცნობილი მეცნიერის, მათემატიკის პროფესორის იოჰან ბერნულის ლექციებს.

ბერნულიმ შეამჩნია ეილერის ბრწყინვალე ნიჭი და მასთან დამატებით დაიწყო მეცადინეობა. მალე მათემატიკამ სძლია ღვთისმეტყველებას და ლეონარდის ცხოვრების გზა ერთხელ და სამუდამოდ გაირკვა.

თავისი მასწავლებლის ოჯახში ლეონარდ ეილერი დაუმეგობრდა ბერნულის შვილებს, ნიჭიერ მათემატიკოსებს — დანიელსა და ნიკოლოზს. პატარა შვეიცარიაში სამივე მეგობრისათვის შესაფერისი თანამდებობა არ აღმოჩნდა. საბედნიეროდ, იმ ხანებში რუსეთის დედაქალაქ პეტერბურგში მეცნიერებათა აკადემიის შექმნას აპირებდნენ და სამივე მეგობარი ამ აკადემიაში სამუშაოდ მიიწვიეს. პეტერბურგის აკადემია (ახლანდელი საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემია) გაიხსნა 1725 წ. და იმავე წელს ჩამოვიდნენ რუსეთში ძმები ბერნულები. ეილერი ცოტა მოგვიანებით, 1727 წ. გაზაფხულზე, ჩამოვიდა. იგი მაშინ 20 წლისა იყო.

პეტერბურგში ეილერი გამოჩენილი მეცნიერე-

ბის — მათემატიკოსების, ფიზიკოსებისა და ასტრონომების — წრეს დაუახლოვდა. აქ მას თავისი შრომების გამოცემის ფართო შესაძლებლობა მიეცა, მატერიალურადაც უზრუნველყოფილი იყო. ჭაბუკი გატაცებით შეუდგა მუშაობას; აკადემიის „მეცნიერულ წერილებში“ ქვეყნდება ეილერის სტატიები, რომლებიც მთელი ევროპის მეცნიერთა ყურადღებას იპყრობს. ხოლო სულ მალე თანამედროვეებმა ერთსულოვნად აღიარეს ეილერი მსოფლიოს პირველ მათემატიკოსად.

ეილერი არ სჯერდება მათემატიკასა და მექანიკაში თეორიულ გამოკვლევებს. რამდენიმე წლის განმავლობაში იგი პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიულ განყოფილებაში რუსეთის რუკათა დადგენასა და დაზუსტებაზე მუშაობს, წერს ვრცელ, ორტომიან შრომას გემთმშენებლობის და გემთმართვის თეორიის საკითხებზე, აქვეყნებს წიგნს მუსიკის თეორიაზე (ხელოვნების სხვა დარგებზე მეტად ეილერს მუსიკა უყვარდა), ასწავლის აკადემიასთან არსებული უნივერსიტეტის სტუდენტებს, წერს არითმეტიკის სახელმძღვანელოს მოსწავლეებისათვის. ხშირად მონაწილეობს ტექნიკური საკითხების დამდგენ კომისიებში. ეილერი მთელ ენერგიას აკადემიას ახმარდა და აღიარებდა: ყველაფერს, რასაც მივაღწიე, უპირველეს ყოვლისა, სწორედ ამ აკადემიას უნდა ვუმადლოდეო.

ანა ლეოპოლდის ასულის რეგენტობის დროს შექმნილი დაძაბული მდგომარეობის გამო ეილერი იძულებული გახდა 1741 წ. სამუშაოდ ბერლინის მეცნიერებათა აკადემიაში გადასულიყო. მაგრამ რუსეთთან მჭიდრო კავშირი მაინც არ გაუწყვეტია. იგი თავის სტატიათა დიდ ნაწილს პეტერბურგის აკადემიის გამოცემებში ბეჭდავს, რედაქტორობს ამ აკადემიის „მეცნიერული წერილების“ მათემატიკურ განყოფილებას, თავის წერილებში იუწყება მეცნიერების ყველა სიახლეს და ა. შ. ეილერის სახლში, ბერლინში, წლების მანძილზე ცხოვრობდნენ ახალგაზრდა რუსი მეცნიერები, რომლებსაც მეცნიერი პირადად ამეცადინებდა. მაგრამ ბერლინის აკადემიაში ბევრი რამ არ აკმაყოფილებდა ეილერს და ამიტომ 1766 წ. იგი პეტერბურგს დაბრუნდა.

უკანასკნელი 17 წელი ეილერს თითქმის სრულიად დაკარგული ჰქონდა მხედველობა. მაგრამ ამას არ უმოქმედია მის შრომისუნარიანობაზე. არაჩვეულებრივი მეხსიერების წყალობით მეცნიერი ახლაც ისევე ნაყოფიერად მუშაობდა, როგორც ახალგაზრდობის წლებში. ოღონდ ამჯერად თვითონ კი არ წერდა, არამედ კარნახობდა თავის მოწაფეებს, რომლებიც მის მაგივრად უფრო რთულ გამოთვლებსაც აწარმოებდნენ. ხანდაზმული მეცნიერის არაჩვეულებრივ შრომისუნარიანობას ადასტურებს ასეთი უჩვეულო ფაქტი: 1777 წლის განმავლობაში მან და მისმა მდივანმა 100 სტატია მოამზადეს, ე. ი. ორ-ორი სტატია კვირაში!



ლეონარდ ეილერი.

ეილერი განუწყვეტლივ ფიქრობდა, მხოლოდ ხანდახან, მეგობრებთან ან ოჯახის წევრებთან საუბრისას, თუ გამოეთიშებოდა ფიქრს. როდესაც ეილერი ფიქრობდა, იგი ქმნიდა. ეს არაჩვეულებრივად ნაყოფიერი შემოქმედებითი შრომა მხოლოდ ეილერის სიცოცხლესთან ერთად შეწყდა 1783 წ. 18 სექტემბერს.

ეილერის მეცნიერული შემოქმედება, უპირველეს ყოვლისა, გვანცვიფრებს თავისი ნაყოფიერებით. მეცნიერმა დაგვიტოვა 800-ზე მეტი ნაშრომი, მრავალი მათგანი წარმოადგენს სქელტანიან ორისამი ტომისაგან შემდგარ წიგნს. ეილერის სიცოცხ-

ლეში მისი სტატიების გამოქვეყნებას ვერც ასწრებდნენ. იგი ხუმრობით ამბობდა, აკადემიის ჟურნალს 20 წლის სამუშაოს მაინც დავუტოვებო. დიდი მათემატიკოსი ბრწყინვალე გამომთვლელი იყო, მაგრამ ამჯერად შეცდა: მისი სიკვდილის შემდეგ მის სტატიებს კიდევ დაახლოებით 80 წელი ბეჭდავდნენ.

ეილერი ყველაზე ნაყოფიერი იყო ყველა დროის მათემატიკოსთა შორის. იგი გახლდათ აგრეთვე ყველაზე მრავალმხრივიც, რადგან განიხილავდა მათემატიკისა და მის დამატებათა ყველა საკითხს, ხოლო მათემატიკის ზოგიერთ განყოფილებას თვითონვე ჩაუყარა საფუძველი. მას აინტერესებდა რიცხვთა თეორია და მთვარის მოძრაობის თეორია, გეომეტრია და ოპტიკური ხელსაწყოები, ალგებრა და მასალათა გამძლეობა და მრავალი სხვა.

ეილერმა კაცობრიობას შესძინა მრავალი ძვირფასი გამოგონება, ტექნიკური და მათემატიკური თეორია, საფუძველი ჩაუყარა აქრომატული სამზერი ხელსაწყოების დამზადების თანამედროვე ტექნიკას (ეს ხელსაწყოები სხივთა გარდატეხის სხვადასხვა მაჩვენებლების მქონე ლინზების შერჩევით იძლევიან ფერთა გაბნევის დამახინჯებისაგან სრულიად თავისუფალ გამოსახულებებს). მან შექმნა ტურბინთა მოქმედების გამოთვლის პირველი თეორია. საფუძველი ჩაუყარა გიროსკოპბზრიალას თეორიას, რომელიც დიდ როლს ასრულებს თანამედროვე ტექნიკაში. ყოველივე ეს დიდი მნიშვნელობის აღმოჩენებია, მაგრამ ეილერის მთავარი საქმე მაინც მათემატიკურ პრობლემათა დამუშავება იყო. ამ პრობლემებს მეცნიერმა 315 თხზულება უძღვნა და მათემატიკური მეცნიერება გაამდიდრა მრავალი ახალი თეორემით, ფორმულით, მეთოდით, კერძო თეორიითა და რამდენიმე ახალი, დიდი განყოფილებით.

150-მდე შრომა უძღვნა ეილერმა რიცხვთა თეორიას. მათი მნიშვნელობა ზუსტად განსაზღვრა დიდმა რუსმა მათემატიკოსმა პ. ჩებიშევმა, რომელმაც განაგრძო ეილერის მრავალი გამოკვლევა. პ. ჩებიშევი წერდა: „ამ გამოკვლევებისათვის საჭირო იყო ახალი ხერხების, ახალი საწყისების აღმოჩენა, ერთი სიტყვით, საჭირო იყო ახალი მეცნიერების შექმნა. და ეს გააკეთა ეილერმა“.

გეომეტრიაში ეილერმა საფუძველი ჩაუყარა გამოკვლევათა სრულიად ახალ დარგს, რომელიც შემდგომ გადაიქცა დიდ და მნიშვნელოვან მეცნიერებად — ტოპოლოგიად. ტოპოლოგია სწავლობს სივრცისა და ნაკვთების ზოგად თვისებებს. დავასახელებთ ეილერის ორ აღმოჩენას ტოპოლოგიიდან.

პირველი მათგანი შეეხება ხიდების ამოცანათა ამოხსნას. მდინარე წარმოქმნის კუნძულებს, მდინარის ორ ტოტზე აგებულია 7 ხიდი. ისმის კითხვა, შეიძლება თუ არა 7 ხიდზე ისე გადავიდეთ, რომ ყოველ მათგანზე მხოლოდ ერთხელ გავიაროთ? ეილერმა დაამტკიცა, რომ ეს შეუძლებელია და განიხილა უფრო ზოგადი ამოცანა, სადაც იგულისხმება ნებისმიერი რიცხვი ადგილებისა, რომლებიც ნებისმიერადაა დაყოფილი მდინარეთა ტოტებით და შეერთებულია ხიდებით. ამოცანის კითხვას ხშირად სხვაგვარადაც სვამენ; მაგალითად, გვეკითხებიან, შეიძლება თუ არა წრფის მონაკვეთების ან მრუდთა რკალებისაგან შედგენილი რაიმე მოცემული ნაკვთი ისე შემოვხაზოთ, რომ ყოველ რგოლზე მხოლოდ ერთხელ გატარდეს ფანქარი?

მეორე აღმოჩენა წარმოადგენს მრავალწახნაგების თეორიის მნიშვნელოვან თეორემას: ეილერმა დაადგინა და დაამტკიცა, რომ ნებისმიერი მრავალწახნაგას წვეროთა რიცხვი $წ_1$, წიბოთა რიცხვი $წ_2$ და წახნაგთა რიცხვი $წ_3$, როდესაც მრავალწახნაგას ნახვრეტები არა აქვს, დაკავშირებულია ფორმულით: $წ_1 + წ_3 = წ_2 + 2$.

ეილერის მათემატიკურ გამოკვლევათა ძირითად საგანს შეადგენდა მათემატიკური ანალიზი, ე. ი. დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა და მათთან დაკავშირებული მთელი რიგი მეცნიერებანი. ამ დარგში ეილერის აღმოჩენათა მოკლე ჩამოთვლაც კი ძალიან შორს წაგვიყვანდა. აქ მხოლოდ აღვნიშნავთ, რომ მან აღმოაჩინა გასაოცარი დამოკიდებულება ტრიგონომეტრიულ ფუნქციებსა (სინუსი და კოსინუსი) და მაჩვენებლიან e^x ფუნქციას შორის:

$$e^{xi} = \cos x + i \sin x, \text{ სადაც } i = \sqrt{-1}.$$

გარდა ამისა, ეილერმა პირველმა დაამუშავა ზოგადი მოძღვრება ლოგარითმული ფუნქციის შესახებ, რომლის თანახმად ყველა კომპლექსურ რიცხვს, გარდა ნულისა, აქვს ლოგარითმი, ამასთან, ყოველ რიცხვს შეესაბამება ლოგარითმის მნიშვნელობათა უსასრულო სიმრავლე.

ცნობილი ფრანგი მეცნიერი პ. ლაპლასი ამბობ-

და: „იკითხეთ ეილერი, იკითხეთ, იგი ყველა ჩვენგანის მასწავლებელია“. მართლაცდა, მრავალი თაობა იზრდებოდა ეილერის ისეთ მათემატიკურ სახელმძღვანელოებზე, როგორიცაა, „ანალიზის შესავალი“, „დიფერენციალური აღრიცხვა“, „ინტეგრალური აღრიცხვა“, „უნივერსალური არითმეტიკა“ (ე. ი. ალგებრა), იზრდებოდა მის ისეთ წიგნებზე, როგორიცაა მექანიკის და ფიზიკის საკითხებისადმი მიძღვნილი შრომები. მათი ძირითადი შინაარსი შეტანილია თანამედროვე სახელმძღვანელოებშიც.

ეილერის ყველა თხზულება მისაწვდომად და გასაგებადაა დაწერილი. მათემატიკის ნორჩ მოყვარულს, ცხადია ფანქრით ხელში, შეუძლია წაიკითხოს „ანალიზის შესავლის“ პირველი ნაწილი. მართალია, იგი სათავგადასავლო რომანივით სწრაფად არ იკითხება, მაგრამ მასზე ნაკლებ საინტერესო და სახალისო არ არის.

კარლ ფრიდრიხ გაუსი

კარლ ფრიდრიხ გაუსი დაიბადა 1777 წ. გერმანიის პატარა ქალაქ ბრაუნშვაიგში. მამამისი წყალსადენის ოსტატი იყო და, გარდა ამისა, მას ქალაქში იცნობდნენ როგორც კარგ გამომთვლელს. ამიტომ ხშირად იწვევდნენ ხოლმე გაანგარიშებათა შესასრულებლად.

პატარა კარლმა ძალიან ადრე გამოამჟღავნა გასაოცარი ნიჭი ანგარიშში. მოგვიანებით გაუსი მეგობრებს ეუბნებოდა, ანგარიში წერა-კითხვაზე ადრე ვისწავლეო. გადმოცემით, 3 წლის იყო გაუსი, როდესაც ერთი გასაოცარი ამბავი მოხდა: ერთხელ, თურმე, მამა პატარა კარლის თანდასწრებით ანგარიშობდა, რამდენი უნდა გადაეხადა კალატოზებისათვის, ამასთან უნდა გაეთვალისწინებია ისიც, რომ ზოგი მათგანი შესვენების დროსაც მუშაობდა. მამამ ის იყო ანგარიში დაამთავრა და ფულის გაცემას აპირებდა, რომ უცებ ბავშვმა განაცხადა, ანგარიში სწორი არ არის და თანხა ამდენი და ამდენი უნდა იყოსო. თურმე იგი გონებაში იმეორებდა მამის ანგარიშს. ძალიან გაოცდა მამა, როდესაც ხელმეორედ გაანგარიშების შემდეგ ბავშვის სიტყვების სისწორეში დარწმუნდა.

შვიდი წლის გაუსი სახალხო სკოლაში შეიყვანეს. პირველი ორი წელი, ვიდრე მხოლოდ წერა-კითხვას ასწავლიდნენ, ბავშვი სხვებისაგან არ გამოირჩეოდა. მაგრამ მესამე წელს დაიწყო არითმეტიკა და სწორედ მაშინ გამომჟღავნდა მისი გასაოცარი მათემატიკური ნიჭი. ერთხელ მასწავლებელმა მოწაფეებს დაავალა $1+2+3+\ldots+40$ ჯამის გამოანგარიშება. სხვა ბავშვები შეკრებას შეუდგნენ, ხოლო გაუსმა თითქმის იმავე წუთში გაუწოდა მასწავლებელს თავისი გრიფელის დაფა, რომელზეც სწორი პასუხი ეწერა. მან შენიშნა, რომ თავიდან და ბოლოდან ერთნაირ მანძილზე დაშორებული რიცხვების ჯამი შეკრების დროს ერთნაირ რიცხვს იძლევა:

$$1+40=2+39=3+38=\cdots=20+21=41.$$

მაგრამ სულ ასეთი რიცხვი იქნება 20, მაშასადამე, საძიებელი ჯამი უდრის $41\cdot 20=820$.

იმ ხანებში გაუსს ყურადღება მიაქცია მასწავლებლის ახალგაზრდა თანაშემწემ ბარტელსმა. მისი ხელმძღვანელობით გაუსმა დაიწყო მათემატიკური წიგნების კითხვა, მანვე მიაპყრო ბრაუნშვაიგელი ჰერცოგის ყურადღება ნიჭიერ ყმაწვილს და მიაღწია იმას, რომ გაუსს მატერიალური დახმარება აღმოუჩინეს, რის შედეგადაც ჭაბუკს სწავლის გაგრძელების შესაძლებლობა მიეცა.

გიმნაზიაში გაუსი სწრაფად დაეუფლა ძველ ენებს და შეისწავლა რამდენიმე ევროპული ენაც. გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ 1795 წ. გეტინგენის უნივერსიტეტში შევიდა. პირველ ხანებში გაუსი მათემატიკის ლექციებსაც ესწრებოდა და ფილოლოგიისასაც, ვერ გადაეწყვიტა, რომელი აერჩია. ამ პერიოდისათვის მას უკვე საკუთარი მათემატიკური შედეგები ჰქონდა და დამოუკიდებლად სწავლობდა ნიუტონის, ლაგრანჟის და ეილერის უკვდავ ქმნილებებს. მაგრამ არჩევანი მათემატიკაზე საბოლოოდ შეაჩერა მას შემდეგ, როცა მოახდინა თავისი ცნობილი აღმოჩენა ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით წესიერი ჩვიდმეტკუთხედის აგების შესახებ. 19 წლის გაუსის აღმოჩენამ სენსა-



კარლ ფრიდრიხ გაუსი.

ცია მოახდინა: ევკლიდეს შემდეგ, რომელმაც $3, 4, 5, 3\cdot 2^k, 5\cdot 2^k, 4\cdot 2^k$, 15-გვერდიანი მრავალკუთხედების აგების წესები აღმოაჩინა, ამ მიმდევრობის გაგრძელება ბევრმა მათემატიკოსმა სცადა, მაგრამ ვერც ერთმა ვერ მოახერხა. გაუსმა კი გადაწყვიტა პრობლემა და დაამტკიცა, რომ, თუ n არის $2^{2^k}+1$ სახის მარტივი რიცხვი, მაშინ შესაბამისი n-კუთხედი შეიძლება აიგოს სახაზავითა და ფარგლით. კერძოდ, თუ ვიგულისხმებთ, რომ $k=0, 1, 2, 3$, მივიღებთ, რომ წესიერ 3, 5, 17, და 257-კუთხედები შეიძლება ავაგოთ ფარგლითა და სახაზავით (შვიდკუთხედი კი არ შეიძლება ასე ავაგოთ). ეს შრომა 1801 წ. გამოქვეყნდა.

მართალია, გაუსის მიერ დადგენილ ფაქტს დიდი მნიშვნელობა აქვს, მაგრამ გაცილებით უფრო მნიშვნელოვანი და საინტერესო აღმოჩნდა მეთოდი, რომელიც გაუსმა ამ ფაქტის დასადგენად გამოიყენა. გაუსმა წესიერი მრავალკუთხედების აგების პრობლემა დაუკავშირა საკითხს: $x^n-1=0$ განტოლების ფესვი როდის გამოისახება მხოლოდ კვადრატული რადიკალების საშუალებით? გაუსმა დაამტკიცა, რომ ეს განტოლება ყოველთვის ამოიხსნება რადიკალებში, ხოლო როდესაც n არის $2^{2^k}+1$ სახის მარტივი რიცხვი, მაშინ მისი ფესვი მხოლოდ კვადრატულ რადიკალებში გამოისახება. ამასთანავე, გაუსმა განავითარა მეთოდები, რომლებიც საფუძვლად დაედო გალუას თეორიას.

აქედან იწყება გმირული პერიოდი გაუსის შემოქმედებაში. მომდევნო ხუთი წლის განმავლობაში მან მოახდინა თავისი უდიდესი აღმოჩენები რიცხვთა თეორიაში, ალგებრასა და ანალიზში. როდესაც ამ პერიოდს იგონებდა, გაუსი ამბობდა, ახალი იდეები ისე მეძალებოდნენ, რომ მათ ძლივს ვართმევდი თავს, მხოლოდ ნაწილის მოკლედ ჩაწერასღა ვახერხებდიო. ეს დასტურდება აგრეთვე დღიურებიდან, რომლებშიც გაუსი თავის აღმოჩენებს აღნიშნავდა. მაგალითად, წესიერი ჩვიდმეტკუთხედის აგება დათარიღებულია 1796 წ. 30 მარტით, ხოლო იმავე წლის 8 აპრილით — პირველი დამტკიცება ურთიერთობის კვადრატიკული კანონისა — რიცხვთა თეორიის ერთ-ერთი ძირითადი კანონისა. ეს კანონი ლ. ეილერმა აღმოაჩინა, მაგრამ მისი დამტკიცება ვერ შეძლო. გაუსმა ამ კანონს 8 სხვადასხვა დამტკიცება მოუძებნა.

1797 წ. გაუსმა მოგვცა ალგებრის ძირითადი თეორემის ახალი დამტკიცება, რომლის თანახმადაც ყოველ ალგებრულ განტოლებას აქვს ფესვი (ნამდვილი ან კომპლექსური). ეს ნაშრომი გაუსმა გამოაქვეყნა 1799 წელს. ნაშრომისათვის მას დოქტორის ხარისხი მიენიჭა.

რიცხვთა თეორიის საკითხების შესახებ მის მიერ დაწერილ ყველა ნაშრომს გაუსმა თავი მოუყარა და 1801 წელს ცალკე წიგნად გამოსცა სათაურით: „არითმეტიკული გამოკვლევები“, რომელმაც მთელი ეპოქა შექმნა მათემატიკის ისტორიაში.

ამ წიგნის გამოქვეყნების შემდეგ გაუსი გვერდით ამოუდგა ისეთ მათემატიკოსებს, როგორებიც იყვნენ პ. ფერმა და ლ. ეილერი. ხსენებულ წიგნში პირველად აიგო შედარებათა თეორია და დამტკიცდა ჯგუფთა თეორიის მნიშვნელოვანი თეორემები.

მაგრამ გაუსი იყო არა მარტო უდიდესი მათემატიკოსი, არამედ შესანიშნავი ბუნებისმეტყველიც. 1832 — 1833 წწ. მან გეტინგენში ააგო ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფი. მანვე დაარსა მსოფლიოში პირველი მაგნიტური ობსერვატორია.

გაუსი ძალიან ადრე დაინტერესდა ასტრონომიითაც. მან განსაზღვრა პლანეტა ცერერას ორბიტა. ამ უაღრესად რთული მათემატიკური ამოცანის ამოხსნამ 24 წლის გაუსს საქვეყნოდ გაუთქვა სახელი. 1807 წ. ახალგაზრდა მეცნიერი გეტინგენის ობსერვატორიის დირექტორად მიიწვიეს და სიცო-

ცხლის უკანასკნელ დღემდე არ მიუტოვებია იგი. იმავე დროს გაუსი ასტრონომიას ასწავლიდა გეტინგენის უნივერსიტეტში. თავის ასტრონომიულ გამოკვლევებს გაუსმა თავი მოუყარა ფუნდამენტალურ ნაშრომში: „ციურ სხეულთა მოძრაობის თეორია“.

1820 წლიდან გაუსი პირადად ხელმძღვანელობდა ჰანოვერის სამეფოს გეოდეზიურ გადაღებას. მან წმინდა პრაქტიკულ ამოცანებთან დაკავშირებით, ჯერ ერთი, დაამუშავა გეოდეზია როგორც მეცნიერება, მეორეც, შექმნა თავისი ცნობილი ზედაპირების თეორია. გაუსამდე გეომეტრია შესწავლილი იყო მხოლოდ ორ ზედაპირზე — სიბრტყეზე (ევკლიდეს პლანიმეტრია) და სფეროზე (სფერული გეომეტრია). გაუსმა აღმოაჩინა ნებისმიერ ზედაპირზე გეომეტრიის აგების ხერხი, განსაზღვრა რომელი წირები ასრულებენ ზედაპირზე წრფის როლს, როგორ უნდა განისაზღვროს მანძილი ორ წერტილს შორის და ა. შ. გაუსის თეორიას შინაგანი გეომეტრია ეწოდა.

გაუსის იდეებს უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა არა მარტო თანამედროვე გეომეტრიის განვითარებისათვის, არამედ ფიზიკისათვისაც. ფარდობითობის თეორიის ფუძემდებელი აინშტაინი წერდა, რომ მისი მოძღვრება ძალიან წააგავს გაუსის ზედაპირთა თეორიას. მართლაც, რიმანის გეომეტრია (ის კი შექმნილია გაუსის ზედაპირთა თეორიის მიხედვით, მაგრამ მხოლოდ ნებისმიერი განზომილების სივრცისათვის) დაედო საფუძვლად ფარდობითობის თეორიას, ისევე როგორც ევკლიდეს გეომეტრია — ნიუტონის კლასიკურ მექანიკას.

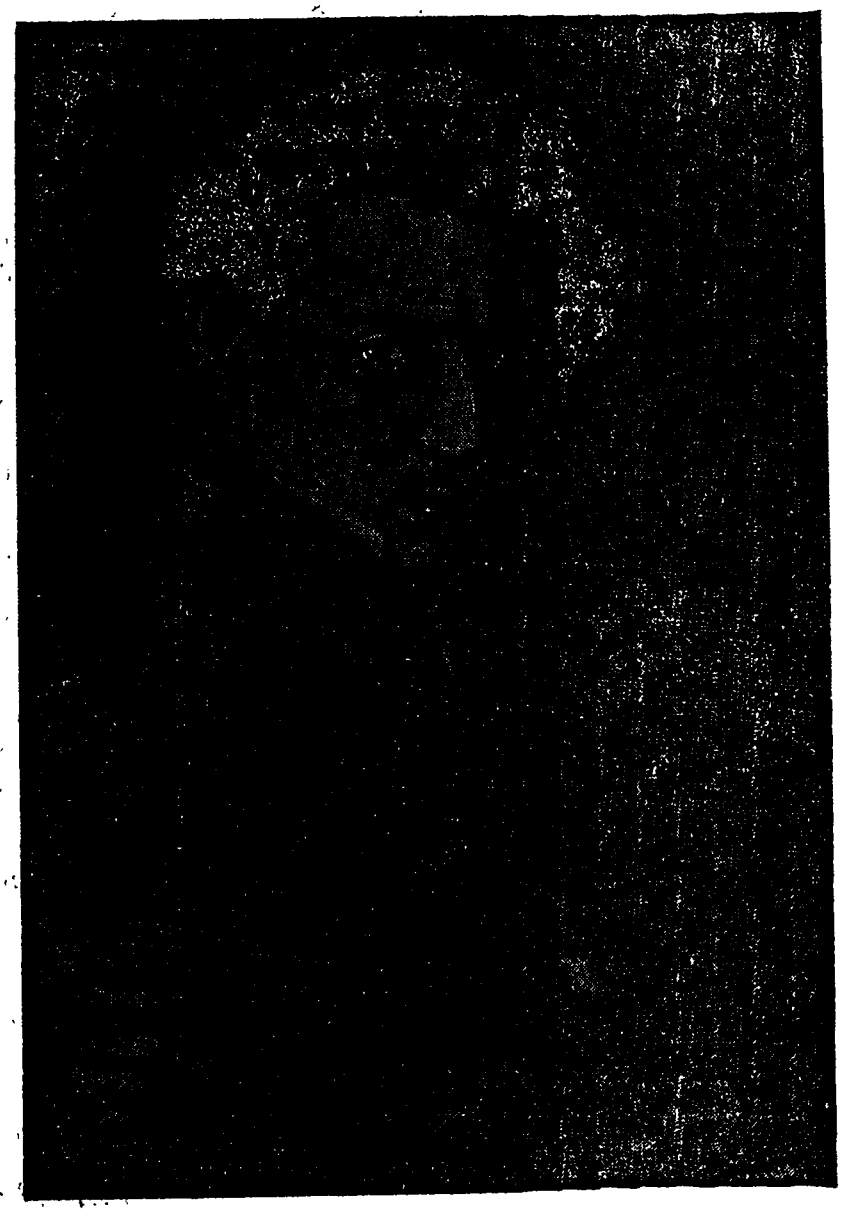
თანამედროვეთა გადმოცემით, გაუსი ხალისიანი, მხიარული, იუმორის მახვილი გრძნობით დაჯილდოებული ადამიანი იყო. მას აინტერესებდა ლიტერატურაც, ფილოსოფიაც, პოლიტიკაცა და ეკონომიკაც. თვალყურს ადევნებდა XIX ს. რუსეთში კულტურის განვითარებას. კავშირი ჰქონდა პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიასთან, რომელმაც იგი 1801 წ. ჯერ წევრ-კორესპონდენტად, ხოლო 1824 წ. საზღვარგარეთელ წევრად აირჩია. 62 წლის გაუსმა შეისწავლა რუსული ენა და პეტერბურგის აკადემიაში გამოგზავნილ წერილებში ჩიოდა, გეტინგენში რუსული ლიტერატურა არ იშოვებაო, ითხოვდა, რუსული ჟურნალები და წიგნები, კერძოდ, პუშკინის „კაპიტანის ქალიშვილი“ გამომიგზავნეთო.

გაუსი გარდაიცვალა 1855 წ. ამ უდიდეს მეცნიერს ცოტა პირადი მოწაფე ჰყავდა. მაგრამ თამამად შეიძლება მას მთელი მსოფლიოს მათემატიკოსთა მასწავლებელი ვუწოდოთ. თანამედროვე ალგებრის, გეომეტრიის, რიცხვთა თეორიის და უმაღლესი ანალიზის ძირითადი იდეები გაუსიდან მომდინარეობს. მის მიერ შექმნილ ცნებებსა და მეთოდებს მათემატიკოსები და ფიზიკოსები დღესაც იყენებენ.

ნიკოლოზ ლობაჩევსკი

დიდი რუსი მათემატიკოსის ნიკოლოზ ივანეს ძე ლობაჩევსკის უწოდებენ „კოპერნიკს გეომეტრიაში“. იგი დაიბადა 1792 წ. ნიჟნი-ნოვგოროდში (ახლა ქ. გორკი). ნიკოლოზს მამა ადრე გარდაეცვალა; დედა, ჭკვიანი და ენერგიული ქალი, ყაზანში გადავიდა საცხოვრებლად და დიდი წვალების შემდეგ მიაღწია იმას, რომ მისი სამივე ვაჟი გიმნაზიაში სახელმწიფო ხარჯზე მიეღოთ. გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ სამივე ძმამ იმ ხანებში გახსნილ ყაზანის უნივერსიტეტში განაგრძო სწავლა. ნიკოლოზი 14 წლისა შევიდა ფიზიკა-მათემატიკურ ფაკულტეტზე. ამ დროისათვის მან უკვე იცოდა ლათინური, ფრანგული, გერმანული ენები და თავისუფლად კითხულობდა და სწავლობდა ლ. ეილერის, ჟ. ლაგრანჟის, კ. გაუსის შრომებს. უნივერსიტეტში მისი ხელმძღვანელი იყო ღრმად განსწავლული მეცნიერი პროფესორი ბარტელსი, რომელიც მანამდე მეორე დიდ გეომეტრს კ. გაუსს ასწავლიდა. ბარტელსმა ყურადღება მიაქცია ნიჭიერ ყმაწვილს და ყოველმხრივ უწყობდა ხელს, რომ მას დამოუკიდებელი მეცნიერული კვლევა-ძიებანი ჩაეტარებინა.

მაგრამ ყაზანის უნივერსიტეტის ინსპექტორები ლობაჩევსკის უკმაყოფილონი იყვნენ. ამბობდნენ, ეს სტუდენტი თავისუფლად მოაზროვნე და „ღვთისმგმობელიაო“; სდევნიდნენ, ემუქრებოდნენ,



ნიკოლოზ ივანეს ძე ლობაჩევსკი.

უნივერსიტეტიდან გაგრიცხავთ და ჯარისკაცად გაგგზავნითო. მაგრამ პროფესორებმა გადაარჩინეს ნიჭიერი ჭაბუკი.

1811 წ. ლობაჩევსკის პირდაპირ მიანიჭეს მაგისტრის ხარისხი (ჩვეულებრივ, ჯერ კანდიდატის ხარისხს ანიჭებდნენ), ხოლო 1814 წ. მან ლექციების კითხვა დაიწყო. ორი წლის შემდეგ ლობაჩევსკიმ მიიღო წმინდა მათემატიკის კათედრა და ოცდაათი წლის განმავლობაში კითხულობდა მათემატიკის ყველა ძირითად კურსს, ხოლო ზოგჯერ — ასტრონომიასა და მექანიკასაც. 1827 წ. იგი ყაზანის უნივერსიტეტის რექტორად აირჩიეს. ამ დროიდან ლობაჩევსკი უცვლელად ხელმძღვანელობდა უნივერსიტეტს, ვიდრე 1846 წ. არ გადადგა. იგი იყო არა მარტო შესანიშნავი პედაგოგი, არამედ ბრწყინვალე ორგანიზატორიც: მის დროს აშენდა ასტრონომიული და მაგნიტური ობსერვატორიები, ანატომიური თეატრი, ქიმიური ლაბორატორია, ფიზიკის კაბინეტი და ბიბლიოთეკა. მანვე დაარსა ყაზანის უნივერსიტეტის ცნობილი „მეცნიერული წერილები“.

ლობაჩევსკის ეკუთვნის მრავალი შესანიშნავი შრომა ალგებრისა და მათემატიკური ანალიზის საკითხებზე. მაგრამ მისი ძირითადი მიზანი იყო არაევკლიდური გეომეტრიის შექმნა და პროპაგანდა. ევკლიდემ თავისი გეომეტრია ძვ. წ. III ს. შექმნა (იხ. სტატიები „როგორ წარმოიშვა გეომეტრია“ და „სხვადასხვა გეომეტრიების შესახებ“).

ლობაჩევსკი, მის წინამორბედთა მსგავსად, ჯერ პარალელურობის შესახებ აქსიომის დამტკიცებას ცდილობდა, მაგრამ 1823 წ. ახალი იდეა გაუჩნდა: მან დაასკვნა, რომ პარალელურობის შესახებ ევკლიდეს აქსიომის დამტკიცება შეუძლებელია და უფრო მეტიც, პარალელურობის შესახებ შეიძლება მივიღოთ მეორე აქსიომა და მის საფუძველზე შევქმნათ ახალი არაევკლიდური გეომეტრია, რომელიც ისეთივე მწყობრი და ზუსტი იქნება, როგორც ევკლიდეს გეომეტრია იყო. ლობაჩევსკი გატაცებით შეუდგა ასეთი გეომეტრიის აგებას და გულმოდგინედ იკვლევდა და ამტკიცებდა მის კანონებს (იხ. იგივე სტატიები).

ახლა ჩვენთვის ძნელი წარმოსადგენია, თუ რამდენად თამამი იყო ლობაჩევსკის აზრი. ორი ათასი წლის მანძილზე ევკლიდეს გეომეტრია ერთადერთ ჭეშმარიტ გეომეტრიად ითვლებოდა ისევე, როგორც, ვთქვათ, მთელ რიცხვთა მიმატება-გამოკლების კანონები. მის საფუძველზე იყო აგებული ნიუტონის კლასიკური მექანიკა და, საერთოდ, მთელი კლასიკური ფიზიკა. რა დიდი გამბედაობა და მეცნიერული ჭეშმარიტებისადმი უდიდესი თავდადება იყო საჭირო ახალი გეომეტრიის დასამტკიცებლად! მაშინ ბევრს ასეთი მტკიცება სიგიჟედ მიაჩნდა.

1826 წ. 11 თებერვალს ფიზიკა-მათემატიკური განყოფილების სხდომაზე ლობაჩევსკიმ წაიკითხა მოხსენება, რომელშიც ჩამოაყალიბა თავისი ახალი იდეები გეომეტრიაში. ეს თარიღი ითვლება ახალი, არაევკლიდური გეომეტრიის დაბადების თარიღად. მოხსენების ტექსტი დაკარგულია. მოგვიანებით ლობაჩევსკი წერდა: ჩემს მოხსენებაში მე ვანვითარებდი აზრს, რომ პარალელურობის შესახებ აქსიომის დამტკიცება შეუძლებელია, ხოლო ჩვენს რეალურ ფიზიკურ სივრცეში მისი რეალურობის

დადგენა მხოლოდ დაკვირვებით შეიძლებაო. ჩანს, ლობაჩევსკის თამამმა აზრებმა მეცნიერები საგონებელში ჩააგდო. მაგრამ ახალგაზრდა ლობაჩევსკის ფარ-ხმალი არ დაუყრია. 1829 — 1830 წლებში მან გამოაქვეყნა შრომა „გეომეტრიის საწყისების შესახებ“, რომელშიც დაწვრილებით აღწერა პარალელურობის ახალ აქსიომაზე დაფუძნებული გეომეტრია. ამ აქსიომის თანახმად მოცემულ სიბრტყეზე მოთავსებულ და მოცემული წრფის გარეთ მდებარე წერტილში შეიძლება გავავლოთ არა ნაკლები ორი წრფისა, რომლებიც მოცემულ წრფეს არ გადაკვეთენ. მაგრამ ლობაჩევსკის ამ ნაშრომსაც დაცინვით შეხვდნენ. მეცნიერი ფიქრობდა, ალბათ გარკვევით და დამაჯერებლად ვერ გამოვთქვი ჩემი აზრებიო, და 1835 წ. დაწერა ახალი შრომა „წარმოსახვითი გეომეტრია“, გამოსცა ამ შრომის ფრანგული თარგმანიც, აგრეთვე ახალი ნაშრომი „გეომეტრიის ახალი საწყისები პარალელთა სრული თეორიით“ და, ბოლოს, გერმანულ ენაზე გამოაქვეყნა „გეომეტრიული გამოკვლევები პარალელთა სრული თეორიით“.

ლობაჩევსკი ღრმად იყო დარწმუნებული, რომ მის სისტემას გამოიყენებდნენ ჩვენი სივრცის თვისებათა შესწავლისა და აღწერის საქმეში. იმის შესამოწმებლად, თუ გეომეტრიის რომელი კანონები მოქმედებენ კოსმოსში, მეცნიერმა ასტრონომიულ დაკვირვებათა საფუძველზე გამოითვალა იმ სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი, რომლის წვეროებია ორი დიამეტრულად საწინააღმდეგო მდებარეობა დედამიწისა თავის ორბიტაზე და ვარსკვლავი სირიუსი. როგორც ცნობილია, ევკლიდეს გეომეტრიაში ნებისმიერი სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი უდრის $2d$-ს, ხოლო ლობაჩევსკის გეომეტრიაში ეს ჯამი სხვადასხვა სამკუთხედს სხვადასხვა აქვს, მაგრამ ყოველთვის $< 2d$-ზე. ლობაჩევსკი იმედოვნებდა, რომ მის მიერ არჩეული უზარმაზარი სამკუთხედის კუთხეთა ჯამი $2d$-სგან მნიშვნელოვნად იქნებოდა განსხვავებული, მაგრამ გამოთვლის შედეგად ეს განსხვავება სრულიად უმნიშვნელო აღმოჩნდა, რაც, ცხადია, დაკვირვებათა შეცდომებით აიხსნება.

ლობაჩევსკის გეომეტრია მეცნიერის სიცოცხლეში არ აღიარეს.

1846 წ. ლობაჩევსკის პროფესორული მოღვაწეობის 30 წელი შეუსრულდა და, მაშინდელი კანონის თანახმად, უნდა გადამდგარიყო. მეცნიერს ძალიან უმძიმდა საყვარელ უნივერსიტეტთან განშორება და სამსახურიდან გადადგომას მტკივნეულად განიცდიდა. იმის ფიქრმა, რომ მისი გეომეტრია არ აღიარეს, აგრეთვე დაანაღვლიანა ლობაჩევსკი. სიცოცხლის უკანასკნელ წლებში იგი შეუდგა „პანგეომეტრიის“ წერას, სადაც ხაზგასმით აღნიშნავდა, რომ ევკლიდეს გეომეტრია უფრო ვრცელი, არაევკლიდური გეომეტრიის მხოლოდ კერძო, ზღვრულ შემთხვევას წარმოადგენს. ამ დროისათვის მას მხედველობა თითქმის მთლიანად დაკარგული ჰქონდა და თავის წიგნს მოწაფეებს კარნახობდა. ყველა მათემატიკურ გამოანგარიშებას მეცნიერი ზეპირად ასრულებდა. წიგნი სიკვდილამდე ერთი წლით ადრე დაასრულა.

დიდი მეცნიერი ისე გარდაიცვალა (1856 წ.), რომ თავისი გენიალური აღმოჩენის აღიარებას ვერც კი მოესწრო. მაგრამ გარდაცვალებიდან 15 წლის შემდეგ ლობაჩევსკის გეომეტრია არათუ აღიარეს, დიდი მოწონებითაც სარგებლობდა. მის შესახებ კითხულობდნენ ლექციებს, წერდნენ ტრაქტატებს, მეცნიერულ პაექრობას მართავდნენ, სალონებში მსჯელობდნენ, ამ გეომეტრიას პოპულარულ წიგნებსა და ლექსებსაც უძღვნიდნენ. ლობაჩევსკის გეომეტრიის წარმატება შეიძლებოდა შევადაროთ მხოლოდ მეოცე საუკუნის 20-იან წლებში ფარდობითობის თეორიის წარმატებას ან „მოაზროვნე მანქანების“ და კიბერნეტიკის წარმატებას დღეს.

გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან არაევკლიდურ გეომეტრიას სულ უფრო დიდი მნიშვნელობა ენიჭებოდა მათემატიკაში. უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა იმას, რომ მომდევნო მეცნიერთა შრომებში დამტკიცდა ახალი გეომეტრიის არაწინააღმდეგობრიობა. მხოლოდ ამის შემდეგ აღიარეს იგი სრულუფლებიან მათემატიკურ თეორიად. მართლაც, ლობაჩევსკი იმავე აქსიომებს ეყრდნობოდა, რასაც ევკლიდე, ოღონდ ევკლიდეს პარალელურობის აქსიომის ნაცვლად მან მიიღო ზემოთ აღნიშნული ახალი აქსიომა. ლობაჩევსკის გეომეტრიის დებულებები მიიღებოდა როგორც შედეგი აქსიომათა ამ ახალი სისტემისა. თუ გამოკვლევას გავაგრძელებდით, იქნებ სადმე წინააღმდეგობას წავწყდომოდით. ეს იმაზე მიგვითითებდა, რომ მიღებული დაშვება, ე. ი. ლობაჩევსკის პარალელურობის აქსიომა მცდარი იყო. ამრიგად, ჩვენ მივიღებდით ევკლიდეს აქსიომის მტკიცებას წინააღ-

მდეგობის დაშვების მეთოდით. ხოლო თუ ასეთი წინააღმდეგობა არ აღმოჩნდებოდა, მაშასადამე, გეომეტრიის ახალი სისტემა ლოგიკურად ევკლიდეს გეომეტრიის თანასწორუფლებიანი იქნებოდა.

არაევკლიდურ გეომეტრიასთან დაკავშირებით პირველად დაისვა საკითხი, როგორ უნდა დამტკიცდეს, საერთოდ, ზოგიერთი მათემატიკური თეორიის არაწინააღმდეგობრიობა და პირველად აღმოაჩინეს არაწინააღმდეგობრიობის დამტკიცების მეთოდები. ამ პრობლემის გამოკვლევას უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა მათემატიკის შემდგომი განვითარებისათვის. უპირველეს ყოვლისა, საჭირო გახდა ყველა იმ აქსიომის გამოვლინება და გაანალიზება, რომლებიც ევკლიდეს გეომეტრიის საფუძველს შეადგენენ. ეს XIX ს. დასასრულს განახორციელა უდიდესმა მათემატიკოსმა დ. ჰილბერტმა. ამ პრობლემის შემდგომი დამუშავების საფუძველზე შეიქმნა აქსიომატური მეთოდი, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს თანამედროვე მათემატიკაში.

როგორც ლობაჩევსკი ვარაუდობდა, მისი გეომეტრია XIX ს. ბოლოს გამოიყენეს ფიზიკაში, კერძოდ, ფარდობითობის სპეციალური პრინციპისათვის. ალბათობის ზოგადი პრინციპისათვის კი საჭირო გახდა ბ. რიმანის მიერ აგებული არაევკლიდური გეომეტრიის სხვა სისტემები.

ამრიგად, ლობაჩევსკის გეომეტრიამ არა მარტო გააფართოვა გეომეტრიის კვლევის სფერო; მას ფართოდ იყენებდნენ მათემატიკის სხვა დარგებშიც; ამ გეომეტრიამ ხელი შეუწყო ახალ მათემატიკურ იდეათა და მეთოდების შექმნას და უაღრესად საჭირო აღმოჩნდა თანამედროვე ფიზიკისათვის.

ევარისტ გალუა

ხანმოკლე მაგრამ ნაყოფიერი იყო სიცოცხლე ამ შესანიშნავი მათემატიკოსისა, რომლის იდეებმა გარდაქმნეს ალგებრა და გადამწყვეტი ზეგავლენა მოახდინეს გეომეტრიისა და ანალიზის განვითარებაზე.

გალუა დაიბადა 1811 წ. 26 ოქტომბერს ქალაქ ბურ-ლია-რენში პარიზის მახლობლად. მამამისი ახალგაზრდობის სასწავლებელს ხელმძღვანელობდა, ხოლო 1813 წლიდან თავისი ქალაქის უცვლელი მერი იყო. ევარისტი ავადმყოფი და მგრძნობიარე ბავშვი ყოფილა. პირველდაწყებითი განათლება დედის — ანტიკური კულტურის დიდი თაყვანისმცემლის — ხელმძღვანელობით მიუღია.

12 წლის გალუა სასწავლებლად პარიზის სამეფო კოლეჯში შეიყვანეს. პირველი სამი წელი იგი კარგ მოწაფედ ითვლებოდა (თუმცა მასწავლებლები აღნიშნავდნენ, ცოტა უცნაური მანერები აქვსო), მაგრამ სწავლების მეოთხე წელს მათემატიკამ ისე გაიტაცა, რომ სხვა საგნები სრულიად მიივიწყა. ერთ-ერთი მასწავლებლის სიტყვებით „იგი მათემატიკის დემონმა შეიპყრო“.

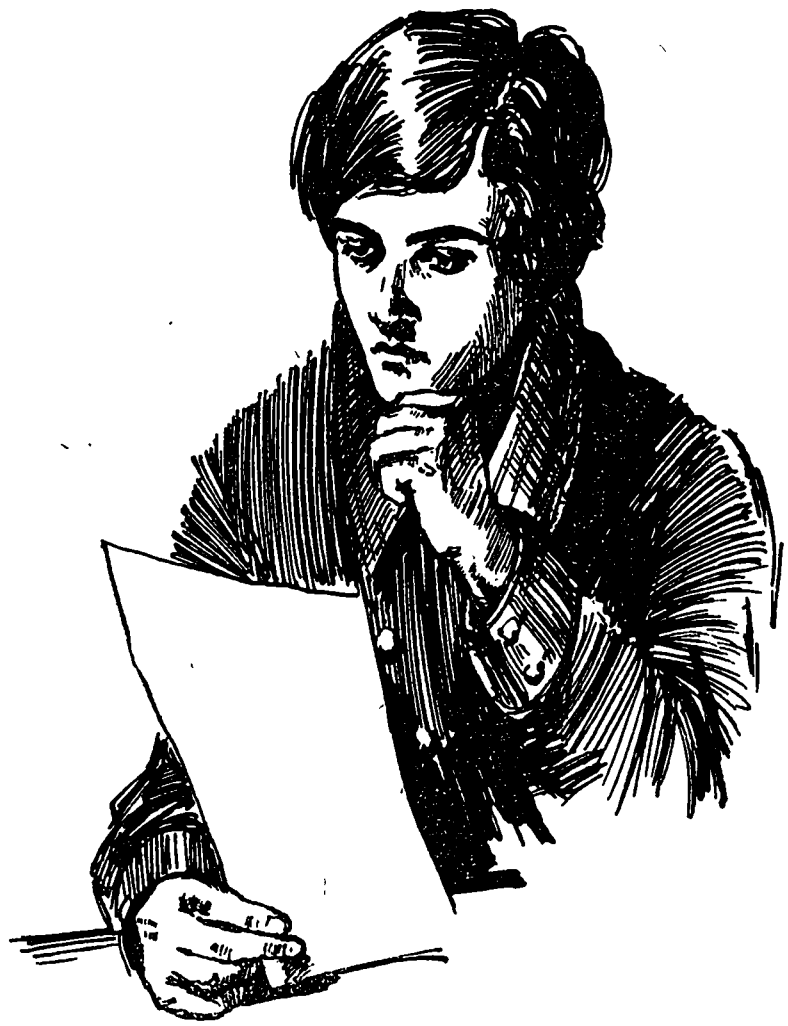
გალუა დამოუკიდებლად სწავლობდა ჟ. ლაგრანჟის, ლ. ეილერის, კ. გაუსის, ხოლო შემდეგში — მისი საყვარელი მათემატიკოსის ნ. აბელის თხზულებებს. 1828 წ. იგი პოლიტექნიკური სკოლის მისაღებ გამოცდებზე ჩაიჭრა და შემდეგ მთელი წელი ემზადებოდა მათემატიკის შესანიშნავი მასწავლებლის რიშარის ხელმძღვანელობით. იმავე ხანებში რიშართან მეცადინეობდნენ შემდგომ სახელგანთქმული მათემატიკოსი შარლ ერმიტი და სახელგანთქმული ასტრონომი ლევერიე, მაგრამ რიშარს თავის მოწაფეთა შორის ყველაზე ნიჭიერად გალუა მიაჩნდა. იმ დროს გალუას თავისი ერთ-ერთი ნაშრომი უკვე გამოქვეყნებული ჰქონდა. მიუხედავად ამისა, მეგობრებისა და მასწავლებლების გასაოცრად, 1829 წ. ევარისტი ხელმეორედ ჩაიჭრა მისაღებ გამოცდებზე. როგორც ჩანს, ამჯერადაც მიზეზი მისი ნერვიული ხასიათი იყო. გალუას მოეჩვენა, რომ გამომცდელები დასცინოდნენ: მეტისმეტად იოლ კითხვებს აძლევდნენ, და გაბრაზებულმა უარი განაცხადა პასუხის გაცემაზე.

გალუა რომ პოლიტექნიკურ სკოლაში ჩაერიცხათ, ვინ იცის, მისი ცხოვრება იქნებ სულ სხვაგვარად წარმართულიყო. იმ ხანებში პოლიტექნიკურ სკოლაში საფრანგეთის საუკეთესო მათემატიკოსები ასწავლიდნენ და მოსწავლეებს მეცნიერული კვლევა-ძიების სრული შესაძლებლობა ჰქონდათ. მაგრამ ევარისტს კიდევ ერთი წელი ლოდინი არ

შეეძლო: მამამისი გარდაიცვალა და საარსებო სახსრების შოვნაზე უნდა ეზრუნა. ამიტომ რიშარის რჩევით შევიდა ნორმალურ სკოლაში (აქ სტუდენტებს სტიპენდია ეძლეოდათ), რომელიც საშუალო და უმაღლესი სასწავლებლებისათვის პედაგოგებს ამზადებდა. სკოლაში პირველსავე წელს გალუამ რამდენიმე მეცნიერული შრომა დაწერა. ამ შრომათაგან განსაკუთრებით საინტერესო იყო რიცხვთა თეორიის საკითხებისადმი მიძღვნილი შრომა. ეს შრომები და პირველი გამოკვლევა განტოლებათა რადიკალებში ამოხსნის შესახებ ევარისტმა პარიზის აკადემიის დიდი მათემატიკური პრიზის მოსაპოვებლად წარადგინა. ყველა სტატია აკადემიის მდივანთან, ცნობილ მათემატიკოს ჟ. ფურიესთან მოხვდა. მაგრამ ფურიე მალე გარდაიცვალა. მის საქმეებში გალუას შრომათა ნაწილი იპოვეს, ხოლო ნაწილი, მათ შორის სტატია განტოლების რადიკალებში ამოხსნის შესახებ — დაიკარგა. ნაპოვნი შრომები გამოქვეყნდა.

1830 წ. ივლისამდე გალუას პოლიტიკა არ აინტერესებდა. მაგრამ რევოლუციის პირველსავე დღეებში ჩვეული გატაცებით ჩაება პოლიტიკაში. იგი მიემხრო რესპუბლიკელთა პარტიის მემარცხენე ფრთას, ე. წ. ხალხის მეგობართა საზოგადოებას. იმავე წლის დეკემბერში გალუამ პრესაში გამოაქვეყნა ნორმალური სკოლის დირექტორის წინააღმდეგ მიმართული მამხილებელი სტატია (სკოლის დირექტორი ივლისის რევოლუციის დღეებში გამცემლურად მოქმედებდა). ამ სტატიის გამო გალუა სკოლიდან გარიცხეს.

1831 წ. იანვარში გალუამ პარიზის მეცნიერებათა აკადემიაში კვლავ გაგზავნა თავისი გამოკვლევა განტოლებათა რადიკალებში ამოხსნის შესახებ. პრეზიდენტისადმი მიმართულ წერილში გალუა ითხოვდა — ყურადღებით მაინც წაიკითხეთო ჩემი ნაწერი. ამჯერად შრომა განსახილველად გადასცეს ორ აკადემიკოსს. მაგრამ მათ ვერაფერი გაუგეს გალუას ხელნაწერს — მეტისმეტად ახალი და უჩვეულო იყო იქ გამოთქმული იდეები. აკადემიამ უარყო გალუას შრომა. თვითონ გალუა ამ დროს ციხეში იჯდა. იგი 1831 წ. მაისში დააპატიმრეს სადღეგრძელოსათვის, რომელიც ლუდოვიკო ფილიპეს წინააღმდეგ მიმართულ სიტყვად მიიჩნიეს. სასამართლომ გაამართლა ევარისტი, მაგრამ სულ მალე ისევ დააპატიმრეს, როგორც 14 ივლისის დემონსტრაციის ერთ-ერთი ხელმძღვანელი. ამჯერად მან ციხეში 9 თვე დაჰყო. ციხიდან გამოსვლისთანავე შეწყდა ჭაბუკის სიცოცხლე. 1832 წ. მაისში ოცი წლის ევარისტ გალუა დუელში მოკლეს.



ევარისტ გალუა.

დუელის წინა ღამეს საკუთარი იდეების სისწორეში დარწმუნებულმა გალუამ (მან უკვე იცოდა, რომ აკადემიამ უარყო მის შრომები) მეგობარ ოგიუსტ შევალიეს თითქმის მთლიანად მათემატიკისადმი მიძღვნილი წერილი მისწერა და სთხოვა, თუ მომკლეს, საჯაროდ მიმართე კ. გაუსსა და კ. იაკობის, რომ „გამოიტანონ დასკვნა არა ამ თეორემების სამართლიანობის, არამედ მათი მნიშვნელობის შესახებ“.

მაგრამ წერილიც და გალუას შესანიშნავი ნაშრომიც — „განტოლებათა რადიკალებში ამოხსნის პირობათა შესახებ“ გამოქვეყნდა მხოლოდ 14 წლის შემდეგ, როდესაც ცნობილმა მეცნიერმა ჟ. ლიუვილმა 1846 წ. თავი მოუყარა და გამოსცა გალუას ყველა შრომა. მაგრამ კიდევ 20 წელი გავიდა, ვიდრე გალუას იდეები მათემატიკურ მეცნიერებაში დამკვიდრდებოდა.

გალუას მათემატიკური მემკვიდრეობა შეადგენს

სულ 60 გვერდზე დაბეჭდილ ტექსტს. მრავალი აზრის გადმოცემა, ჩამოყალიბება ჭაბუკმა ვერც მოასწრო, დარჩა მხოლოდ დაუმთავრებელ შრომათა ჩანაწერები, გეგმები, რომლებსაც განხორციელება არ ეწერა. მაგრამ ის, რისი გაკეთებაც მოასწრო გენიოსმა ჭაბუკმა, იმდენად მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა, რომ სრულიად შეცვალა ალგებრის განვითარების მიმართულება.

პრობლემა, რომელსაც გალუა იკვლევდა, შემდეგში მდგომარეობდა: როგორც ცნობილია, მე-2, მე-3 და მე-4 ხარისხის განტოლებათა ფესვები შეიძლება გამოისახოს რადიკალების საშუალებით ამ განტოლებათა კოეფიციენტებით. 1824 წ. აბელმა დაამტკიცა, რომ არსებობს მე-5 ხარისხის განტოლებები, რომლებიც რადიკალებში არ ამოიხსნება. მაგრამ, ამასთანავე, ცნობილი იყო, რომ შეიძლება ვიპოვოთ ნებისმიერი ხარისხის განტოლება, რომელიც ამოიხსნება რადიკალებში, მაგალითად, განტოლობა $x^n - 1 = 0$, როცა $n = 2, 3, 4, \ldots$ ვთქვათ, მოცემულია n ხარისხის განტოლება, ე. ი. ნაცემია მისი კოეფიციენტები. როგორ დავადგინოთ, შეიძლება თუ არა ამ განტოლების რადიკალებში ამოხსნა? სწორედ ეს პრობლემა ამოხსნა გალუამ. განსაკუთრებით საინტერესოა მის მიერ გამოყენებული ამოხსნის მეთოდი. სამწუხაროდ, აქ ჩვენ მხოლოდ ძალიან მოკლედ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ამ ამოცანის ამოსახსნელად გალუამ ააგო ჯგუფთა თეორია და დაიწყო ველთა თეორიის აგება. ორივე ეს თეორია შეადგენს თანამედროვე ალგებრის საფუძველს, ხოლო ჯგუფთა თეორია—მთელი მათემატიკისას. (იხ. სტატია „რას შეისწავლის ალგებრა?“).

პაფნუტი ჩებიშევი

გასული საუკუნის ერთ-ერთი უდიდესი მათემატიკოსი პაფნუტი ჩებიშევი დაიბადა 1821 წ. კალუგის გუბერნიაში. პაფნუტი ჩებიშევმა პირველდაწყებითი განათლება შინ მიიღო. თექვსმეტი წლის ჩებიშევი მოსკოვის უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე ჩარიცხეს. აქ მან დაწერა პირველი მეცნიერული ნაშრომი: „განტოლებათა ფესვების გამოთვლა“, რომელშიაც გააანალიზა ალგებრულ განტოლებათა ფესვების მიახლოებითი გამოთვლის ყოველი მანამდე არსებული მეთოდი: ნიუტონის, ლაგრანჟის, ფურიეს მეთოდები და მოგვცა ახალი, უფრო ზოგადი მეთოდი, რომლის თანახმადაც ყველა ადრინდელი მეთოდი მხოლოდ ზოგადის კერძო შემთხვევას წარმოადგენდა. ამ ნაშრომისათვის ჩებიშევი ვერცხლის მედლით დააჯილდოვეს.

1841 წ. ჩებიშევმა დაამთავრა მოსკოვის უნივერსიტეტი. მას ან სამსახური უნდა დაეწყო და მათემატიკაზე ხელი აეღო, ან საყვარელი მათემატიკისათვის შეეწირა ყველაფერი და სიღარიბეში ეცხოვრა. ჩებიშევმა უკანასკნელი გზა ირჩია.

1846 წ. ჩებიშევმა დაიცვა სამაგისტრო დისერტაცია — „ალბათობათა თეორიის ელემენტარული ანალიზის ცდა“. მომდევნო წელს ახალგაზრდა მეცნიერს პეტერბურგის უნივერსიტეტში ადიუნქტის თანამდებობა შესთავაზეს და ისიც საცხოვრებლად ამ ქალაქში გადავიდა. 1860 წ. ჩებიშევი პეტერბურგის უნივერსიტეტის პროფესორი გახდა. ბევრი დრო და ენერგია მოანდომა ჩებიშევმა რიცხვთა თეორიის შესახებ ეილერის გამოკვლევათა სისტემაში მოყვანასა და გამოცემას. ამ თეორიის საკითხები სულ უფრო და უფრო იპყრობდა თვით ჩებიშევის ყურადღებას. 1849 წ. მან დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია—„შედარებათა თეორია“, რომელშიც განიხილავდა რიცხვთა თეორიის პრობლემებს. ამავე პერიოდს ეკუთვნის მისი ცნობილი შრომები მარტივი რიცხვების შესახებ.

მეცნიერებს ძველთაგანვე აინტერესებდათ, რომელი კანონის შესაბამისადაა განლაგებული ნატურალურ მწკრივში მარტივი რიცხვები: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19,... ევკლიდეს „საწყისებში“ დამტკიცებული იყო, რომ მარტივი რიცხვები უსასრულოდ ბევრია. ევკლიდეს შემდეგ ორი ათასზე მეტი წელი გავიდა, მაგრამ მის თეორემას ახალი არაფერი შემატებია. ნატურალურ მწკრივში მარტივი რიცხვები მეტად უცნაურადაა განლაგებული. ერთის მხრივ, არსებობს მარტივი „ორეული“ რიცხვები, რომლებიც ერთმანეთისაგან 2-ით განსხვავდებიან,

მაგალითად: 3 და 5, 7 და 9, 11 და 13, 17 და 19, 41 და 43 და ა. შ. არსებობს ჰიპოთეზა, რომ ასეთი რიცხვები უსასრულოდ ბევრია. მეორეს მხრივ. თუ ყველა მარტივ რიცხვს დავალაგებთ მწკრივად მათი ზრდის მიხედვით:

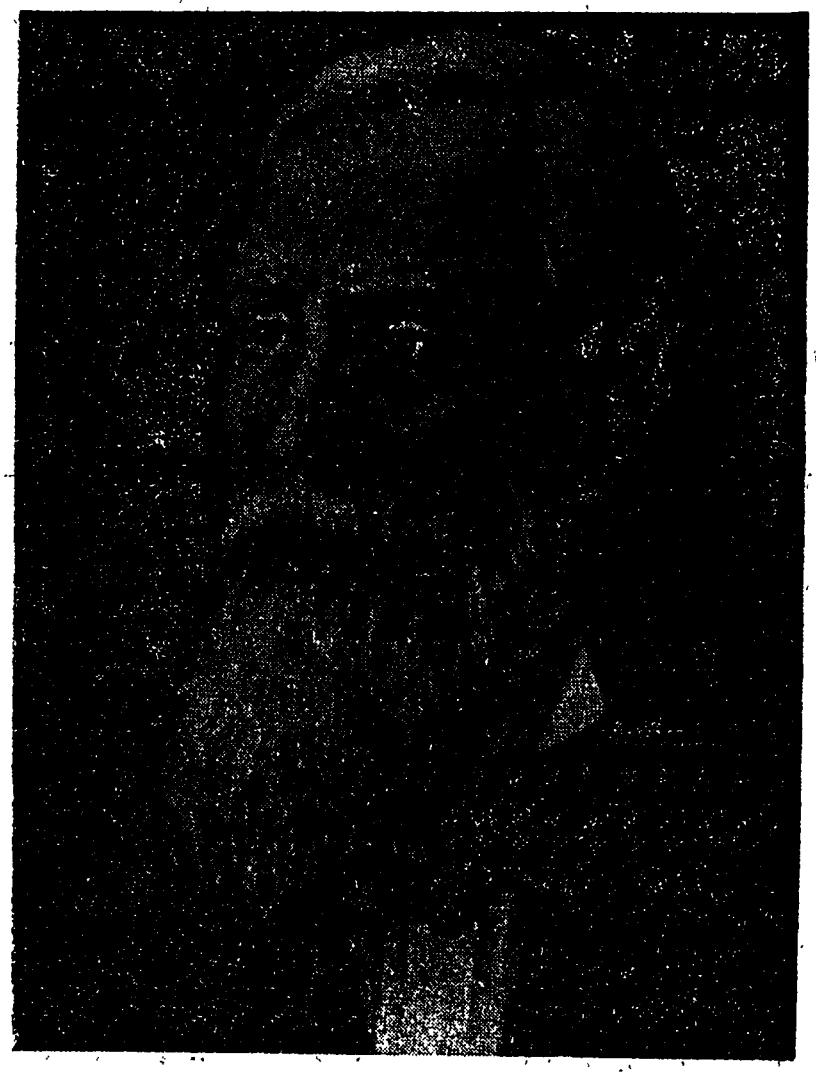
$$p_1,\ p_2, \cdots, p_n, \cdots\ (p_1 < p_2 < \cdots < p_n < \cdots),$$

ყოველთვის შეგვიძლია ამ მწკრივში ვიპოვოთ ორი მეზობელი რიცხვი p_m და p_{m+1}, რომელთა შორის განსხვავება $p_{m+1} - p_m$ ნებისმიერად დიდი იქნება.

ახლა ასეთი ამოცანა დავისახოთ: ვთქვათ $\pi(n)$ აღნიშნავს იმ მარტივი რიცხვების რიცხვს, რომლებიც არ აღემატება n-ს. ჩვენ არ შეგვიძლია განვსაზღვროთ, როგორი იქნება $\pi(n)$ ნებისმიერი n რიცხვისათვის; მაგრამ ხომ არ შეიძლება მისი თუნდაც მიახლოებით გამოთვლა? ჯერ კიდევ კ. გაუსმა და ა. ლეჟანდრმა წმინდა ემპირიული გზით დაასკვნეს, რომ დიდი n-ისათვის $\pi(n)$ დაახლოებით უდრის $\frac{n}{\log_e n}$, ამასთან მნიშვნელში ნატურალური ლოგარითმია, ე. ი. აღებული $e = 2{,}7182\ldots$ ფუძით. მაგრამ თვით ასეთმა გამოჩენილმა მათემატიკოსებმაც კი ვერ შეძლეს მათ მიერ შემჩნეული ფაქტის დამტკიცება. მხოლოდ ჩებიშევმა მოახერხა მარტივი რიცხვების პრობლემის გარკვევა. მან გვიჩვენა, რომ თუ ფარდობას $\frac{\pi(n)}{\frac{n}{\log_e n}}$ აქვს ზღვარი, როდესაც n უსაზღვროდ იზრდება, მაშინ ეს ზღვარი ერთის ტოლია. შემდეგ ნაჩვენები იყო, რომ დიდი n-ისათვის მრიცხველი $\pi(n)$ დაახლოებით $\frac{n}{\log_e n}$ მნიშვნელის ტოლია.

რიცხვთა თეორიისადმი მიძღვნილი გამოკვლევების შედეგად ახალგაზრდა რუსი მათემატიკოსი ევროპის პირველ მეცნიერთა რიგებში აღმოჩნდა.

ჩებიშევს სახელი გაუთქვა აგრეთვე მისმა გამოკვლევებმა ალბათობათა თეორიაში. ალბათობათა თეორია მათემატიკის შედარებით ახალი დარგია. მისი პირველი ამოცანები მხოლოდ XVI—XVII სს. აზარტულ თამაშებთან (ბანქო, კამათელი) და დაკვირვებათა შედეგების დამუშავებასთან დაკავშირებით წამოიჭრა. მართალია ალბათობათა თეორიის ძირითადი დებულებები ჩებიშევამდეც არსებობდა, მაგრამ მისი ძირითადი მეთოდები მაინც არ იყო სათანადო სიზუსტით ჩამოყალიბებული, ხოლო მისი გამოყენება ხშირად იძლეოდა აშკარად



პაფნუტი ლევის ძე ჩებიშევი.

მცდარ შედეგებს. ასეთმა წარუმატებლობამ სახელი გაუტეხა ალბათობათა თეორიას.

მხოლოდ ჩებიშევმა შეძლო ალბათობათა თეორიის კრიზისიდან გამოყვანა. მან შემოიღო და სისტემატურად განიხილავდა შემთხვევით სიდიდეებს, აღმოაჩინა ამ თეორიის თეორემათა დამტკიცების ახალი მეთოდიც. ამ დროიდან ალბათობათა თეორია მათემატიკის სრულუფლებიანი დისციპლინა გახდა.

ჩებიშევი ითვლება ალბათობათა თეორიის რუსული სკოლის მამამთავრად. ამ სკოლას დღემდე წამყვანი ადგილი უჭირავს მსოფლიო მათემატიკურ მეცნიერებაში. ჩებიშევისა და მისი სკოლის მოწაფეთა შრომების შედეგად ალბათობათა თეორია ფიზიკის (განსაკუთრებით კვანტური მექანიკის), ტექნიკის, ბიოლოგიის და სხვ. პრობლემათა ამოხსნის მძლავრი იარაღი გახდა.

ჩებიშევს ჯერ კიდევ ჭაბუკობის წლებში იტაცებდა რთული მექანიზმების აგება. ეს გატაცება სიცოცხლის ბოლომდე შემორჩა. მან გამოიგონა

ორმოცზე მეტი ტიპის სახსრიანი მექანიზმი, მათ შორის ტერფმავალი მანქანა (იგი ცხოველების სიარულის მოძრაობებს იმეორებდა), მოსასმელი მექანიზმი, რომელიც ნიჩბების მოძრაობას იმეორებდა, თვითმგორავი სავარძელი და სხვ. მეცნიერის გამოგონებათა გამოფენა მოეწყო ჩიკაგოში. მან უდიდესი შთაბეჭდილება მოახდინა თანამედროვეებზე. ჩებიშევმა ააგო აგრეთვე პირველი არითმომეტრი — ნახევარავტომატი, რომელიც ამჟამად პარიზის ხელოვნების და ხელობათა მუზეუმში ინახება.

ჩებიშევს მექანიზმები აინტერესებდა არა მარტო როგორც გამომგონებელს, არამედ როგორც მათემატიკოსსაც. მექანიზმთა თეორიის საკითხების დამუშავების დროს მეცნიერმა შეძლო დაენახა იმ დროისათვის ჯერ კიდევ სრულიად შეუსწავლელი ახალი მათემატიკური პრობლემები. ამ პრობლემებისადმი მიძღვნილმა ჩებიშევის შრომებმა საფუძველი ჩაუყარეს ფუნქციათა საუკეთესო მიახლოების თეორიას, რომელიც წარმატებით ვითარდება.

ერთხელ ჩებიშევმა ხუმრობით განაცხადა: მათემატიკამ განვითარების სამი პერიოდი განვლო: პირველ პერიოდში ამოცანებს ღმერთები აყენებდნენ (იგი გულისხმობდა კუბის გაორკეცების ამოცანას, რომელსაც გადმოცემით ორაკულს მიაწერდნენ), მეორეში — ნახევრად ღმერთები (ე. ი. ისეთი მათემატიკოსები, როგორიც ფერმა იყო), ახლანდელ, მესამე პერიოდში კი ამოცანებს გაჭირვება ანუ, ცხოვრება აყენებსო. სწორედ პრაქტიკის მოთხოვნებისადმი იჩენდა განსაკუთრებულ ყურადღებას ჩებიშევი.

ჩებიშევს ბევრი მოწაფე ჰყავდა. იგი სამართლიანად ითვლება პეტერბურგის მათემატიკური სკოლის მამამთავრად, რომლის წარმომადგენლებიც არიან გამოჩენილი მათემატიკოსები: ე. ზოლოტარიოვი, ა. მარკოვი, ა. ლიაპუნოვი, გ. ვორონოი და სხვ.

ჩებიშევის დამსახურება მთელ მსოფლიოში აღიარეს. 38 წლის ასაკში იგი პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიის, ხოლო შემდეგ პარიზისა და ბერლინის აკადემიების, ლონდონის სამეფო საზოგადოების და სხვა მრავალი აკადემიის წევრად აირჩიეს. მეცნიერმა დიდხანს იცოცხლა და უკანასკნელ წუთამდე ბევრსა და ნაყოფიერად მუშაობდა. ჩებიშევის სიცოცხლე შეწყდა 1894 წ. საწერ მაგიდასთან მეცნიერმა უცებ ცუდად იგრძნო თავი და მალე გულის დამბლისაგან გარდაიცვალა.

სოფიო კოვალევსკაია

ვის არ სმენია პირველი რუსი მათემატიკოსი ქალის სოფიო ვასილის ასულ კოვალევსკაიას სახელი. იგი დაიბადა 1850 წ. მოსკოვში, სამსახურიდან გადამდგარი არტილერიის გენერალ-ლეიტენანტის ვ. კორვინ-კრუკოვსკის ოჯახში. პატარა გოგონა, რომელსაც მეტსახელად „ბელურას“ ეძახდნენ, საოცრად იოლად ითვისებდა ყველაფერს. მამა ახალისებდა გოგონას, მეცნიერებისადმი ინტერესსა და სიყვარულს უნერგავდა. ბეჯითი, ცნობისმოყვარე სოფიო განსაკუთრებით გაიტაცა მათემატიკამ. აი, როგორ გაეცნო იგი პირველად უმაღლეს მათემატიკას: ერთხელ ბავშვის ოთახში კედლებზე ააკრეს ფურცლები, რომლებზედაც დაბეჭდილი იყო ცნობილი მათემატიკოსის მ. ოსტროგრადსკის ლექციები მათემატიკურ ანალიზში. ამ ფურცლებიდან პატარა სოფიოს, მისივე თქმით, ბევრი ფორმულა დაამახსოვრდა. მრავალი წლის შემდეგ კი მის მასწავლებელს მათემატიკურ ანალიზში უკვირდა: ისე უცებ გაიგო და აითვისა ზღვრისა და წარმოებულის ცნებები, გეგონებოდათ, ადრევე იცოდაო. განსაკუთრებით დიდ შთაბეჭდილებას ახდენდა გოგონაზე მისი ბიძის, მათემატიკოსის, საუბრები. მამამისის ნაცნობმა მათემატიკის პროფესორმა ტირნოვმა 14 წლის გოგონას განსაკუთრებული მათემატიკური ნიჭი შენიშნა. სოფიოს ჯერ ტრიგონომეტრია შესწავლილი არ ჰქონდა, მაგრამ უკვე ცდილობდა გარკვეულიყო ტრიგონომეტრიულ ფორმულებში, რომლებიც მას ფიზიკის სახელმძღვანელოში ხვდებოდა. მამამ სოფიოსათვის შინ მიიწვია მათემატიკის ერთ-ერთი ცნობილი მასწავლებელი და 15 წლის გოგონა შეუდგა უმაღლესი მათემატიკის სისტემატურ შესწავლას.

იმ ხანებში ქალიშვილებს უმაღლეს სკოლებსა და უნივერსიტეტებში სწავლა ეკრძალებოდათ. მხოლოდ საზღვარგარეთის ზოგიერთ უმაღლეს სასწავლებელში შეეძლოთ ქალებს განათლების მიღება. მაგრამ ქალიშვილებისათვის მარტოდმარტო, მშობლების გარეშე საზღვარგარეთ სასწავლებლად წასვლა უაღრესად დიდ სიძნელეს წარმოადგენდა. ბევრი ქალიშვილი ფიქტიურ ქორწინებას აფორმებდა იმისათვის, რომ საზღვარგარეთ გამგზავრების და უმაღლეს სასწავლებელში სწავლის უფლება ჰქონოდა. სოფიო ვასილის ასული ცოლად გაჰყვა ახალგაზრდა მეცნიერს ვ. კოვალევსკის.

1869 წ. ახალგაზრდა კოვალევსკები საზღვარგარეთ, გერმანიაში, საუნივერსიტეტო ქალაქ ჰაიდელბერგში, გაემგზავრნენ და გულმოდგინედ შეუდგნენ თავთავის დარგში მეცადინეობას.

ჰაიდელბერგში ს. კოვალევსკაია ესწრებოდა გამოჩენილ მეცნიერთა, მათემატიკოსთა ლექციებს. 1870 წელს იგი ბერლინს გაემგზავრა. განზრახული ჰქონდა, რადაც არ უნდა დასჯდომოდა, მოეპოვებინა ცნობილი გერმანელი მათემატიკოსის კ. ვაიერშტრასის ლექციებზე დასწრების უფლება. კ. ვაიერშტრასი ლექციებს კითხულობდა ბერლინის უნივერსიტეტში, სადაც ქალებს სწავლა აკრძალული ჰქონდათ. თვით ვაიერშტრასს მიაჩნდა, რომ ქალები, საერთოდ, არ უნდა სწავლობდნენ უნივერსიტეტში, მით უმეტეს მათემატიკურ ფაკულტეტზე. მაგრამ ს. კოვალევსკაიამ მიაღწია იმას, რომ ვაიერშტრასს გამოეცადა იგი მისი კერძო მოწაფის უფლების მოსაპოვებლად. პროფესორმა ს. კოვალევსკაიას ამოსახსნელად მისცა მეტად რთული, ძნელად ამოსახსნელი ამოცანები და ფრიად გაოცდა, როდესაც მეორე დღეს აღელვებულმა ახალგაზრდა ქალმა ბრწყინვალედ ამოხსნილი ამოცანები მიუტანა. მალე ვაიერშტრასმა აღიარა თავისი მოწაფის განსაკუთრებული მათემატიკური ნიჭი. იგი წერდა: „რაც შეეხება კოვალევსკაიას მათემატიკურ განათლებას, მე იშვიათად მყოლია მისებრ ბეჯითი, ნიჭიერი, მეცნიერებით გატაცებული მოწაფე“.

ოთხი წლის შემდეგ კ. ვაიერშტრასის შუამდგომლობით გეტინგენის უნივერსიტეტში ს. კოვალევსკაიას დაუსწრებლად მიანიჭეს ფილოსოფიურ მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხი. ეს იყო ღირსეული ჯილდო იმ თვალსაჩინო მეცნიერული ნაშრომებისთვის, რომლებიც იმხანად მეცნიერ ქალს უკვე გამოქვეყნებული ჰქონდა. აღნიშნულ შრომებში ს. კოვალევსკაია განიხილავდა მათემატიკისა და მექანიკის უაღრესად საინტერესო საკითხებს. შრომაში „კერძო წარმოებულებიან დიფერენციალურ განტოლებათა თეორიის საკითხისათვის“ მოცემულია ასეთი განტოლებების ამონახსნების არსებობის დამტკიცება. ახლა ამ თეორემას ს. კოვალევსკაიას თეორემის სახელწოდებით ასწავლიან უნივერსიტეტებში. მეორე შრომა მიძღვნილია გიგანტური ფორმის რგოლისადმი, რომელიც გარს ერტყმის პლანეტა სატურნს და, როგორც ამბობენ, „კალმის წვერზეა შემოხაზული“. მესამე შრომაში განხილულია მათემატიკური ანალიზის ურთულესი საკითხები.



სოფიო ვასილის ასული კოვალევსკაია.

24 წლის ს. კოვალევსკაია „დოქტორის დიპლომით“ დაბრუნდა პეტერბურგში. მეცნიერი ქალის

სამეცნიერო და პირადი ცხოვრება ისე წარიმართა, რომ იგი ჩამოშორდა მათემატიკას. მაშინდელი კანონების თანახმად, ს. კოვალევსკაიას მხოლოდ დაწყებით კლასებში არითმეტიკის სწავლების უფლება ჰქონდა. ამ პერიოდში ს. კოვალევსკაია წერს მოთხრობებს და სტატიებს — იწყება მისი ლიტერატურული მოღვაწეობა. მას საბოლოოდ მაინც ვერ გადაეწყვიტა, რა უფრო იზიდავდა, მათემატიკა თუ ლიტერატურა. მისი მეგობრები იყვნენ მეცნიერებიც (დ. მენდელეევი, პ. ჩებიშევი) და მწერლებიც (ი. ტურგენევი, თ. დოსტოევსკი). სწორედ დოსტოევსკიმ შეუწყო ხელი მეცნიერი ქალის მწერლური ნიჭის განვითარებას. ს. კოვალევსკაიას კალამს ეკუთვნის: „ბავშვობის მოგონებები“, „ნიჰილისტი ქალი“, დრამა „ბრძოლა ბედნიერებისათვის“ და მრავალი სხვა ნაწარმოები.

1883 წ. ტრაგიკულად დაიღუპა ვ. კოვალევსკი. ს. კოვალევსკაია მრავალჯერ მიიწვიეს საზღვარგარეთის უნივერსიტეტებში სამუშაოდ. ბოლოს და ბოლოს მეცნიერმა ქალმა სტოკჰოლმის უნივერსიტეტი აირჩია. აქ მისი ლიტერატურული და სამეცნიერო მოღვაწეობა განსაკუთრებით ნაყოფიერი აღმოჩნდა. სტოკჰოლმის უნივერსიტეტში მან დიდი წარმატებით წაიკითხა მათემატიკის ოცამდე კურსი. ს. კოვალევსკაიას მეცნიერული შრომა მყარი სხეულის ბრუნვის შესახებ პარიზის აკადემიის განსაკუთრებული ჯილდოთი აღინიშნა.

1889 წ. ჩებიშევის დაჟინებული მოთხოვნის შემდეგ პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიამ ჯერ მიიღო სპეციალური დადგენილება ქალებისათვის აკადემიურ წოდებათა მინიჭების შესახებ, ხოლო შემდეგ ს. კოვალევსკაია თავის წევრ-კორესპონდენტად აირჩია. შემონახულია კოვალევსკაიასადმი გაგზავნილი ჩებიშევის დეპეშა: „ჩვენმა მეცნიერებათა აკადემიამ თქვენ წევრ-კორესპონდენტად აგირჩიათ და ამრიგად შემოიღო სრულიად ახალი, მანამდე უპრეცედენტო წესი. მე ბედნიერი ვარ, რომ განხორციელდა ჩემი ერთ-ერთი მხურვალე და სამართლიანი სურვილი. ჩებიშევი“.

ს. კოვალევსკაია მოულოდნელად, სრულიად ახალგაზრდა, შემოქმედებითი ენერგიით აღსავსე გარდაიცვალა 1891 წ.

გამოჩენილი ქართველი მათემატიკოსები

თბილისის უნივერსიტეტის დაარსებამ 1918 წელს უმაღლესი განათლებისა და მეცნიერების განვითარებას საქართველოში მტკიცე საფუძველი ჩაუყარა.

ამ უნივერსიტეტში 1918 წლის შემოდგომაზე გაიხსნა მათემატიკა-ბუნებისმეტყველების ფაკულტეტი, რომელიც შემდეგში ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტად გადაკეთდა და საქართველოში მათემატიკური კულტურისა და მეცნიერული აზროვნების ნამდვილ კერად იქცა. ფაკულტეტის მათემატიკური განყოფილების სათავეში იდგა მცირერიცხოვანი ჯგუფი ახალგაზრდა ქართველი მათემატიკოსებისა, რომელთაც უმაღლესი განათლება მოსკოვსა და პეტერბურგში ჰქონდათ მიღებული.

ამ ჯგუფში შედიოდნენ ანდრია რაზმაძე, ნიკო მუსხელიშვილი, არჩილ ხარაძე, გიორგი ნიკოლაძე. ამ მეცნიერთა თავდადებული მუშაობის შედეგად მათემატიკური ფაკულტეტის როგორც სასწავლო, ისე სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობა იმთავითვე მტკიცე ნიადაგზე დადგა და სწორი გზით წარიმართა. მათ შექმნეს ტრადიცია ქართულ ენაზე მაღალხარისხოვანი ლექციების კითხვისა უმაღლეს მათემატიკაში, დაამუშავეს ქართული მათემატიკური ტერმინოლოგია, ქართულ ენაზე დაწერეს და გამოცეს პირველი სახელმძღვანელოები მათემატიკურ მეცნიერებათა ძირითად დარგებში, დასაბამი მისცეს მშობლიურ ნიადაგზე მეცნიერული აზროვნებისა და შემოქმედებითი მუშაობის გაფართოებას მათემატიკაში.

ა. რაზმაძის, ნ. მუსხელიშვილის, ა. ხარაძისა და გ. ნიკოლაძის გაცხოველებული მეცნიერული მუშაობის შედეგად ჩვენში წამოიზარდნენ ახალგაზრდა ნიჭიერი მათემატიკოსები, რომელთაც შეძლეს თავიანთი მასწავლებლების ტრადიციების არა მარტო გაგრძელება, არამედ ჩვენში განავითარეს და წინ წასწიეს მათემატიკურ მეცნიერებათა სრულიად ახალი დარგები. ამ საქმეში საგულისხმო როლი შეასრულა აგრეთვე იმ გარემოებამ, რომ



ანდრია რაზმაძე, არჩილ ხარაძე, გიორგი ნიკოლაძე, ნიკო მუსხელიშვილი.

ქართველმა მათემატიკოსებმა თავიდანვე მჭიდრო მეცნიერული კონტაქტი დაამყარეს საბჭოთა კავშირის მრავალ გამოჩენილ მათემატიკოსთან.

ქართველ მეცნიერთა შემდგომმა თაობამ დიდი წვლილი შეიტანა მათემატიკურ მეცნიერებათა განვითარების საქმეში. აღსანიშნავია სახელმწიფო და ვ. ი. ლენინის პრემიების ლაურეატის ი. ვეკუას გამოკვლევები ელიფსურ დიფერენციალურ განტოლებათა თეორიაში და მათემატიკის სხვადასხვა დარგებში; ვ. კუპრაძის გამოკვლევები დრეკად და ელექტრომაგნიტურ რხევათა თეორიაში და სხვა მეცნიერთა ნაშრომები.

დღითი დღე იზრდება და მტკიცდება ქართველ მათემატიკოსთა რაზმი, რომელსაც მომავალში ალბათ მრავალი მათემატიკოსი შეემატება დღევანდელ მოსწავლეთა რიგებიდან.

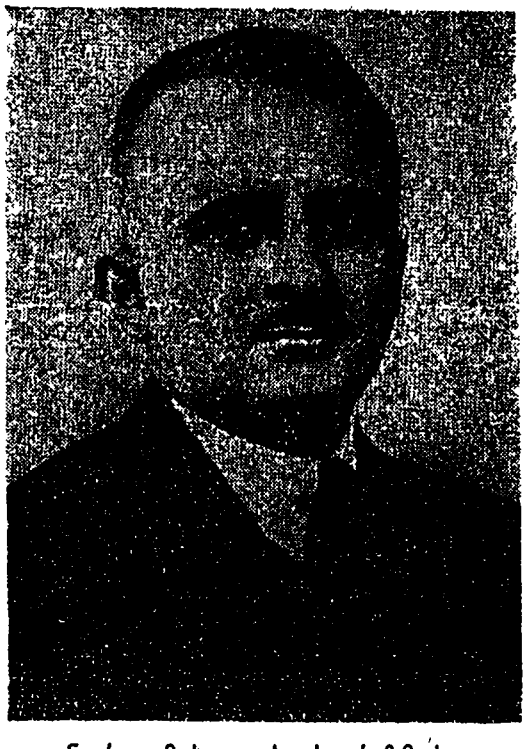
ანდრია რაზმაძე

პროფესორი ა. რაზმაძე (1890—1929) იყო საბჭოთა მათემატიკური მეცნიერების ერთ-ერთი საუკეთესო წარმომადგენელი, ჩვენში ფიზიკა-მათემატიკურ მეცნიერებათა განვითარების დიდი მოამაგე, თბილისის უნივერსიტეტის ერთ-ერთი დამაარსებელი, ენერგიული საზოგადო მოღვაწე.

ა. რაზმაძემ დაძლია მის წინაშე წამოჭრილი ყველა დაბრკოლება და მოკლე დროში გახდა მათემატიკის მნიშვნელოვანი დარგის — ვარიაციათა აღრიცხვის დიდი სპეციალისტი.

1917 წელს ა. რაზმაძემ მოსკოვის უნივერსიტეტში სამაგისტრო გამოცდა ჩააბარა და მიიღო პრივატ დოცენტის თანამდებობა, იმავე წელს იქვე დაიწყო ვარიაციათა აღრიცხვის სპეციალური კურსის კითხვა.

ა. რაზმაძის ნაშრომთა შორის მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ქართულ ენაზე მის მიერ დაწერილ სახელმძღვანელოებს. მეცნიერს დასახული ჰქონდა საქართველოში თანამედროვე უმაღლესი მათემატიკური კულტურის დანერგვის დიდი გეგმა. ა. რაზმაძის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენდა ქართულ ენაზე მათემატიკური ანალიზის ვრცელი კურსის შედგენა. მან მოასწრო ამ კურსის მხოლოდ ორი ნაწილის — მათემატიკური ანალიზის შესავლისა (1920 წ.) და განუსაზღვრელი ინტეგრალების თეორიის (1922 წ.) გამოქვეყნება. სწორედ ხსენებულ სახელმძღვანელოებზე აღიზარდა ქართველ მათემატიკოსთა მრავალი თაობა.



ანდრია მიხეილის ძე რაზმაძე.

თვალსაჩინოა ა. რაზმაძის დამსახურება როგორც პედაგოგისა და აღმზრდელისა. იგი დიდი დამაჯერებლობით და გატაცებით კითხულობდა თბილისის უნივერსიტეტის მათემატიკის ფაკულტეტზე მათემატიკური ანალიზის ძირითად საგნებს, ალბათობათა თეორიას, რიცხვთა თეორიას, მექა-

ნიკას. გამოჩენილი მეცნიერი გრძნობდა ლექტორის უდიდეს პასუხისმგებლობას აუდიტორიის წინაშე და განსაკუთრებით ზრუნავდა სალექციო თემის დამუშავებასა და მასალის გასაგებად წაკითხვაზე.

ა. რაზმაძე დიდი ინტერესით ადევნებდა თვალყურს მეცნიერების განვითარებას, მუდამ ეცნობოდა მათემატიკის ახალ მიღწევებს. იგი იმ მეცნიერთა კატეგორიას ეკუთვნოდა, რომელთაც შესწევთ უნარი ნიჭიერი ახალგაზრდების შერჩევისა და გაბედულად დაწინაურებისა.

ა. რაზმაძემ მტკიცე საფუძველი ჩაუყარა საქართველოში მათემატიკური კადრების აღზრდასა და მომზადებას. ქართველი მათემატიკოსების უფროსი თაობის წარმომადგენლები ძირითადად მისი მოწაფეები არიან და მის მიერ დანერგილ ტრადიციებს აგრძელებენ. მათ რიცხვში უკვე რამდენიმე ათეული მეცნიერი მათემატიკოსი და ფიზიკოსია. დიდმა მათემატიკურმა განათლებამ, რომელიც ა. რაზმაძემ თავის მოწაფეებს შესძინა, შემდგომში ხელი შეუწყო ნაყოფიერი მუშაობის გაშლას მათემატიკის სხვადასხვა დარგში.

1929 წლის 2 ოქტომბერს ა. რაზმაძე გარდაიცვალა მუცლის ტიფით. მისი სიკვდილით დანაღვლიანებული ცნობილი იტალიელი მეცნიერი ლ. ტონელი წერს: „ანდრია რაზმაძის სიკვდილი დიდად სამწუხარო მოვლენაა არა მარტო თბილისის უნივერსიტეტისათვის, სადაც ის მასწავლებლობდა დიდი სიყვარულით და თავისი დანიშნულების მაღალი შეგნებით, არამედ მთელი მეცნიერებისათვის. მისი სახით მათემატიკა კარგავს ერთ-ერთ გამოჩენილ მოღვაწეს, ნათელ და საღ გონებას. დიდი კულტურით და ძლიერი გონებით დაჯილდოებულმა მეცნიერმა ენთუზიაზმით უძღვნა თავისი მოღვაწეობის საუკეთესო ნაწილი მათემატიკურ შემოქმედებას, რომელიც ასე ხიბლავს კეთილშობილ გონებას“.

კომუნისტურმა პარტიამ და საბჭოთა მთავრობამ ჯეროვნად დააფასეს ა. რაზმაძის მოღვაწეობა მშობლიური მეცნიერების წინაშე. მის სახელს ატარებს საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მათემატიკის ინსტიტუტი. საქართველოში მათემატიკური მეცნიერების განვითარების ისტორია განუყრელადაა დაკავშირებული ა. რაზმაძის სახელთან.

გიორგი ნიკოლაძე

პროფესორი გიორგი ნიკოლაძე, ნიკო ნიკოლაძის ვაჟი, დაიბადა 1888 წელს სოფ. დიდ ჯიხაიშში.

თბილისის პირველი გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ, 1906 წელს, გ. ნიკოლაძე შედის პეტერბურგის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის ქიმიურ განყოფილებაზე. მას ყველაზე უფრო წმინდა მათემატიკა აინტერესებდა და არა ტექნიკა, მაგრამ ქვეყნის ინტერესებმა აიძულა ტექნიკისათვის მოეკიდა ხელი.

1913 წლის მარტში გ. ნიკოლაძემ ბრწყინვალედ დაამთავრა ტექნოლოგიური ინსტიტუტი. მისმა სადიპლომო პროექტმა დიდი შთაბეჭდილება მოახდინა პროფესორებზე და წინადადება მისცეს მას, ინსტიტუტში პროფესორის წოდებისათვის მოსამზადებლად დარჩენილიყო. ეს წინადადება ახალგაზრდა გიორგიმ უარყო, რადგან წარმოებაში მუშაობა არჩია.

ინსტიტუტის დამთავრების შემდეგ გ. ნიკოლაძე მუშაობას იწყებს ტულა-კოსოგორსკის თუჯის ქარხანაში. სამი თვის შემდეგ იუზოვკაში გადადის უბრალო მხაზველის თანამდებობაზე. აქ მალე თავი გამოიჩინა და ორი თვის შემდეგ უკვე ბრძმედების მორიგე ინჟინერია. დონბასის ბრძმედების კონსტრუქციის ცნობილმა გარდამქმნელმა მ. კურაკომ მოკლე ხანში იგი თავისი პირველი თანაშემწის ინჟინერ ი. ბარდინის (შემდეგში აკადემიკოსის) გვერდით დააყენა. გ. ნიკოლაძე ხელმძღვანელ როლს ასრულებდა ჯერ იუზოვკას ქარხანაში (1913 — 1916), შემდეგ ენაკიევოში (1916 — 1918). იგი ბრწყინვალედ ართმევდა თავს ყოველ მინდობილ სამუშაოს; გახდა დონეცის აუზის ინჟინერთა კავშირის თავმჯდომარის მოადგილე.

1918 წლის აპრილში გ. ნიკოლაძე საქართველოში გადმოდის და ებმება ახლად დაარსებული თბილისის უნივერსიტეტის საქმიანობაში. დამოუკიდებელ შემოქმედებით მუშაობას მათემატიკაში ძალიან ადრე იწყებს. გ. ნიკოლაძის შრომები ეხება ალგებრულ წირთა და ზედაპირთა თეორიას. მან გამოიკვლია ალგებრულ წირთა უწყვეტი სისტემები და უმაღლესი რიგის ალგებრულ წირთა კონა გამოიყენა წერტილთა და წრფეთა კონფიგურაციის შესასწავლად. გ. ნიკოლაძის შრომებს დიდი შეფასება მისცეს სპეციალისტებმა.



გიორგი ნიკოლოზის ძე ნიკოლაძე.

გ. ნიკოლაძე მათემატიკაში ინტენსიურ მუშაობას იწყებს 1918 წლიდან. თბილისში ჩამოსვლის შემდეგ; იგი თბილისის უნივერსიტეტის პოლიტექნიკურ ფაკულტეტზე ლექციებს კითხულობს არა მარტო მათემატიკურ საგნებში; 1926 წელს ბეჭდავს მხაზველობითი გეომეტრიის სრულ და ორიგინალურ კურსს და ადგენს მათემატიკური ანალიზის კურსს.

საქართველოში ჩამოსვლის პირველი დღეებიდან გ. ნიკოლაძე ფართოდ შლის ფიზკულტურულ მუშაობას, ადგენს და ბეჭდავს ტანვარჯიშის ქართულ ტერმინოლოგიას, დიდ ყურადღებას აქცევს ტურიზმს და ალპინიზმს, რომელსაც უშუალოდ უკავშირებს საქართველოს ყოველმხრივ სისტემატურ შესწავლას. იგი 1918 წლიდანვე ამუშავებს მეტად საინტერესო და თავისებურ მეცნიერულ-ტექნიკურ ტერმინოლოგიას, უპირველეს ყოვლისა, ფიზიკურსა და მათემატიკურს, რომელსაც საფუძვლად ედება მის მიერ ჯერ კიდევ 1910 — 1912 წლებში მოფიქრებული სისტემა და პრინციპები მეცნიერული ტერმინოლოგიის სისტემატური დამუშავებისა. ეს სისტემა ნაყოფიერი გამოდგა კოლექტიური მუშაობის გასაშლელად: გ. ნიკოლაძის ირგვლივ შეიკრიბა ინჟინრების მცირე ჯგუფი, რომელმაც ერთი წლის მუშაობის შემდეგ გამოაქვეყნა „რუსულ-ქართული ტექნიკური სიტყვარი“. ნ. მუსხელიშვილსა და ა. ხარაძესთან ერთად გ. ნიკოლაძე ამუშავებს მათემატიკურ ტერმინოლოგიას, რის შედეგადაც 1925 წელს გამოდის მათი „მათემატიკური ტერმინების ლექსიკონი“.

1926 წელს საქართველოს მთავრობამ გიორგი ნიკოლაძე საზღვარგარეთ მიავლინა ელექტრო-ქიმიური და მეტალურგიული მრეწველობის გასაცნობად. მან იქ დიდი მუშაობა ჩაატარა. დაათვალიერა მრავალი ქარხანა გერმანიასა და საფრანგეთში, დაუკავშირდა ინგლისის გეოგრაფიულ საზოგადოებას, როგორც საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოების წარმომადგენელი, და ორი მოხსენება წაიკითხა კავკასიონზე მოწყობილი ქართული ექსპედიციის შესახებ. გ. ნიკოლაძე ევროპაში ჩასვლისთანავე შეუდგა დაძაბულ მუშაობას — ალგებრული გეომეტრიის კლასიკური და თანამედროვე ლიტერატურის გაცნობას. დაიწყო ინტენსიური კვლევა-ძიება წირთა უწყვეტი ალგებრული სისტემის შესასწავლად. გ. ნიკოლაძე აქვეყნებს მთელ რიგ მნიშვნელოვან შრომებს ალგებრულ გეომეტრიაში, რომელთა შორისაც მთავარია მისი სადოქტორო დისერტაცია. დისერტაცია მან სორბონაში დაიცვა 1928 წლის 9 ივნისს და მიიღო საფრანგეთის უმაღლესი სამეცნიერო ხარისხი.

1928 წლის ოქტომბერში გ. ნიკოლაძე ბრუნდება თბილისში. მათემატიკურ კვლევას იგი უთავსებს დიდ პედაგოგიურ და პრაქტიკულ მუშაობას.

გ. ნიკოლაძე გარდაიცვალა 1931 წლის 5 თებერვალს ფილტვების ანთებით.

ნიკო მუსხელიშვილი

აკადემიკოსი ნიკო მუსხელიშვილი დაიბადა 1891 წლის 16 თებერვალს ქ. თბილისში სამხედრო ინჟინრის ივანე ლევანის ძე მუსხელიშვილის ოჯახში. თბილისის მეორე გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ, 1909 წელს, ნ. მუსხელიშვილი პეტერბურგში გაემგზავრა და უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე ჩაირიცხა. უნივერსიტეტი დაამთავრა 1914 წელს და იქვე დატოვეს თეორიული მექანიკის კათედრაზე პროფესორის წოდებისათვის მოსამზადებლად. 1917 წელს აირჩიეს იმავე კათედრის ასისტენტად, ხოლო 1919 წელს უკვე დოცენტის მოვალეობას ასრულებს.

1920 წელს ივანე ჯავახიშვილის წინადადებით თბილისის უნივერსიტეტის სამეცნიერო საბჭოს ნიკო მუსხელიშვილი მოიწვია თეორიული მექანი-



ნიკო ივანეს ძე მუსხელიშვილი.

კის კათედრაზე, რაც მან დიდ პატივად მიიჩნია და სამშობლოში გამოემგზავრა. ორი წლის განმავლობაში მას დოცენტის თანამდებობა ეკავა, ხოლო 1922 წელს, როდესაც გამოაქვეყნა თავისი გამოკვლევების შემაჯამებელი შრომა, უნივერსიტეტის სამეცნიერო საბჭომ პროფესორის თანამდებობაზე აირჩია.

1926 წლიდან ნ. მუსხელიშვილი თბილისის უნივერსიტეტის პოლიტექნიკური ფაკულტეტის დეკანია, 1928—1930 წლებში უნივერსიტეტში კათედრის გამგე იყო, ამასთან ერთად შეთავსებით პრორექტორის თანამდებობა ეკავა პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში, ხოლო 1930—1936 წლებში ჯერ პედაგოგიური ინსტიტუტის და შემდეგ თბილისის უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის დეკანად მუშაობდა.

1933 წელს ნ. მუსხელიშვილი აირჩიეს საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად, 1939 წელს კი აკადემიის ნამდვილ წევრად. 1934 წელს მას დოქტორის სამეცნიერო ხარისხი მიენიჭა დისერტაციის დაუცველად.

1938—1941 წლებში ნ. მუსხელიშვილი საკავშირო აკადემიის საქართველოს ფილიალის თავმჯდომარეა, ხოლო 1941 წლიდან, საბჭოთა საქართველოში მეცნიერებათა აკადემიის დაარსების დღიდან, აკადემიის პრეზიდენტი.

ნ. მუსხელიშვილის პირველი მეცნიერული შრომა, რომელიც 1915 წელს გამოქვეყნდა, ეხება დრეკადობის თეორიის ერთ საინტერესო საკითხს. ამის შემდეგ იწყება ნ. მუსხელიშვილის შესანიშნავი გამოკვლევები მექანიკასა და მათემატიკაში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მისი შრომები, რომლებიც მიეძღვნა დრეკადობის თეორიისა და სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა თეორიის საკითხებს.

1941 წელს პირველად, ხოლო 1946 წელს მეორედ ნ. მუსხელიშვილს სახელმწიფო პრემია მიენიჭა ორი ფუნდამენტალური მონოგრაფიისათვის—„დრეკადობის მათემატიკური თეორიის ზოგიერთი ამოცანა“ და „სინგულარული ინტეგრალური განტოლებანი“. ორივე ეს წიგნი გამოცემულია რუსულ ენაზე და თარგმნილია უცხო ენებზე, ფართოდაა ცნობილი როგორც მათემატიკოსების, ისე გამოყენებითი დარგების სპეციალისტთა წრეში.

დრეკადობის თეორიის დარგში თვალსაჩინო მეცნიერული დამსახურებისათვის, აგრეთვე ახალგაზრდა სამეცნიერო კადრების მომზადების საქმეში დიდი წარმატებისათვის ნ. მუსხელიშვილს 1945 წელს სოციალისტური შრომის გმირის წოდება მიენიჭა; იგი დაჯილდოებულია ლენინის ოთხი ორდენით, შრომის წითელი დროშის ორდენითა და მედლებით.

ნ. მუსხელიშვილს დიდი ღვაწლი მიუძღვის უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტთათვის სახელმძღვანელოების შედგენის საქმეში. მას ეკუთვნის რამდენიმე სახელმძღვანელო. მათ შორის განსაკუთრებული პოპულარობით სარგებლობს—„ანალიზური გეომეტრიის კურსი“, რომელიც წარმოადგენს საბჭოთა კავშირის უმაღლეს სასწავლებელთათვის ერთ-ერთ ძირითად სახელმძღვანელოს. ეს სახელმძღვანელო თარგმნილია უცხო ენებზე. ოცდაათიან წლებში ქართულ ენაზე გამოვიდა ნ. მუსხელიშვილის თეორიული მექანიკის კურსის პირველი ორი ნაწილი (სტატიკა და კინემატიკა), რომელიც საფუძვლად დაედო თეორიული მექანიკის სწავლებას ჩვენს უმაღლეს სასწავლებლებში. ამ წიგნზე აღიზარდა მათემატიკოსებისა და ინჟინრების რამდენიმე თაობა. როდესაც ანდრია რაზმაძისა და გიორგი ნიკოლაძის უდროოდ გარდაცვალებამ ჩვენი მათემატიკური ფრონტი მძიმე განსაცდელის წინაშე დააყენა, ნ. მუსხელიშვილმა მთელი სიმძიმე მათემატიკური კვლევა-ძიების განვითარების საქმეში თავის თავზე აიღო. შეუპოვრობით, დიდის გატაცებით და თავდადებული შრომით მან ფართო გა-

სრული მისცა სამეცნიერო კვლევას ჩვენში, შეარჩია და მიიზიდა ნიჭიერი ახალგაზრდობა, სათავეში ჩაუდგა სამეცნიერო კადრების მომზადების საქმეს და მეცნიერების დიდ გზაზე გამოიყვანა ქართული მათემატიკური სკოლა, რომელსაც უკვე საძირკველი ჩაყრილი ჰქონდა და შემდეგში საბჭოთა კავშირში და მის საზღვრებს გარეთ სახელი გაითქვა.

დიდი ორგანიზატორული უნარი გამოამჟღავნა ნ. მუსხელიშვილმა სხვადასხვა სამეცნიერო დაწესებულებების დაარსებისა და მათი განმტკიცების საქმეში. მისი ინიციატივით 1933 წელს უნივერსიტეტთან დაარსდა მათემატიკის ინსტიტუტი, რომელიც 1935 წელს აკადემიის სისტემაში გადავიდა. ინსტიტუტის დირექტორის მოვალეობას ამჟამადაც ნ. მუსხელიშვილი ასრულებს. მისივე ინიციატივით დაარსდა ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტები.

ჩვენი ქვეყნის გამოჩენილი მეცნიერი დიდ სახელმწიფოებრივსა და საზოგადოებრივ მუშაობას ეწევა. ნ. მუსხელიშვილი სსრკ უმაღლესი საბჭოს ყველა მოწვევის დეპუტატია; არჩეული იყო საბჭოების VIII საგანგებო ყრილობის დელეგატად და საბჭოთა კავშირის კონსტიტუციის საბოლოო ტექსტის დამდგენი სარედაქციო კომისიის წევრად. წლების მანძილზე ნ. მუსხელიშვილი იყო საქართველოს სსრ პოლიტიკური და მეცნიერული ცოდნის გამავრცელებელი საზოგადოების გამგეობის თავმჯდომარე. ნ. მუსხელიშვილი საბჭოთა კავშირის მექანიკოსთა ასოციაციის ეროვნული კომიტეტის თავმჯდომარეა. 1958 წელს იგი მეთაურობდა საბჭოთა კავშირის მეცნიერთა დელეგაციებს ჯერ ბრიუსელის და შემდეგ რომის კონგრესებზე. 1959 წელს იმოგზაურა ინგლისში, სადაც მონაწილეობდა მათემატიკოსთა საერთაშორისო ყრილობაში ქ. ედინბურგში. 1960 წელს ნ. მუსხელიშვილმა, როგორც საკავშირო აკადემიის დელეგაციის წევრმა, მონაწილეობა მიიღო ინგლისის სამეფო საზოგადოების სამასი წლისთავის აღსანიშნავ ზეიმზე ლონდონში.

ნ. მუსხელიშვილი არის სომხეთის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის საპატიო წევრი, პოლონეთისა და ბულგარეთის სამეცნიერო აკადემიების უცხოელი წევრი.

1963 წლის სექტემბერში ნიკო მუსხელიშვილის მეთაურობით ქ. თბილისში მოწვეულ იქნა მექანიკოსთა საერთაშორისო სიმპოზიუმი, რომელიც ძირითადად მიეძღვნა ნიკო მუსხელიშვილის მეცნიერულ ნაშრომებთან დაკავშირებულ საკითხებს.

მათემატიკის განვითარების ღირსშესანიშნავ თარიღთა მატიანე

მათემატიკის აღმოცენება

უმნიშვნელოვანესი ცნებების — მთელი რიცხვის, სიდიდისა და ნაკვთის — წარმოშობის ზუსტი თარიღის დადგენა შეუძლებელია. ამ ცნებებზე მაშინ შეიქმნა წარმოდგენა, როცა დამწერლობა გაჩნდა. ამავე დროისათვის გამომუშავდა მთელი რიცხვების წერითი ნუმერაციის სხვადასხვა სისტემაც.

ძვ. წ. 2000 — 1700 წწ. — ამ პერიოდიდან ჩვენამდე მოღწეულია პირველი მათემატიკური ტექსტები: ორი ეგვიპტური პაპირუსი და ძველი ბაბილონის უამრავი თიხის ტაბულა, რომლებშიც მოცემულია ამოცანების ფორმულირება და ამოხსნა. ეგვიპტელები სარგებლობდნენ ათობითი პოზიციური ნუმერაციით და წილადებით („ძირითადი“ წილადები), რომელთა მრიცხველი იყო 1. ბაბილონელებს ჰქონდათ თვლის სამოცობითებური პოზიციური სისტემა ნულის გარეშე და სისტემატური სამოცობითებური წილადები. ძვ. წ. I ათასწლეულის შუა წლებში, ბაბილონელებმა შემოიღეს ნიშანი, რომლითაც გამოტოვებულ სამოცობითებურ თანრიგს აღნიშნავდნენ. გეომეტრია ბაბილონსა და ეგვიპტეში უმეტესად გამოთვლითი იყო იცოდნენ სამკუთხედის ფართობის გამოთვლა გვერდითა და სიმაღლით და წრის ფართობის გამოთვლა მისი რადიუსის მიხედვით (ამ დროს ბაბილონელები π-ს ნაცვლად 3-ს ხმარობდნენ, ეგვიპტელები კი 3,16). მათ შეეძლოთ გამოეთვალათ ავრეთვე პირამიდისა და კვადრატულფუძიანი წაკვეთილი პირამიდის მოცულობები. ბაბილონელებმა იცოდნენ, რომ მართკუთხა სამკუთხედში ჰიპოტენუზის კვადრატი უდრის კათეტების კვადრატების ჯამს და პირიქით. როგორც ჩანს, ორივე ეს მოსაზრება ბაბილონელებმა მაგალითების ამოხსნისას აღმოაჩინეს და მათი ზოგადი სახით დამტკიცება ჯერ არ იცოდნენ.

ამ პერიოდის ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევაა ძველ ბაბილონში ალგებრის ელემენტების შექმნა და კვადრატულ განტოლებათა ამოხსნის წესის აღმოჩენა. ბაბილონელებმა იცოდნენ აგრეთვე არაკვადრატული რიცხვებიდან კვადრატული ფესვების მიახლოებითი მნიშვნელობების მოძებნა. მათთვის ცნობილი იყო არითმეტიკული პროგრესიის ჯამისა და ნატურალური მწკრივის კვადრატთა ჯამის ფორმულებიც.

იმ ეპოქაში მათემატიკურ ცოდნას გადმოსცემდნენ რეცეპტების სახით, რომელთა სისწორე არ მტკიცდებოდა; ჩვეულებრივ, უთითებდნენ ერთი ტიპის მაგალითებზე და ამოხსნაზე. მათემატიკა, როგორც მეცნიერება, ჯერ არ არსებობდა.

მათემატიკის მეცნიერებად ჩამოყალიბება. პირველი მათემატიკური თეორიების შექმნა (ძველი საბერძნეთის მათემატიკა)

ძვ. წ. VI ს. — სისტემატურად იყენებდნენ ლოგიკურ დამტკიცებებს, რაც გარდატეხის მომენტად იქცა მათემატიკის განვითარებაში. პითაგორეს მეცნიერულ სკოლაში დაწყებული იყო გეომეტრიის, როგორც განყენებული მეცნიერების, აგება, რომლის ჰეშმარიტებანი გამოყავდათ რამდენიმე გამოსავალი აქსიომიდან დამტკიცებების საშუალებით. პითაგორელთა სკოლიდან მომდინარეობს პირველი მათემატიკური თეორიები: წრფივი ნაკვთების პლანიმეტრია (სახელგანთქმული პითაგორეს თეორემის მკაცრი მტკიცების ჩათვლით) და რიცხვთა თეორიის ელემენტები (მარტივ და ურთიერთმარტივ რიცხვთა ცნების შემოღება, გაყოფადობის თეორიის გამოკვლევა, სრულყოფილი რიცხვების აგება). ამავე სკოლაში აღმოაჩინეს ხუთიდან ოთხი წესიერი სხეული: კუბი, ტეტრაედრი, ოქტაედრი და დოდეკაედრი.

ძვ. წ. V ს. — აღინიშნება პითაგორეს სკოლის უდიდესი აღმოჩენით — კვადრატის გვერდებისა და მისი დიაგონალის არათანაზომადობის აღმოჩენით. ამ აღმოჩენამ აშკარა გახადა, რომ რაციონალური რიცხვები (ე. ი. მთელი რიცხვები და წილადები) არ არის საკმარისი გეომეტრიულ სიდიდეთა გასაზომად და მსგავსების მოძღვრების დასასაბუთებლად. მის საფუძველზე აუცილებელი გახდა შექმნილიყო როგორც თანაზომადი, ისევე არათანაზომადი გეომეტრიული სიდიდეების ფარდობათა თეორია.

ძვ. წ. V ს. (მეორე ნახევარი) — შეიქმნა ე. წ. გეომეტრიული ალგებრა. იგი საშუალებას იძლეოდა ზოგადი სახით, წმინდა გეომეტრიულად, ე. ი. ფარგლისა და სახაზავის დახმარებით ამოხსნილიყო ისეთი ამოცანები, რომლებიც კვადრატულ განტოლებამდე ან ასეთ განტოლებათა მიმდევრობამდე დაიყვანებოდა. ანტიკურ მათემატიკაში გეომეტრიული ალგებრა ჩვენი ასოითი ალგებრის როლს ასრულებდა, მაგრამ ნაკლებად მოსახერხებელი იყო.

ამავე დროს ჩამოყალიბდა უძველესი დროის სამი შესანიშნავი ამოცანა: 1) კუბის გაორკეცება (ისეთი კუბის აგება, რომლის მოცულობაც მოცემული კუბის მოცულობაზე ორჯერ მეტი იქნება); 2) კუთხის ტრისექცია (ნებისმიერი კუთხის სამ ტოლ ნაწილად გაყოფა) და 3) წრის კვადრატურა (მოცემული წრის ტოლი კვადრატის აგება). ყველა ეს აგება, როგორც XIX ს. დამტკიცდა, შეუძლებელია ჩატარდეს ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით. ამიტომ უძველესმა ხალხებმა ამ ამოცანების ამოსახსნელად გამოიყენეს ახალი მრუდები: კონუსური კვეთები (ელიფსი, ჰიპერბოლა, პარაბოლა) და კვადრატრისა (პირველი ტრანსცენდენტური მრუდი).

წრის კვადრატურის ძიებისას ჰიპოკრატე ქიოსელმა აღმოაჩინა კვადრებადი ნამგალა (რომელსაც ჰიპოკრატეს ნამგალა ეწოდება), ე. ი. წრეწირის რკალებით შემოსაზღვრული ისეთი ნაკვთი, რომლის ტოლი კვადრატის აგებაც შეიძლება.

V ს. დასასრულს ჰიპოკრატემ შეადგინა პირველი „საწყისები“, რომლებშიც სისტემაში იყო მოყვანილი მისი დროის მათემატიკის საფუძვლები. ამ შრომას ჩვენამდე არ მოუღწევია.

ძვ. წ. IV ს. (პირველი ნახევარი) — ათენელი მათემატიკოსი ტაეტეტი შეუდგა ალგებრული ირაციონალობების გამოკვლევას და დაიწყო მათი კლასიფიკაცია. მან განსაზღვრა კვადრატულ ირაციონალობათა უმარტივესი კლასები, ისეთები, როგორიცაა

$$\sqrt{a},\quad \sqrt{a}\pm\sqrt{b},\quad \sqrt{\sqrt{a}\pm\sqrt{b}},\quad \sqrt{ab},\quad \sqrt{\sqrt{ab}},\ldots,$$

რომლებიც შემდგომ ევკლიდემ აღწერა თავის „საწყისებში“. ტაეტეტმა დაამტკიცა აგრეთვე, რომ თუ a არ არის კუბი, მაშინ $\sqrt[3]{a}$ ირაციონალურია.

ძვ. წ. IV ს. (შუა წლები) — უძველესი დროის დიდმა მათემატიკოსმა და ასტრონომმა კნიდელმა ევდოქსმა შექმნა ნებისმიერი ერთგვაროვანი (როგორც თანაზომადი, ასევე არათანაზომადი) სიდიდეების ფარდობათა ზოგადი თეორია. ეს თეორია არსებითად ემთხვევა XIX ს. დასასრულს დედეკინდის მიერ წამოყენებულ თეორიას ნამდვილ რიცხვთა შესახებ. ფართობებისა და მოცულობების განსასაზღვრავად ევდოქსმა შეიმუშავა ე. წ. ამოწურვის მეთოდი. ორივე ამ თეორიას საფუძვლად ედო ზოგადი მოძღვრება სიდიდეთა შესახებ. სიდიდეები აქსიომატიკურად ისაზღვრებოდა, ამასთან პირველად ჩამოყალიბდა უმნიშვნელოვანესი აქსიომა, რომელიც დღეს არქიმედეს აქსიომის სახელითაა ცნობილი. თუ $a > b$, მაშინ b იმდენჯერ შეიძლება განმეორდეს, რომ $nb > a$. ახალი მეთოდების დახმარებით ევდოქსმა პირველმა მოგვცა იმისი ზუსტი დამტკიცება, რომ კონუსი ტოლდიდია $\frac{1}{3}$ ცილინდრისა, რომლის ფუძე და სიმაღლე ემთხვევა შესაბამისად კონუსის ფუძეს და სიმაღლეს, ხოლო პირამიდა ტოლდიდია შესაბამისი პრიზმის $\frac{1}{3}$-სა. მანვე დაამტკიცა, რომ ორი წრის ფართობები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მათი დიამეტრების კვადრატები.

ძვ. წ. 300 წ. — ევკლიდემ შექმნა თავისი „საწყისები“, რომლებშიც შეაჯამა ანტიკური მათემატიკის მთელი ადრინდელი განვითარება. „საწყისების“ გადმოცემის მეთოდმა დედუქციურის სახელწოდება მიიღო და მათემატიკური თეორიის აგების ნიმუშად იქცა. „საწყისებში“ პირველად სისტემატურად გადმოცემული იყო არა მარტო გეომეტრია, არამედ რიცხვთა თეორიის ელემენტები, ალგებრა, ფარდობათა თეორია და ამოწურვის მეთოდიც. აქვე იყო მოცემული ევკლიდეს ალგორითმი ორი რიცხვის უდიდესი საერთო გამყოფის მოსაძებნად, იმის დამტკიცებაც, რომ ორი მარტივი რიცხვის ნამრავლი pq არ შეიძლება გაიყოს სხვა რომელიმე მარტივ რიცხვზე და დადგენილი იყო, რომ მარტივ რიცხვთა სიმრავლე უსასრულოა. „საწყისებში“ პირველადაა მოცემული გეომეტრიული პროგრესიის წევრთა ჯამის ფორმულის ზუსტი გამოყვანა და ნაჩვენებია, რომ არსებობს მხოლოდ ხუთი წესიერი სხეული: კუბი, ტეტრაედრი, ოქტაედრი, დოდეკაედრი და იკოსაედრი. სხვა არავითარი წესიერი სხეული არ არსებობს.

ძვ. წ. III ს. — არქიმედემ დაამუშავა ფართობებისა და მოცულობების მოძებნის მეთოდები, აგრეთვე მხების განსაზღვრისა და სიდიდეთა უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობათა განსაზღვრის მეთოდები, რომლებიც გამოიყენა სტატიკის, ჰიდროსტატიკისა და მცურავი სხეულის წონასწორობის თეორიის პრობლემების ამოსახსნელად (იხ. გვ. 685 — 688). არქიმედეს მეთოდი საფუძვლად დაედო XVII ს. შექმნილ დიფერენციალურ და ინტეგრალურ აღრიცხვას.

ძვ. წ. III — II სს. — უდიდესმა გეომეტრმა აპოლონიუსმა განავითარა როგორც ანალიზური, ისე გეგმილური გეომეტრიის მეთოდები და სისტემატურად და ყოველმხრივ გამოიკვლია კონუსური კვეთა. აპოლონიუსის წიგნებს კონუსური კვეთის შესახებ ეყრდნობოდნენ რ. დეკარტე და პ. ფერმა (XVII ს.) ანალიზური გეომეტრიის შექმნისას და ბ. პასკალი და ჟ. დეზარგი (XVII ს.) გეგმილური გეომეტრიის შექმნისას. იგივე წიგნები წარმოადგენდა მათემატიკურ აპარატს ი. კეპლერის, გ. გალილეისა და ი. ნიუტონისათვის მექანიკასა და ასტრონომიაში ჩატარებული კვლევის დროს.

ახ. წ. I — II სს. — ანტიკურ მათემატიკაში დაიწყო გამოთვლითი ალგებრული მეთოდების ფართოდ გამოყენება.

I ს. (დასასრული) — ევკლიდეს „საწყისების“ ნიმუშის მიხედვით მენელაოსი ქმნის სფერული გეომეტრიის სისტემატურ კურსს და ავითარებს სფერულ ტრიგონომეტრიას.

II ს. — თავის ასტრონომიულ შრომებში პტოლემე იძლევა ბრტყელსა და სფერულ ტრიგონომეტრიას. მას გამოჰყავს ფორმულა:

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$$

და ადგენს ქორდების დაწვრილებით ცხრილებს (სინუსის წირის ნაცვლად ძველი მეცნიერები მთელ ქორდას განიხილავდნენ). ცხრილებში გამოტოვებული სამოცობითი თანრიგის აღსანიშნავად პტოლემე ხმარობდა სიმბოლოს, რომელიც შესაძლებელია ნულის პირველსახეს წარმოადგენდეს.

III ს. — უძველესი დროის უკანასკნელი დიდი მათემატიკოსი დიოფანტე ალექსანდრიელი წერს „არითმეტიკას“, რომელშიც აყალიბებს ალგებრის ზოგად წესებს: განტოლების ერთი ნაწილიდან მეორეში წევრის გადატანის წესს, მსგავსი წევრების დაყვანის წესს, აგრეთვე მრავალწევრის მრავალწევრზე გამრავლების წესს, ამასთანავე აღნიშნავს, რომ „მამცირი მამცირზე იძლევა შესაკრებს“. ამ წიგნში მეცნიერების ისტორიაში პირველად არის მოცემული ალგებ-

რული სიმბოლიკა უცნობის და მისი პირველი დადებითი და უარყოფითი ხარისხების აღსანიშნავად მეექვსეს ჩათვლით, აგრეთვე სიმბოლიკა ტოლობისა და გამოკლებისათვის. დიოფანტე ავითარებს მოძღვრებას მთელკოეფიციენტებიანი განუსაზღვრელი განტოლებების მთელ ან რაციონალურ რიცხვებში ამოხსნაზე. ამ განტოლებებს თანამედროვე მათემატიკაში დიოფანტეს განტოლებები ეწოდება.

შორეული, შუა და ახლო აღმოსავლეთის ქვეყნების მათემატიკა

ძვ. წ. II ს. — შეიქმნა ჩვენამდე მოღწეული უძველესი ჩინური მათემატიკური ტრაქტატი „მათემატიკა ცხრა წიგნად“, რომელშიც მოცემულია ცნობები არითმეტიკიდან და გეომეტრიიდან. ამოცანების ამოხსნისას ტრაქტატში გამოყენებულია პითაგორეს თეორემა. ყველაზე მნიშვნელოვანია წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის ერთსახოვანი მეთოდი. ამასთანავე ჩნდება უარყოფითი რიცხვები, რომელთათვისაც ყალიბდება შეკრებისა და გამოკლების წესები.

ტრაქტატში მოცემულია აგრეთვე კვადრატული და კუბური ფესვების გამოთვლის ალგორითმი, რომელიც თანამედროვე ალგორითმის ანალოგიურია. ამ ალგორითმს VII — XIII სს. მესამე და მეოთხე ხარისხის ზოგადი განტოლების ფესვების გამოსაანგარიშებლად იყენებდნენ. ის ემთხვევა ევროპაში XIX ს. მიღებულ ე. წ. ჰორნერის სქემას.

ახ. წ. III ს. — სუნ ძის ტრაქტატში გვხვდება სახელდებული ათწილადები.

V — VI სს. — ინდოეთში შეიქმნა თვლის ათობითი პოზიციური სისტემა, რომელშიც, როგორც განსაკუთრებული ციფრი, შეიტანეს ნული.

499 წ. — არიაბჰატას ასტრონომიულ ტრაქტატში მთელ რიცხვებში ამოხსნილია განუსაზღვრელი განტოლება

$$ax + by = c.$$

დაახლოებით 628 წ. — ინდოელმა ასტრონომმა ბრაჰმაგუპტამ თავისუფალი ოპერაციები ჩაატარა უარყოფით რიცხვებზე და მოგვცა ნებისმიერი კვადრატული განტოლების ამოხსნის ერთიანი წესი. ბრაჰმაგუპტამ ჩამოაყალიბა ნულზე მოქმედების წესი, რის გამოც ნული სხვა რიცხვების თანასწორუფლებიანი რიცხვი გახდა. მანვე მოგვცა განუსაზღვრელი

$$ax^2 + 1 = y^2$$

განტოლების მთელ რიცხვებში ამოხსნის წესიც. ეს მეთოდი დაასაბუთა ლ. ეილერმა და ჟ. ლაგრანჟმა XVIII ს.

ბრაჰმაგუპტა ფართოდ სარგებლობდა ალგებრული სიმბოლიკით: სპეციალური ნიშნებით უცნობებისა და მათი ხარისხების აღსანიშნავად, სარგებლობდა აგრეთვე კვადრატული ფესვისა და შეკრება-გამოკლების ნიშნებით.

IX ს. — შუააზიელმა მეცნიერმა მუჰამედ ალ-ჰორეზმიმ დაწვრილებით ახსნა ათობით-პოზიციური სისტემით ჩაწერილ რიცხვებზე მოქმედების შესასრულებელი წესი და გამოიკვლია კვადრატული განტოლებები. სიტყვები „ალგებრა“ და „ალგორითმი“ პირველად მხოლოდ მისი ტრაქტატის თარგმნის შემდეგ გაჩნდა. პირველი მათგანი აღნიშნავდა განტოლების ერთი ნაწილიდან მეორეში წევრების გადატანას, ხოლო მეორე ავტორის დამახინჯებული სახელი (ალ-ჰორეზმი — Algorithmi) იყო, რომელსაც თავდაპირველად მხოლოდ ათობითი პოზიციური სისტემის მიხედვით გამოკლებს წესების აღსანიშნავად ხმარობდნენ.

XI ს. — მათემატიკოსი და პოეტი ომარ ხაიამი თავის ალგებრულ ტრაქტატში სისტემატურად იკვლევს არა მარტო პირველი და მეორე ხარისხის განტოლებებს, არამედ კუბურსაც. ამ განტოლებებს იგი ხსნიდა გეომეტრიული ხერხებით, პარაბოლის, ჰიპერბოლისა და წრეწირის გადაკვეთის დახმარებით (იხ. გვ. 688 — 690).

XII ს. — ინდოელმა მეცნიერმა ბჰასკარა-აკარიამ ჩაატარა ყალიბა უარყოფით რიცხვებზე მოქმედების ყველა წესი და საგანგებოდ აღნიშნა, რომ კვადრატულ ფესვს უარყოფითი რიცხვიდან არა აქვს ნამდვილი მნიშვნელობა. ბჰასკარას აზრით, კვადრატული ფესვის ორნიშნიანობის გამო კვადრატულ განტოლებას შეიძლება ორი ფესვი ჰქონდეს.

XIII ს. — ნასირედინ ტუსი მუჰამედი სისტემატურად გადმოგვცემს სფერულ გეომეტრიას, იკვლევს სფერული სამკუთხედის ყველა ამოხსნის შემთხვევას, მათ შორის მისი სამივე კუთხის მიხედვით ამოხსნის შემთხვევასაც, კიღევ უფრო აღრმავებს ხაიამის მოსაზრებას რიცხვებთან ფარდობათა დაახლოების შესახებ და დაწვრილებით გადმოგვცემს შემადგენელ ნაწილთა თეორიას.

XV ს. — სამარყანდის მახლობლად ულუღ-ბეგის ობსერვატორიაში მომუშავე ჯემშიდ იბნ-მასუდ ალ-ყაშიმ შეძოიღო ათწილადები. ამით ათობითი პოზიციური სისტემა ნებისმიერ ნამდვილ რიცხვთა ჩასაწერად გავრცელდა: ალ-ყაშიმ გამოითვალა π რიცხვი 17 ათწილადი ნიშნის სიზუსტით. ალ-ყაშიმ ზოგადად ჩამოაყალიბა ბინომის ნებისმიერ მთელ ხარისხში აყვანის წესი და აღწერა ნებისმიერი ხარისხის ფესვის ამოღების ხერხი.

შუა საუკუნეების ევროპისა და აღორძინების ეპოქის მათემატიკა

XII — XIII სს. — ლათინურ ენაზე ითარგმნა არაბული და ბერძნული მათემატიკური თხზულებები. თანდათან გავრცელდა ათობითი პოზიციური სისტემა.

XIII ს. — ლეონარდო პიზელმა (ფიბონაჩიმ) მოგვცა ახალი პოზიციური ნუმერაცია, აგრეთვე ცნობები ალგებრასა და არითმეტიკაზე. განიხილავს სხვადასხვა რიცხვით მწკრივებს.

XIV — XV სს. — სრულყოფილი გახდა ალგებრული აღნიშვნები; შემოიღეს ხარისხის, რადიკალისა და უცნობის ხარისხის აღნიშვნა.

XVI ს. — აღინიშნება ევროპული მათემატიკის პირველი დიდი მიღწევით: იტალიელმა მეცნიერებმა ფერომ, ტარტალიამ და კარდანომ რადიკალებში ამოხსნეს მესამე ხარისხის განტოლება, ხოლო კარდანოს მოწაფემ ლ. ფერარიმ — მეოთხე ხარისხის განტოლება.

1572 წ. — რ. ბომბელიმ „ალგებრაში“ პირველად განიხილა წარმოსახვითი რიცხვები $a + b\sqrt{-1}$ და ჩამოაყალიბა მათზე მოქმედების წესები. თვით ამ რიცხვებს იგი მიიჩნევდა

სიმბოლოებად, რომლებიც მოსახერხებელია შედეგების მისაღებად ნამდვილი რიცხვების სფეროში.

XVI ს. (მეორე ნახევარი) — ფრანგმა მათემატიკოსმა ფ. ვიეტმა შემოიღო ასოითი აღნიშვნები უცნობებისა და მუდმივ სიდიდეთათვის და შექმნა მათემატიკური ფორმულა (იხ. გვ. 690 — 692).

1685 წ. — ს. სტევინმა შემოიღო ათწილადების სისტემა.

ცვლად სიდიდეთა მათემატიკის პერიოდი (XVII — XVIII სს.)

XVII საუკუნეში დიდ წარმატებებს აღწევს ციურ და მიწიერ სხეულთა მექანიკა; ამასთან დაკავშირებით წამოიჭრა ორთი სიდიდის მეორესთან დამოკიდებულების შესწავლის პრობლემები, აგრეთვე სიჩქარის, აჩქარების, მრუდწირული ტაკვთების, სიმძიმის ცენტრებისა და სხვათა განსაზღვრის პრობლემები.

ამ პრობლემების გადასაწყვეტად მათემატიკაში არ არსებობდა მზა ანალიზური აპარატი. მეცნიერებმა დაიწყეს ცვლადი სიდიდეების შესწავლის გზების ძებნა ანტიკურ მათემატიკოსთა თხზულებებში. ამის შედეგად მათემატიკაში დაინერგა ფუნქციური დამოკიდებულება. აქედან მოყოლებული ფუნქცია მათემატიკის ისეთივე ძირითად ობიექტად იქცა, როგორიც რიცხვი და სიდიდეა.

1614 წ. — დ. ნეპერი მათემატიკაში ნერგავს ლოგარითმებს და აქვეყნებს პირველ ლოგარითმების ცხრილებს. ცოტა მოგვიანებით ლოგარითმების ცხრილი გამოაქვეყნა ი. ბიურგიმ.

1636 — 1637 წწ. — დეკარტემ და პ. ფერმამ მათემატიკაში შემოიღეს კოორდინატთა მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა გეომეტრიული ამოცანები დავიყვანოთ ალგებრულ ამოცანებამდე და შევისწავლოთ ფუნქციურ დამოკიდებულებათა ფართო კლასი. ახალი მეთოდის დახმარებით დეკარტემ და ფერმამ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაიწყეს ანალიზური გეომეტრიის აგება (იხ. გვ. 693 — 695).

1608 — 1650 წწ. — ი. კეპლერის, ბ. კავალიერის, ე. ტორიჩელის, პ. ფერმას, ბ. პასკალის, ჯ. ვალისისა და სხვათა შრომებში ვითარდება ინტეგრებისა და დიფერენცირების მეთოდები (მოცულობების, ფართობების, სიმძიმის ცენტრების, მხებების, ექსტრემუმების, სიჩქარეებისა და აჩქარებათა განსაზღვრის მეთოდები).

XVII ს. 30 — 40-იანი წწ. — პ. ფერმამ საფუძველი ჩაუყარა რიცხვთა თეორიას, ჩამოაყალიბა ამ თეორიის ცნობილი პრობლემები, რომლებსაც 200 წლის განმავლობაში ცენტრალური ადგილი ეჭირა თეორიულ-რიცხვულ კვლევაში.

XVII ს. 70 — 80-იანი წწ. — ი. ნიუტონმა და გ. ლაიბნიცმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შექმნეს დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა და მათემატიკურ ანალიზში შემოიღეს მისი ძირითადი აპარატი — უსასრულო მწკრივები. ნიუტონმა გაავრცელა ბინომის ხარისხში აყვანის ფორმულა იმ შემთხვევისათვის, როცა ხარისხის მაჩვენებელი ნებისმიერი რაციონალური რიცხვია.

1684 წ. — გამოვიდა ი. ნიუტონის წიგნი „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“, რომელშიც პირველად იყო მოცემული მიწიერ და ციურ სხეულთა კლასიკური მექანიკის საფუძვლების მათემატიკური აგება.

1718 წ. — ი. ბერნულიმ ჩამოაყალიბა და დაამტკიცა ალბათობათა თეორიის ერთ-ერთი ძირითადი კანონის — დიდ რიცხვთა კანონის — უმარტივესი ფორმა.

1748 წ. — ლ. ეილერმა განავითარა მოძღვრება როგორც ნამდვილი, ასევე კომპლექსური ცვლადის ფუნქციების შესახებ. მან დაწვრილებით გამოიკვლია x^n, a^x, $\log x$, $\sin x$, $\cos x$ ელემენტარული ფუნქციები, მოძებნა მათთვის გამოსახულება უსასრულო მწკრივებისა და უსასრულო ნამრავლის სახით და განსაზღვრა უარყოფითი და წარმოსახვითი რიცხვების ლოგარითმები (იხ. გვ. 704 — 707).

1770 — 1771 წწ. — ჟ. ლაგრანჟმა დაწერა ცნობილი მემუარი „ფიქრები განტოლებათა ალგებრულად ამოხსნის შესახებ“, რომელშიც მოგვცა პირველი ოთხი ხარისხის განტოლების რადიკალებში ამოხსნის ყველა მეთოდის ანალიზი და დაამტკიცა, რატომ არ გამოდგება ეს მეთოდები მეხუთე ხარისხის განტოლებებისათვის. მან აღმოაჩინა, რომ განტოლების რადიკალებში ამოხსნა დამოკიდებულია ამ განტოლების ფესვების გადანაცვლებათა ჯგუფის თვისებებზე და ამით ყურადღება გაამახვილა ჯგუფების შესწავლის მნიშვნელობაზე.

1796 წ. — კ. გაუსმა გამოთქვა აზრი, რომ თუ n მარტივი რიცხვია, მაშინ წესიერი n-კუთხედი შეიძლება ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით აიგოს, როცა n-ს აქვს $2^{2^k}+1$ სახე (იხ. გვ. 707 — 709).

1799 წ. — ნორვეგიელმა კ. ვესელმა მოგვცა კომპლექსურ რიცხვთა გეომეტრიული ინტერპრეტაცია. მაგრამ მისი შრომები უცნობი დარჩა. ანალოგიური გეომეტრიული ინტერპრეტაცია წამოაყენა 1806 წ. შვეიცარიელმა მეცნიერმა ჟ. არგანმა. მათემატიკაში კომპლექსურ რიცხვთა ინტერპრეტაცია საყოველთაოდ მხოლოდ მას შემდეგ აღიარეს, როცა 1832 წ. გაუსმა ჩამოაყალიბა მისი ძირითადი იდეები.

თანამედროვე მათემატიკის პერიოდი (XIX—XX სს.)

მათემატიკურმა მეთოდებმა ფიზიკის თითქმის ყველა დარგში შეაღწია, ჩვენს დროში კი ისინი აუცილებელი გახდა ქიმიაში, ბიოლოგიაში, მედიცინაში, ლინგვისტიკასა და ეკონომიკაში. მათემატიკა არაჩვეულებრივად იზრდება და დიდ ცვლილებებსაც განიცდის. იგი აბსტრაქციის ახალ, უფრო მაღალ საფეხურზე ადის.

1799 — 1825 წწ. — კ. გაუსმა დაამტკიცა ალგებრის ძირითადი თეორემა, ამასთანავე აღნიშნული დროის მანძილზე მისი ოთხი სხვადასხვა დამტკიცება მოგვცა.

1801 წ. — კ. გაუსმა შექმნა რიცხვთა თეორიის საფუძვლები. მან პირველმა განავითარა შედარებათა თეორია, ბოლომდე შეისწავლა კვადრატიკული ნაშთების თეორია, დაამტკიცა ამ თეორიის ძირითადი თეორემები და მოგვცა წრის გაყოფის განტოლების თეორია.

1821 წ. — ო. კოშიმ განავითარა ზღვართა თეორია, რომლის საფუძველზეც შექმნა მოძღვრება ფუნქციებზე, განსაზღვრა მწკრივის ჯამისა და ფუნქციის უწყვეტობის ცნე-

ბა. უფრო მოგვიანებით კი ეს მოძღვრება მან საფუძვლად დაუდო მთელ მათემატიკურ ანალიზს. მეცნიერების ამ დარგის გადმოცემისას ჩვენ დღემდე მივდევთ კოშის მიერ დასახულ გზას იმ გაუმჯობესებებით, რომლებიც კ. ვაიერშტრასმა შემოგვთავაზა XIX საუკუნის მეორე ნახევარში.

1824 — 1826 წწ. — ახალგაზრდა ნორვეგიელმა მათემატიკოსმა ნ. აბელმა დაამტკიცა, რომ ალგებრული განტოლება, რომლის ხარისხი 5-ზე ნაკლები არ არის, საზოგადოდ, რადიკალებში არ ამოიხსნება.

1827 წ. — კ. გაუსმა განავითარა ე. წ. ზედაპირთა შინაგანი გეომეტრია, რომელშიც ყოველი ზედაპირი თავისი განსაკუთრებული გეომეტრიის მატარებლად გვევლინება.

1829 — 1830 წწ. — შესანიშნავმა რუსმა მათემატიკოსმა ნ. ლობაჩევსკიმ გამოაქვეყნა თავისი პირველი ნაშრომები არაევკლიდურ გეომეტრიაში.

1832 წ. — ნ. ლობაჩევსკისაგან დამოუკიდებლად არაევკლიდური გეომეტრიის სისტემა ააგო ი. ბოიაიმ.

1830 — 1832 წწ. — ე. გალუამ იპოვა იმის ნიშანი, ამოიხსნება თუ არა მოცემული რიცხვითკოეფიციენტებიანი განტოლება რადიკალებში, ამასთან განავითარა მეთოდები ჯგუფთა თეორიისა და ველებისა, რომლებსაც დიდი მნიშვნელობა აქვთ მათემატიკაში (იხ. გვ. 712 — 714).

1832 წ. — რიცხვთა თეორიაში ჩატარებულ თავის გამოკვლევებთან დაკავშირებით გაუსმა განაზოგადა მთელი რიცხვის ცნება $a + bi$ კომპლექსურ რიცხვებზე, სადაც a და b მთელი რიცხვებია. მან განსაზღვრა მარტივ და ურთიერთმარტივ რიცხვთა ცნება, ახალ მთელ რიცხვებზე გადაიტანა უდიდესი საერთო გამყოფის ალგორითმის მოძებნა და განავითარა მთელ კომპლექსურ რიცხვთა მთელი არითმეტიკა.

1840 — 1851 წწ. — უ. ჰამილტონმა განაზოგადა კომპლექსური რიცხვის ცნება, ააგო კვატერნიონები — რიცხვები შემდეგი სახისა:

$$a + bi + cj + dk,$$

სადაც

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1,$$

ხოლო a, b, c, d ნამდვილი რიცხვებია. აღმოჩნდა, რომ ამ რიცხვებისათვის ჩვეულებრივი არითმეტიკის ყველა წესი უკვე არ სრულდება. მაგალითად, კვატერნიონების გამრავლებას არ ახასიათებს კომუტატიურობის თვისება ($ij \neq ji$).

1849 წ. — პ. ჩებიშევმა ევკლიდეს შემდეგ პირველმა მიიღო ზუსტი შედეგები ნატურალურ მწკრივში მარტივ რიცხვთა განაწილების კანონის შესახებ (იხ. გვ. 714 — 716).

1854 წ. — ბ. რიმანმა შემოიღო n-განზომილებიანი სივრცეები, განაზოგადა გაუსის იდეები ზედაპირთა შინაგან გეომეტრიაში და მოგვცა ყოველგვარი მეტრული არაევკლიდური გეომეტრიის აგების ხერხი. რიმანის გეომეტრიები ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ძირითად მათემატიკურ აპარატად იქცა. რიმანის გეომეტრიების კერძო შემთხვევებია ევკლიდესა და ლობაჩევსკის გეომეტრიები.

1881 — 1882 წწ. — რ. დედეკინდმა, გ. კანტორმა და კ. ვაიერშტრასმა სამი სხვადასხვა ხერხით ააგეს ნამდვილ რიცხვთა თეორია. მალე დედეკინდისა და განსაკუთრებით კანტორის ნაშრომებში აღმოცენდა თანამედროვე მათემატიკის უმნიშვნელოვანესი დარგი — სიმრავლეთა თეორია.

1899 წ. — დ. ჰილბერტმა „გეომეტრიის საფუძვლებში“ ააგო ევკლიდეს გეომეტრიის სრული აქსიომატიკა და ანალიზი გაუკეთა აქსიომათა სხვადასხვა ჯგუფების თანაფარდობას. ამ დროიდან მათემატიკაში ფართოდ განვითარდა აქსიომატური მეთოდი.

XX ს. — შეიქმნა ახალი მათემატიკური დისციპლინები, რომლებიც უდიდეს როლს ასრულებენ როგორც თვით მათემატიკაში, ასევე მათემატიკურ ბუნებისმეტყველებასა და ტექნიკაში.

მათემატიკური ოლიმპიადები

ძველ საბერძნეთში ყოველ ოთხ წელიწადში ერთხელ ტარდებოდა ოლიმპიური თამაშები — შეჯიბრი სირბილში, ბადროს ტყორცნაში, ჭიდაობაში, ეტლების ტარებასა და სხვ. ოთხწლიან შუალედს ორ ოლიმპიურ თამაშს შორის ოლიმპიადა ეწოდებოდა და დროსაც ამ ოლიმპიადებით ითვლიდნენ. გასული საუკუნის დასასრულიდან ოლიმპიადებს უწოდებენ საერთაშორისო სპორტულ შეჯიბრებებს, რომლებიც აგრეთვე ოთხ წელიწადში ერთხელ ტარდება.

მათემატიკურ ოლიმპიადებს პირველად ჩვენს ქვეყანაში ჩაეყარა საფუძველი 1934 წ. მართალია, მათ ოლიმპიადები ეწოდებათ, მაგრამ არავითარი კავშირი არა აქვთ ოთხწლიან შუალედებთან. ისინი ყოველწლიურად ტარდება. თავიდან ჩვენს ქვეყანაში მხოლოდ საქალაქო ოლიმპიადები ტარდებოდა.

1960 წლიდან დაიწყო სრულიად რუსეთისა და, ფაქტიურად, საკავშირო ოლიმპიადების ჩატარება. ამ ოლიმპიადების მონაწილეები არიან მრსწავლეები, რომლებიც მათემატიკურ განათლებასა და მოსაზრებულობაში ეჯიბრებიან ერთმანეთს. შეჯიბრი ოთხი ტურისაგან შედგება. თითოეული ტურის მონაწილეებმა წერითი სახით უნდა ამოხსნან ამოცანები (ჩვეულებრივ ეძლევათ ოთხი ამოცანა).

ის, ვინც პირველ ტურში სწორად ამოხსნის ამოცანებს (შეიძლება ეს ყველამ ვერ მოახერხოს), გამარჯვებულად ითვლება და შემდეგ ტურში მონაწილეობის უფლება ეძლევა.

აი, რამდენიმე ამოცანა, რომლებიც უნდა ამოეხსნათ ოლიმპიადის მონაწილეებს მეოთხე (დასკვნით) ტურში 1963 და 1964 წწ. (III და IV სრულიად რუსეთის ოლიმპიადებზე).

VIII კლასი

1. მოცემულია ამოზნექილი $ABCD$ ოთხკუთხედი. AB გვერდის გაგრძელებაზე გადაზომილია $BM = AB$ მონაკვეთი, BC გვერდის გაგრძელებაზე $CN = BC$ მონაკვეთი, CD გვერდის გაგრძელებაზე $DP = CD$ მონაკვეთი და DA გვერდის გაგრძელებაზე $AQ = AD$ მონაკვეთი.

დასამტკიცებელია, რომ $MNPQ$ ოთხკუთხედის ფართობი ხუთჯერ მეტია $ABCD$ ოთხკუთხედის ფართობზე.

2. დაამტკიცეთ, რომ, როგორიც არ უნდა იყოს ნატურალური რიცხვი m, $m(m+1)$ არ წარმოადგენს მთელი რიცხვის ხარისხს.

3. მოცემულია $2k+1$ მთელი რიცხვების ნებისმიერი $a_1, a_2, \ldots, a_{2k+1}$ მიმდევრობა, რომლისგანაც მიიღება ახალი მიმდევრობა:

$$\frac{a_1+a_2}{2};\ \frac{a_2+a_3}{2};\ \ldots;\ \frac{a_{2k+1}+a_1}{2}.$$

ამ მიმდევრობიდან იგივე წესით მიიღება შემდეგი მიმდევრობა და ა. შ. ამასთან ყველა მიღებული რიცხვი მთელია. დასამტკიცებელია, რომ ყველა საწყისი რიცხვი ტოლია.

4. $ABCD$ ამოზნექილი ოთხკუთხედის თითოეული დიაგონალი მის ფართობს შუაზე ყოფს. დაამტკიცეთ, რომ $ABCD$ პარალელოგრამია.

IX კლასი

1. $n \times n$ (n კენტია) ტაბულის უჯრედებში ნებისმიერადაა ჩაწერილი რიცხვები ისე, რომ ყოველ უჯრედში დგას რიცხვი, რომელიც $+1$ ან -1 უდრის. თითოეულ სტრიქონში ჩაწერილი რიცხვების ნამრავლი a_k-თი აღვნიშნოთ, თითოეულ სვეტში ჩაწერილი რიცხვების ნამრავლი კი b_k-თი ($k = 1, 2, \ldots, n$). დაამტკიცეთ, რომ

$$a_1 + a_2 + \ldots + a_n + b_1 + b_2 + \ldots b_n \neq 0.$$

2. მთელ რიცხვებში ამოხსენით განტოლება

$$\sqrt{n+\sqrt{n+\sqrt{n+\ldots+\sqrt{n}}}} = m,$$

სადაც $\sqrt{n}$ მეორდება 1964-ჯერ.

3. სიბრტყეზე დახატულია ბადე, რომელიც შექმნილია 1 გვერდიანი წესიერი ექვსკუთხედებისაგან. ბადის წირებზე მოძრაობისას ხოჭო A კვანძიდან B კვანძში მიცოცდა უმოკლესი მანძილით, რომელიც უდრის 100. დაამტკიცეთ, რომ მთელი გზის ნახევარზე ხოჭომ ერთი მიმართულებით იმოძრავა.

X — XI კლასები

1. მოცემულია ამოზნექილი ექვსკუთხედი $ABCDEF$. ცნობილია, რომ თითოეული AD, BE, CF დიაგონალი მის ფართობს შუაზე ყოფს. დაამტკიცეთ, რომ ეს დიაგონალები ერთ წერტილში იკვეთება.

2. მოცემულია არითმეტიკული პროგრესია, რომლის წევრები მთელი დადებითი რიცხვებია. ცნობილია, რომ ამ პროგრესიაში არის წევრი, რომელიც სრულ კვადრატს წარმოადგენს. დაამტკიცეთ, რომ პროგრესია უსასრულოდ ბევრ ასეთ წევრს შეიცავს.

3. ერთმანეთის არაგადამკვეთ ტეტრაედრთა რა უმცირეს რიცხვზე შეიძლება დაიყოს კუბი?

უკანასკნელ წლებში ტარდება საერთაშორისო ოლიმპიადები, რომლებშიც ჯერჯერობით მხოლოდ სახალხო დემოკრატიის ქვეყნები მონაწილეობენ. მაგალითად, 1962 წ. ზაფხულში ჩეხოსლოვაკიაში გაიმართა IV საერთაშორისო მათემატიკური ოლიმპიადა, რომელშიც საშუალო სკოლების ორი უკანასკნელი კლასის მოსწავლეები მონაწილეობდნენ. მონაწილეებს მისცეს შემდეგი ამოცანები:

1. მოძებნეთ უმცირესი ნატურალური რიცხვი n, რომელსაც შემდეგი თვისებები აქვს:

ა) მისი ჩაწერა ათობით სისტემაში მთავრდება ციფრით 6;

ბ) უკანასკნელი ციფრი 6 რომ წავშალოთ და ეს ციფრი დარჩენილ ციფრებს წინ მივუწეროთ, მივიღებთ რიცხვს, რომელიც გამოსავალ რიცხვზე ოთხჯერ მეტი იქნება. (6 ქულა)

2. იპოვეთ ყველა ნამდვილი x რიცხვი, რომლებიც აკმაყოფილებენ უტოლობას:

$$\sqrt{3-x}-\sqrt{x+1}>\frac{1}{2}.$$

(6 ქულა)

3. მოცემულია კუბი $ABCDA'B'C'D'$ ($ABCD$ და $A'B'C'D'$ შესაბამისად ზედა და ქვედა ფუძეებია და $AA' \parallel BB' \parallel CC' \parallel DD'$). X წერტილი მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს $ABCD$ კვადრატის გვერდებზე $ABCDA$ მიმართულებით და Y წერტილი იმავე სიჩქარით $B'C'CB$ კვადრატის გვერდებზე $B'C'CBB'$ მიმართულებით მოძრაობს. X და Y წერტილები ერთდროულად იწყებენ მოძრაობას შესაბამისად A და B' გამოსავალი მდებარეობებიდან.

მოძებნეთ და დახაზეთ XY მონაკვეთების შუა წერტილთა გეომეტრიული ადგილი (8 ქულა)

4. ამოხსენით განტოლება

$$\cos^2 x + \cos^2 2x + \cos^2 3x = 1$$

(5 ქულა)

5. k წრეწირზე მოცემულია სამი სხვადასხვა წერტილი A, B, C. ამ წრეწირზე ისე უნდა აიგოს (ფარგლითა და სახაზავით) მეოთხე წერტილი D, რომ მიღებულ $ABCD$ ოთხკუთხედში წრეწირი ჩაიხაზოს.

(7 ქულა)

6. მოცემულია ტოლფერდა სამკუთხედი ABC; r — შემოხაზული წრეწირის რადიუსი, ρ — ჩახაზული წრეწირის რადიუსი. დაამტკიცეთ, რომ წრეწირების ცენტრებს შორის d მანძილი არის

$$d=\sqrt{r(r-2\rho)}.$$

(6 ქულა)

7. $SABC$ ტეტრაედრს შემდეგი თვისებები აქვს: არსებობს ხუთი სფერო, რომლებიც ეხება SA, SB, SC, AB, BC, CA წიბოებს ან მათ გაგრძელებებს.

დაამტკიცეთ, რომ ა) $SABC$ ტეტრაედრი წესიერია, ბ) პირიქით — ყოველი წესიერი ტეტრაედრისათვის არსებობს ხუთი ასეთი სფერო.

(8 ქულა)

ოლიმპიადაზე პრემიის მისაღებად საჭირო იყო არანაკლებ 29 ჩასათვლელი ქულისა. 46 — 41 ქულა I პრემიისათვის, 40 — 34 ქულა II პრემიისათვის, 33 — 29 ქულა III პრემიისათვის.

სულ გაიცა 4 პირველი, 12 მეორე და 15 მესამე პრემია. აქედან საბჭოთა მოსწავლეებმა მიიღეს 2 პირველი, 2 მეორე და 2 მესამე პრემია.

აი, როგორი ამოცანები უნდა ამოეხსნათ პოლონეთის სახალხო რესპუბლიკაში 1963 წლის ზაფხულში ჩატარებული V საერთაშორისო ოლიმპიადის მონაწილეებს:

1. მოძებნეთ ყველა ნამდვილი ფესვი განტოლებისა

$$\sqrt{x^2-p}+1\sqrt{x^2-1}=x,$$

სადაც p ნამდვილი პარამეტრია.

(6 ქულა)

2. მოძებნეთ სივრცეში ისეთი მართი კუთხეების წვეროთა გეომეტრიული ადგილი, რომელთა ერთი გვერდი მოცემულ A წერტილზე გადის, მეორეს კი ერთი წერტილი მაინც აქვს საერთო BC მონაკვეთთან.

(7 ქულა).

3. დაამტკიცეთ, რომ

$$\cos\frac{\pi}{7}-\cos\frac{2\pi}{7}+\cos\frac{3\pi}{7}=\frac{1}{2}.$$

(6 ქულა)

4. A, B, C, D, E მოსწავლეები ერთ კონკურსში მონაწილეობდნენ. კონკურსით დაინტერესებულმა ერთმა პირმა სცადა შეჯიბრების შედეგები გამოეცნო. მისი აზრით, მონაწილეთა თანმიმდევრობა ადგილების მიხედვით A, B, C, D, E უნდა ყოფილიყო. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ მან არა მარტო თითოეულის ადგილი, არამედ უშუალოდ ერთმანეთის მომდევნო მოსწავლეების ვერც ერთი წყვილიც ვერ გამოიცნო. მეორე პირმა, რომელმაც D, A, E, C, B თანმიმდევრობა ივარაუდა, სწორად გამოიცნო ორი მოსწავლის ადგილი და აგრეთვე ორი წყვილიც (უშუალოდ ერთმანეთის მომდევნო მოსწავლეებისა). როგორი იყო სინამდვილეში კონკურსის შედეგი?

(8 ქულა)

I ხარისხის დიპლომებით დაჯილდოვდნენ მონაწილენი, რომელთაც 35-დან 40-მდე ქულა მოაგროვეს, II ხარისხის დიპლომებით — 28-დან 34 ქულამდე მფლობელნი, III ხარისხის დიპლომებით — 21-დან 27 ქულამდე მფლობელნი.

საბჭოთა მოსწავლეებმა მიიღეს 4 დიპლომი I ხარისხისა (შვიდიდან), 3 დიპლომი II ხარისხისა (თერთმეტიდან) და 1 დიპლომი III ხარისხისა (ჩვიდმეტიდან).

ჟურნალში „მათემატიკა სკოლაში“ (№ 6, 1963 წ.) მოთავსებულია III სრულიად რუსეთისა და V საერთაშორისო ოლიმპიადების ამოცანების ამოხსნა.

1964 წ. 2-დან 10 ივლისამდე მოსკოვის უნივერსიტეტის შენობაში მიმდინარეობდა VI საერთაშორისო მათემატიკური ოლიმპიადა. მონაწილეებს შემდეგი ამოცანები უნდა ამოეხსნათ:

1. ა) განსაზღვრეთ ყველა მთელი დადებითი n რიცხვი, რომელთათვისაც რიცხვი $2^n - 1$ იყოფა 7-ზე;

ბ) დაამტკიცეთ, რომ არც ერთი მთელი დადებითი n-სათვის $2^n + 1$ არ იყოფა 7-ზე.

(7 ქულა)

2. a, b, c აღნიშნავს სამკუთხედის გვერდების სიგრძეს. დაამტკიცეთ, რომ

$$a^2(b+c-a)+b^2(a+c-b)+c^2(a+b-c)\leqslant 3abc.$$

(7 ქულა)

3. ABC სამკუთხედში, რომლის გვერდებია a, b, c, ჩახაზულია წრეწირი და აგებულია მისი მხებები, რომლებიც მოცემული სამკუთხედის გვერდების პარალელურია. ეს მხებები მოცემული სამკუთხედიდან კვეთს სამ ახალ სამკუთხედს. ამ გზით აგებულ თითოეულ სამკუთხედში ჩახაზულია წრეწირი. გამოსათვლელია ოთხივე წრის ფართობთა ჯამი.

(6 ქულა)

4. თითოეულს 17 მეცნიერიდან დანარჩენებთან აქვს მიმოწერა. მიმოწერაში ისინი ეხებიან მხოლოდ სამ თემას. მეცნიერთა ყოველი წყვილის მიმოწერა კი მხოლოდ ერთ თემასთანაა დაკავშირებული. დაამტკიცეთ, რომ არანაკლებ

სამ მეცნიერს ერთსა და იმავე თემაზე აქვთ ერთმანეთთან მიმოწერა.

(6 ქულა)

5. სიბრტყეზე მოცემულია ხუთი წერტილი. ამ ხუთი წერტილის შემაერთებელ წრფეებს შორის არ არის არც პარალელური, არც მართობული და არც თანხვედნილი წრფეები. ყოველ წერტილზე გავავლოთ მართობები ყველა წრფისადმი, რომლებიც შეიძლება აიგოს დანარჩენი ოთხი წერტილის წყვილ-წყვილად შეერთებით. როგორია ამ მართობების გადაკვეთის წერტილთა მაქსიმალური რიცხვი, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მოცემულ ხუთ წერტილს?

(7 ქულა)

6. მოცემულია $ABCD$ ტეტრაედრი. D წვერო შეერთებულია ფუძის სიმძიმის ცენტრთან D_1 წერტილით. ABC სამკუთხედის წვეროებზე გავლებულია DD_1-ის პარალელური წრფეები მოპირდაპირე წახნაგების გადაკვეთამდე A_1, B_1, C_1 წერტილებში. დაამტკიცეთ, რომ $ABCD$ ტეტრაედრის მოცულობა სამჯერ ნაკლებია $A_1B_1C_1D_1$ ტეტრაედრის მოცულობაზე.

იქნება თუ არა შედეგი სწორი, თუ D_1 წერტილი ნებისმიერი წერტილია ABC სამკუთხედის შიგნით?

(9 ქულა)

პრემიის მისაღებად საჭირო იყო შემდეგი რაოდენობის ქულები: I პრემიისათვის 37 — 42 ქულა, II პრემიისათვის 31 — 36 ქულა და III პრემიისათვის 27 — 30 ქულა; ვინც 30 ქულას მოაგროვებდა, ღებულობდა ოლიმპიადის მონაწილის დიპლომს.

რვა საბჭოთა მოსწავლიდან შვიდმა მიიღო პრემია. მათგან სამმა პირველი (შვიდიდან), ერთმა მეორე (ცხრიდან) და სამმა მესამე (ცხრამეტიდან). უნგრეთის გუნდმა მიიღო სამი პირველი, ერთი მეორე და ერთი მესამე პრემია; პოლონეთის გუნდმა — ერთი პირველი, ერთი მეორე და სამი მესამე პრემია; რუმინეთის გუნდმა—ორი მეორე და სამი მესამე პრემია; ჩეხოსლოვაკიის გუნდმა — ორი მეორე და ორი მესამე პრემია; გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკის გუნდმა — ერთი მეორე და ორი მესამე პრემია; ბულგარეთის გუნდმა — სამი მესამე პრემია; იუგოსლავიის გუნდმა — ერთი მეორე და ერთი მესამე პრემია; მონღოლეთის გუნდმა — ერთი მესამე პრემია.

ოლიმპიადები ზრდის მოსწავლეთა ინტერესს მათემატიკისადმი. შესაძლოა საბავშვო ენციკლოპედიის ბევრმა მკითხველმა მიიღოს მონაწილეობა ოლიმპიადებში და გამოარჯვოს ნორჩ მათემატიკოსთა ამ შეჯიბრებებზე, შემდეგ კი მეცნიერიც გახდეს.

რა წავიკითხოთ მათემატიკაში

ლიტერატურის ანოტირებული სია

(რუსულ ენაზე)

მეცნიერულ-პოპულარული წიგნების სია, რომელსაც საბავშვო ენციკლოპედიის მკითხველს ვთავაზობთ, დაყოფილია წინამდებარე ტომის მათემატიკური სტატიების ჯგუფებთან თემატურად დაკავშირებულ რამდენიმე განყოფილებად. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ პირველი განყოფილება, რომელშიც შეტანილია მათემატიკისა და მისი ისტორიის მრავალი საკითხის ამსახველი წიგნები. ყოველ განყოფილებაში (გარდა ზოგადი წიგნებისა) დასახელებულია წიგნები, რომლებიც ავსებენ და აღრმავებენ ენციკლოპედიის სათანადო სტატიებს. ამიტომ წიგნების უმრავლესობა უფროსი კლასის მოსწავლეებისათვისაა განკუთვნილი. სიაში ისეთი წიგნებიცაა შეტანილი, რომლებსაც ინტერესით წაიკითხავენ VI — VIII კლასების მოსწავლეებიც (ამ წიგნების ანოტაციებში მოცემულია სათანადო მითითება).

ზოგადი საკითხები

გ ო ლ ო ვ ი ნ ა ლ., ი ა გ ლ ო მ ი ი. ინდუქცია გეომეტრიაში. მე-2 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 100 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

გ რ ა დ შ ტ ე ი ნ ი ი. პირდაპირი და შებრუნებული თეორემები (ლოგიკის ალგებრის ელემენტები). მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 128 გვ. ილუსტრ.

დ ე პ მ ა ნ ი ი. რიცხვთა სამყარო (მოთხრობები მათემატიკაზე). ლ., დეტგიზი, 1963, 72 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბიბლიოთეკა).

V — VIII კლასის მოსწავლეებისათვის გასაგებ მომცრო ნარკვევებში მოთხრობილია მათემატიკის წარმოშობის, მისი განვითარების, არითმეტიკის, ალგებრის, გეომეტრიის ძირითადი ცოდნის შესახებ.

დ ე პ მ ა ნ ი ი. მოთხრობები ამოცანების ამოხსნაზე. ლ., დეტგიზი, 1957, 128 გვ. ილუსტრ.

ათ მოთხრობაში სხვადასხვა ამოცანების ამოხსნასთან ერთად მოცემულია საინტერესო მათემატიკური ცნობებიც. ავტორი მაგალითებით გვიჩვენებს, რამდენად მნიშვნელოვანია ამოცანის ამოხსნის დროს პირობების ყოველ სიტყვაზე ყურადღებით დაკვირვება. წიგნში მოცემული თითქმის ყველა ამოცანა ამოიხსნება არითმეტიკის ოთხი მოქმედების საშუალებით.

დ ო მ ო რ ი ა დ ი ა. მათემატიკური თამაშები და გასართობები. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 268 გვ. ილუსტრ.

დ უ ბ ნ ო ვ ი ი. შეცდომები გეომეტრიულ დამტკიცებებში. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 68 გვ. ახლავს ნახაზები (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ე ი დ ე ლ ს ი ნ ლ. ქოხები ბილიკებზე. მ., დეტგიზი, 1960, 175 გვ. ილუსტრ.

მოთხრობა სასკოლო გაზეთ „ჰიპოტენუზაზე“. ამ მოთხრობის გმირებმა, მათემატიკის წრის წევრებმა, შეძლეს ნამდვილად საინტერესო გაეხადათ უბრალო მათემატიკური ამოცანები, ისეთები, როგორსაც ყოველდღე ხსნიან VI — VII კლასებში.

ვ ო რ ო ნ ც ო ვ ა ლ. სოფიო კოვალევსკაია. მ., „მოლოდაია გვარდია“, 1959, 335 გვ. ილუსტრ. (გამოჩენილ ადამიანთა ცხოვრება).

ი ნ ფ ე ლ დ ი ლ. ევარისტ გალუა — ღმერთების რჩეული. თარგმანი ინგლისურიდან. მ., „მოლოდაია გვარდია“, 1958, 368 გვ. ილუსტრ. (გამოჩენილ ადამიანთა ცხოვრება).

კ ა გ ა ნ ი ვ. ლობაჩევსკი და მისი გეომეტრია. პოპულარული ნარკვევები. მ., გოსტეხიზდატი, 1955, 304 გვ. ახლავს ნახაზები.

კ ო ლ მ ო გ ო რ ო ვ ი ა. მათემატიკოსის პროფესიის შესახებ. მე-3 გამოც. მ., მოსკ. უნ-ტის გამომც. 1960, 30 გვ.

წიგნის ავტორი — გამოჩენილი საბჭოთა მათემატიკოსი — მოგვითხრობს მკვლევარ-მათემატიკოსთა მუშაობაზე, ე. წ. მათემატიკურ ნიჭზე, ჩვენს ქვეყანაში მათემატიკური განათლების ორგანიზაციაზე.

კ ო რ დ ე მ ს კ ი ბ. მათემატიკური მიხვედრილობა. მე-7 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1963, 568 გვ. ილუსტრ.

კრებულში შესულია 365 მათემატიკური მინიატურა: სხვადასხვა ამოცანა, მათემატიკური თამაში, ხუმრობა, რომლებიც გონებრივ მუშაობას მოითხოვს.

ლ ი ტ ც მ ა ნ ი ვ. სადაა შეცდომა? თარგმანი გერმანულიდან. მ., ფიზმატგიზი, 1962, 192 გვ. ილუსტრ.

უთუოდ ყველას გააცინებს მტკიცება: „2=1“ ან: „ყოველი სამკუთხედი არის ტოლფერდა“. ამ და მრავალი ასევე საოცარი „მტკიცების“ დასაბუთებას შეიძლება წავაწყდეთ ამ წიგნში. ცხადია, ეს „მტკიცებანი“ შეცდომას შეიცავენ, მაგრამ სად? პასუხი მკითხველმა უნდა გასცეს.

ნ ა გ ი ბ ი ნ ი ფ. მათემატიკური ყუთი. მე-2 გამოც. მ., უჩპედგიზი, 1961, 167 გვ. ილუსტრ.

ეს წიგნი გააცნობს მკითხველს რუსი მათემატიკოსების ბიოგრაფიას, მათემატიკის ისტორიის საინტერესო მასალებს, მათემატიკურ ლოგიკას, გამოთვლით ხელსაწყოებსა და მანქანებს და სხვ.

ო რ ე ო. შესანიშნავი მათემატიკოსი ნილს ჰენრიკ აბელი. თარგმანი ინგლისურიდან. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 344 გვ. ილუსტრ.

პ ე რ ე ლ მ ა ნ ი ი. ცოცხალი მათემატიკა (მათემატიკური ამოცანები და თავსატეხები). მე-7 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1962, 184 გვ. ილუსტრ.

აქ პატარა მოთხრობების სახითაა ჩამოყალიბებული მათემატიკური ამოცანები და ანგარიშისა და გაზომვისათვის სასარგებლო პრაქტიკული მაგალითები. წიგნის წასაკითხად საკ-

მარისია არითმეტიკული წესებისა და გეომეტრიის ელემენტარული ცნობების ცოდნა.

პ ე რ ე ლ მ ა ნ ი ი. გასართობი ამოცანები და ცდები. მ., დეტგიზი, 1959, 528 გვ. ილუსტრ. (სასკოლო ბიბლიოთეკა).

რ ა დ ე მ ა ხ ე რ ი გ., ტ ე პ ლ ი ც ი ო. რიცხვები და ნაკვთები. მათემატიკური აზროვნების ცდები. თარგმანი გერმანულიდან. მე-3 გამოც., მ., ფიზმატგიზი, 1962, 264 გვ. ილუსტრ. (მათემატიკის წრის ბიბლიოთეკა).

მათემატიკის სხვადასხვა საკითხებისადმი მიძღვნილი ოცდაშვიდივე პატარა ნარკვევი ყველასათვის ხელმისაწვდომი სამეცნიერო კვლევის ნიმუშია. წიგნის მნიშვნელობა ისაა, რომ იგი გვაცნობს არა მარტო მასალას, რომელზედაც მეცნიერება მუშაობს, არამედ გვიჩვენებს, როგორ იყენებენ მეცნიერულ მეთოდებს პრაქტიკულად.

რ უ ს უ ლ ი მ ე ც ნ ი ე რ ე ბ ი ს ა დ ა მ ი ა ნ ე ბ ი. ნარკვევები ბუნებისმეტყველებისა და ტექნიკის გამოჩენილ მოღვაწეებზე (მათემატიკა, მექანიკა, ასტრონომია, ფიზიკა, ქიმია), მ., ფიზმატგიზი, 1961, 600 გვ. ილუსტრ.

ცნობილი საბჭოთა მეცნიერების მიერ დაწერილ ამ ნარკვევებში მოთხრობილია ბუნებისმეტყველებისა და ტექნიკის რუსი მოღვაწეების ცხოვრებასა და შემოქმედებაზე. 12 ნარკვევი მათემატიკოსებისადმია მიძღვნილი.

ს ო მ ი ნ ს კ ი ი. მათემატიკური ინდუქციის მეთოდი. მე-6 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 48 გვ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

აქ მოცემულია მათემატიკური დამტკიცების განსაკუთრებული მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს კერძო დაკვირვებების საფუძველზე გავაკეთოთ დასკვნები ზოგადი კანონზომიერებების შესახებ.

ნაკვთებისა და სხეულების შესახებ

გ ე ლ ფ ა ნ დ ი ი., გ ლ ა გ ო ლ ე ვ ა ე., კ ი რ ი ლ ო ვ ი ა. კოორდინატების მეთოდი. მ., „ნაუკა“, 1964, 72 გვ. ახლავს ნახაზები (ფიზიკა-მათემატიკის სკოლის ბიბლიოთეკა).

ზ ე ტ ე ლ ი ს. სახაზავის გეომეტრია და ფარგლის გეომეტრია. მე-2 გამოც., მ., უჩპედგიზი, 1957, 163 გვ. ახლავს ნახაზები.

ყველა მოსწავლისათვის ცნობილია, რამდენად საინტერესოა ამოცანები სახაზავისა და ფარგლის დახმარებით აგებაზე. მაგრამ შეიძლება თუ არა ასეთი ამოცანების (და სახელდობრ რომლის) ამოხსნა მხოლოდ ერთი ფარგლისა და მხოლოდ ერთი სახაზავის დახმარებით? წიგნში არის პასუხი ამ კითხვაზე.

კ ა გ ა ნ ი ვ. ნარკვევები გეომეტრიაში. მ., მოსკ. უნ-ტის გამომც. 1963, 571 გვ. ილუსტრ.

ეს არის გეომეტრიის სხვადასხვა საკითხებზე ცოცხლად დაწერილი ნარკვევების კრებული.

მ ა რ კ უ შ ე ვ ი ჩ ი ა. შესანიშნავი მრუდები. მე-2 გამოც. მ.—ლ., გოსტეხიზდატი, 1952, 32 გვ. ახლავს ნახაზები. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ავტორი მოგვითხრობს ზოგიერთი მრუდი წირის თვისებებზე. წიგნი გათვალისწინებულია VII — VIII კლასების მოსწავლეებისათვის.

ო ს ტ რ ო ვ ს კ ი ა., კ ო რ დ ე მ ს კ ი ბ. გეომეტრია ეხმარება არითმეტიკას. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 168 გვ. ილუსტრ.

პ ე რ ე ლ მ ა ნ ი ი. გასართობი გეომეტრია. მე-11 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 302 გვ. ახლავს ნახაზები.

ამ წიგნში მოთხრობილია მრავალ საინტერესო გეომეტრიულ ამოცანაზე, რომლებიც შეიძლება ტყეში, ველზე, მდინარესთან, გზაზე წამოიჭრას ჩვენს წინაშე.

ს მ ო გ ო რ ჟ ე ვ ს კ ი ა. ლობაჩევსკის გეომეტრიის შესახებ. მ., გოსტეხიზდატი, 1957, 68 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

აქ მოცემულია ლობაჩევსკის არაევკლიდური გეომეტრიის ძირითადი დებულებები და მეცნიერის მოკლე ბიოგრაფიული ცნობები.

შ კ ლ ი ა რ ს კ ი დ., ჩ ე ნ ც ო ვ ი ნ., ი ა გ ლ ო მ ი ბ. ელემენტარული მათემატიკის რჩეული ამოცანები და თეორემები. ნაწ. 2—3. მ., გოსტეხიზდატი, 1952 — 1954. (მათემატიკის წრის ბიბლიოთეკა).

მე-2 ნაწ. — გეომეტრია (პლანიმეტრია). 380 გვ. ახლავს ნახაზები. (150 ამოცანა).

მე-3 ნაწ. — გეომეტრია (სტერეომეტრია). 267 გვ. ახლავს ნახაზები. (119 ამოცანა).

ესენია არაშაბლონური გეომეტრიული ამოცანებისა და მათი ამოხსნის კრებულები. პლანიმეტრიის ამოცანებს შორის არის VII — VIII კლასის მოსწავლეებისათვის გასაგები ამოცანებიც.

რიცხვებისა და განტოლებების შესახებ

ა ლ ე ქ ს ა ნ დ რ ო ვ ი პ. ჯგუფთა თეორიის შესავალი. მე-2 გამოც. მ., უჩპედგიზი, 1951, 126 გვ. ახლავს ნახაზები.

ბ ე რ მ ა ნ ი გ. რიცხვი და მეცნიერება მის შესახებ. ნატურალური რიცხვების არითმეტიკაზე ყველასათვის გასაგები ნარკვევები. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 164 გვ. ილუსტრ.

განხილულია ნატურალური რიცხვების თვისებები, მათი ჩაწერისა და აღნიშვნის სხვადასხვა საშუალება, რიცხვების ერთმანეთზე გაყოფის საკითხები.

გ ე ლ ფ ო ნ დ ი ა. განტოლებათა ამოხსნა მთელ რიცხვებში. მე-2 გამოც. მ., გოსტეხიზდატი, 1957, 64 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ყველამ, ვინც გაცნობილია განტოლებების ამოხსნას, იცის, რომ პირველი ხარისხის ორუცნობიან ერთ განტოლებას უსასრულოდ ბევრი ამონახსნი აქვს. ძნელი არაა იმ ამონახსნების პოვნაც, რომლებიც მთელი რიცხვებითაა გამოსახული. მაგრამ როგორღა ამოვხსნათ იგივე ამოცანა, თუ მოცემულია მეორე ან უფრო მაღალი ხარისხის რამდენიმეუცნობიანი განტოლება? განტოლებათა ამოხსნა მთელ რიცხვებში ურთულესი პრობლემაა, რომელიც ყველა შემთხვევაში როდია ამოხსნილი. მისი ამოხსნის ზოგიერთ შედეგზეა მოთხრობილი ამ წიგნში.

ვ ი ლ ე ნ კ ი ნ ი ნ. მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდი. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 64 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

აქ ლაპარაკია როგორც ალგებრული, ისე ტრანსცენდენ-

ტული (ტრიგონომეტრიული, მაჩვენებლიანი და სხვ.) განტოლებების მიახლოებით ამოხსნაზე.

კ უ რ ო შ ი ა. ნებისმიერი ხარისხის ალგებრული განტოლებები. მ., გოსტექნიზდატი, 1951, 32 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ალგებრის სასკოლო კურსში შეისწავლება პირველი და მეორე ხარისხის განტოლებები და უფრო მაღალი ხარისხის განტოლების ცალკეული სახეები. ამ წიგნში განხილულია საკითხი იმის შესახებ, თუ მეორე ხარისხზე მაღალი რომელი განტოლებები შეიძლება ამოიხსნას და როგორ.

მ ა რ კ უ შ ე ვ ი ჩ ი ა. კომპლექსური რიცხვები და კონფორმული ასახვები. მე-2 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 56 გვ. ილუსტრ. ნახაზები.

პ ე რ ე ლ მ ა ნ ი ი. გასართობი არითმეტიკა. გამოცანები და უცნაურობანი რიცხვთა სამყაროში. მე-9 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 184 გვ. ილუსტრ.

აქ მოყვანილი სხვადასხვა არითმეტიკული ამოცანის ამოსახსნელად საკმარისია არითმეტიკული წესების ცოდნა.

პ ე რ ე ლ მ ა ნ ი ი. გასართობი ალგებრა. მე-10 გამოც., მ., ფიზმატგიზი, 1959, 184 გვ. ილუსტრ.

შ კ ლ ი ა რ ს კ ი დ., ჩ ე ნ ც ო ვ ი ნ., ი ა გ ლ ო მ ი ი. ელემენტარული მათემატიკის რჩეული ამოცანები და თეორემები. ნაწ. 1. არითმეტიკა და ალგებრა. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 455 გვ. ილუსტრ. (მათემატიკის წრის ბიბლიოთეკა).

ეს არის 320 არაშაბლონური ამოცანისა და მათი ამოხსნის კრებული. ამოცანებს შორის არის VII — VIII კლასის მოსწავლეებისათვის გასაგები ამოცანებიც (ეს ამოცანები განსაკუთრებულადაა აღნიშნული).

უმაღლესი მათემატიკის ძირითადი ცნებების შესახებ

ბ ო ლ ტ ი ა ნ ს კ ი ვ. რა არის დიფერენცირება? მე-2 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 64 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ფიზიკიდან აღებული მაგალითებით ახსნილია უმაღლესი მათემატიკის ზოგიერთი ცნება (წარმოებული, დიფერენციალური განტოლება, ნატურალური ლოგარითმი, რიცხვი *e*).

ზ ე ლ დ ო ვ ი ჩ ი ი. უმაღლესი მათემატიკა დამწყებთათვის და მისი გამოყენება ფიზიკაში, მე-2 გამოც., მ., ფიზმატგიზი, 1963, 560 გვ. ილუსტრ.

აქ უბრალოდ და თვალსაჩინოდაა ახსნილი დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის — უმაღლესი მათემატიკის უმნიშვნელოვანესი განყოფილების ძირითადი ცნებები. მათ საფუძველზე განხილულია მრავალი ფიზიკური საკითხი.

მ ა რ კ უ შ ე ვ ი ჩ ი ა. ფართობები და ლოგარითმები. მ. — ლ., გოსტექნიზდატი, 1952, 51 გვ. ახლავს ნახაზები.

წიგნი წარმოადგენს ინტეგრალური აღრიცხვის თავისებურ შესავალს.

მ ა რ კ უ შ ე ვ ი ჩ ი ა. მწკრივები. ელემენტარული ნარკვევი. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 188 გვ. ილუსტრ.

შეიძლება ვიპოვოთ თუ არა ცხრილის დაუხმარებლად რომელიმე კუთხის სინუსის ან რიცხვთა ლოგარითმები? დიახ, მაგრამ უნდა ვიცოდეთ ამ ფუნქციების წარმოდგენა უსასრულო მწკრივებად. ამ წიგნში სწორედ უსასრულო მწკრივების ცნებაზე, მწკრივების ძირითად თვისებებზე, ელემენტარული ფუნქციების მწკრივებზეა მოთხრობილი.

ნ ა ტ ა ნ ს ო ნ ი ი. უმარტივესი ამოცანები მაქსიმუმსა და მინიმუმზე. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 32 გვ. ახლავს ნახაზები (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

მოცემულია საკვლევ სიდიდეთა მაქსიმუმისა და მინიმუმის განსაზღვრაზე ამოცანის ამოხსნის რამდენიმე ხერხი (მხოლოდ ალგებრული საშუალებების გამოყენებით).

ნ ა ტ ა ნ ს ო ნ ი ი. უსასრულოდ მცირე სიდიდეთა შეჯამება. მე-3 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 56 გვ. ახლავს ნახაზები (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ფიზიკის (მაგალითად, ჰურჰლის კედლებზე სითხის წნევის განსაზღვრა, მუშაობის გამოთვლა) და გეომეტრიის (მაგალითად, მრუდწირული ნაკვთების ფართობებისა და სხეულთა მოცულობების განსაზღვრა) სხვადასხვა ამოცანებს მივყავართ ერთი ტიპის იმ ჯამების გამოთვლამდე, რომელთა შესაკრების რიცხვი უსაზღვროდ იზრდება, ხოლო თითოეული შესაკრები უსაზღვროდ მცირდება. ასეთი ჯამების ზღვარის ცნება ინტეგრალური აღრიცხვის — უმაღლესი მათემატიკის განყოფილების — საფუძველია, სწორედ ამის შესახებაა მოთხრობილი ამ წიგნში.

შ ი ლ ო ვ ი გ. როგორ ავაგოთ გრაფიკები. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 24 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

პირდაპირი და უკუპროპორციული დამოკიდებულებისა და მეორე ხარისხის მრავალწევრთა მაგალითებზე ნაჩვენებია ფუნქციათა გრაფიკების აგების წესები.

თანამედროვე მათემატიკისა და კიბერნეტიკის ზოგიერთი საკითხი

ა რ ხ ა ნ გ ე ლ ს კ ი ნ., ზ ა ი ც ე ვ ი ბ. ავტომატური ციფრული მანქანები. მ., ფიზმატგიზი, 1958, 127 გვ. ილუსტრ. (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

ბ ე რ გ ი ა. კიბერნეტიკა და იმედიანობა. მ., „ზნანიე", 1963, 32 გვ.

წიგნის ავტორი — გამოჩენილი საბჭოთა მეცნიერი — მოგვითხრობს კიბერნეტიკის შესაძლებლობებზე, კიბერნეტიკული ტექნიკის იმედიანობის გაზრდის მეცნიერულ, ტექნიკურ და ორგანიზაციულ ღონისძიებებზე, იმაზე, როგორ ემსახურება და მომავალში მოემსახურება კიბერნეტიკა კომუნიზმის საქმეს.

გ ნ ე დ ე ნ კ ო ბ., ხ ი ნ ჩ ი ნ ი ა. ალბათობათა თეორიის ელემენტარული შესავალი. მე-6 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1964, 144 გვ. ილუსტრ.

ფიზიკისა და ბიოლოგიის, ავტომატური მართვის, ლინგვისტიკისა და სხვ. პრობლემები აუცილებელს ხდის ამოვხსნათ მრავალი ამოცანა, დაკავშირებული პროცესების შესაძლო მსვლელობის გამორკვევასთან, რომლებზეც შემთხვევითი ფაქტორები მოქმედებენ. ამიტომ ალბათობათა თეორია — შემთხვევითი მოვლენების კანონზომიერების შემსწავლელი მათემატიკური მეცნიერება — გახდა თანამედროვე

ბუნებისმეტყველებისა და ტექნიკის ერთ-ერთი ძირითადი მათემატიკური მეთოდი. ამ წიგნში მარტივადაა მოთხრობილი ალბათობათა თეორიის ძირითად ცნებებზე.

ვ ე ნ ტ ც ე ლ ი ე. თამაშთა თეორიის ელემენტები. მე-2 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1961, 68 გვ. ახლავს ნახაზები (პოპულარული ლექციები მათემატიკაში).

თამაშთა თეორიის — თანამედროვე მათემატიკის მნიშვნელოვანი განყოფილების — ძირითადი დებულებები გაშუქებულია დაწვრილებით განხილული მაგალითების მიხედვით.

ზ ა რ ი პ ო ვ ი რ. კიბერნეტიკა და მუსიკა. მ., „ზნანიე“, 1963, 56 გვ. ილუსტრ.

ი ა გ ლ ო მ ი ა., ი ა გ ლ ო მ ი ი. ალბათობა და ინფორმაცია. მე-2 გამოც. მ., ფიზმატგიზი, 1960, 316 გვ. ახლავს ნახაზები.

წიგნი წარმოადგენს მათემატიკის ახალი დარგის — ინფორმაციის თეორიის — შესავალს.

კ ო ზ რ ი ნ ს კ ი ა. რიცხვები მართავენ დაზგებს. მ., სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამომც., 1961, 192 გვ. ილუსტრ. (მეცნიერულ-პოპულარული სერია).

ფორმულების გამოუყენებლად ავტორი მოგვითხრობს, როგორ მოქმედებს ციფრული მართვის ავტომატი, როგორაა იგი მოწყობილი, რა სიძნელეები წარმოიშვებოდა მისი შექმნის დროს და როგორ იქნა დაძლეული ეს სიძნელეები. წიგნი გვაცნობს აგრეთვე თვლის სისტემებს, კოდირების მეთოდებს, უკუყავშირის პრინციპს.

კ ო ბ რ ი ნ ს კ ი ნ., პ ე კ ე ლ ი ს ი ვ. აზრზე უსწრაფესად. მ., „მოლოდაია გვარდია“, 1959, 389 გვ. ილუსტრ.

ავტორები ცოცხლად და საინტერესოდ მოგვითხრობენ მრავალ პრობლემაზე, რომლებსაც პირდაპირი დამოკიდებულება აქვთ კიბერნეტიკასთან.

კ ო ნ დ რ ა ტ ო ვ ი ა. რიცხვი და აზრი. მ., დეტგიზი, 1963, 142 გვ. ილუსტრ.

აქ საინტერესოდაა მოთხრობილი კიბერნეტიკის მიღწევებსა და შესაძლებლობებზე.

კ ო ნ დ რ ა ტ ო ვ ი ა. მათემატიკა და პოეზია. მ., „ზნანიე“, 1962, 48 გვ. ილუსტრ.

მათემატიკური მეთოდები ცოდნის სხვადასხვა სფეროს გამოკვლევის მძლავრი იარაღია. ამ წიგნში მოთხრობილია, როგორ იყენებენ მათ ლექსის შესასწავლად და სხვ.

პ ო ლ ე ტ ა ე ვ ი ი. სიგნალი. კიბერნეტიკის ზოგიერთი ცნების შესახებ. მ., „სოვეტსკოე რადიო“, 1958, 404 გვ. ილუსტრ.

წიგნში ყოველმხრივაა გაშუქებული კიბერნეტიკის საფუძვლები. განყოფილებები, რომლებიც მათემატიკის სხვა განგებო ცოდნას მოითხოვენ, გამოყოფილია და მათი გამოტოვება დანარჩენი მასალის გაგებაში ხელს არ შეუშლის მკითხველს.

ს მ ი რ ნ ო ვ ი ა. თანამედროვე მათემატიკური მანქანები. მ., ფიზმატგიზი, 1959, 112 გვ. ილუსტრ.

ტ ე პ ლ ო ვ ი ლ. ნარკვევები კიბერნეტიკის შესახებ. მე-2 გამოც. მ., „მოსკოვსკი რაბოჩი“, 1963, 416 გვ. ილუსტრ.

ტ უ კ ა ჩ ი ნ ს კ ი მ. მანქანა-მათემატიკოსები. მ., ფიზმატგიზი, 1958, 130 გვ. ილუსტრ.

(ქართულ ენაზე)

გ ო კ ი ე ლ ი ლ. მათემატიკოსის პროფესია. თბ., სახ. უნივერსიტეტის გამომც. 1962, 22 გვ.

კ ო მ ლ ა ძ ე გ. მიახლოებითი გამოთვლები ელემენტარულ მათემატიკაში. თბ., „ცოდნა“, 1962, 155 გვ.

კ ო მ ლ ა ძ ე გ. ჯაჭვური წილადები და განუსაზღვრელი განტოლებანი. თბ., „ცოდნა“, 1962, 44 გვ.

სახელთა და საგანთა საძიებელი[1]

ა

აბაკი — ძველ ბერძენთა და რომაელთა საანგარიშო დაფა (შემდეგში ხმარობდნენ დასავლეთ ევროპაშიც XVIII საუკუნემდე), რომელსაც არითმეტიკული გამოთვლებისათვის იყენებდნენ. იგი მოწყობილი იყო ჩვენი საანგარიშოს მსგავსად. — 479

აბელი, ნილს ჰენრიკი (1802 — 1829) — ნორვეგიელი მათემატიკოსი. დაამტკიცა (1824 წ.) მე-5 და უფრო მაღალი ხარისხის განტოლებების ამოუხსნადობა რადიკალებში ზოგად შემთხვევაში. მისი სხვა ნაშრომები მიძღვნილია მათემატიკური ანალიზის საკითხებისადმი. — 530, 630, 714, 728

აბსოლუტური სიდიდე. — 534

აბსოლუტური გეომეტრია. — 501

აბსტრაქტული ალფაბეტი. — 657

აბსცისა — წერტილის დეკარტეს ერთ-ერთი კოორდინატი. — 533

ადამსი, ჯონ კაუჩი (1819 — 1892)—ინგლისელი ასტრონომი. — 580

ავტომატი — კიბერნეტიკის ცნება. — 657

ათწილადი. — 725

ალბათობა. — 467

ალბათობათა თეორია — მათემატიკის მნიშვნელოვანი დარგი, რომელიც შეისწავლის შემთხვევითი ხასიათის მასიური მოვლენების კანონზომიერებას. — 664, 667, 715

ალგებრა — მათემატიკის ნაწილი, რომელიც განვითარდა განტოლებათა ამოხსნასთან დაკავშირებით. შემდგომი განვითარებისას ალგებრის საგანი საგრძნობლად გაფართოვდა (გვ. 621 — 641, 725). ტერმინ „ალგებრას“ წარმოშობის შესახებ იხ. გვ. 529, 688.

ალგებრის ძირითადი თეორემა. — 530, 531, 630, 708

ალგებრული სიმბოლიკა. — 690 — 691, 694, 726

ალგებრული განტოლება — განტოლება, რომელიც შეიძლება დავიყვანოთ (გარდაქმნის შემდეგ) უცნობთა მიმართ ნულთან გატოლებული მრავალწევრის სახემდე (გვ. 528, 630 — 631, 695, 714). 1-ლი და მე-2 ხარისხის განტოლებების ამოხსნა უძველეს დროშიც იცოდნენ (გვ. 528 — 530) XVI ს. იპოვეს მე-3 და მე-4 ხარისხის განტოლებების ამოხსნა (გვ. 530). XIX ს. დამტკიცდა, რომ მე-4-ზე მაღალი ხარისხის განტოლებების ამოხსნა რადიკალებში, საზოგადოდ, არ შეიძლება. — 630

ალგოლი — სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების პროგრამირებისათვის განკუთვნილი უნივერსალური ენის პირობითი სახელწოდება. — 654

ალგორითმი — იმ მათემატიკური ოპერაციების ერთობლიობა, რომლებიც სრულდება გარკვეული თანმიმდევრობით მოცემული ტიპის ამოცანის ამოსახსნელად (გვ. 648, 657). ტერმინ „ალგორითმის“ წარმოშობის შესახებ იხ. გვ. 726.

ალ-ყაში, ჯემშიდ იბნ-მასუდი (დაბადების წელი არ არის ცნობილი, გარდაიც. დაახლ. 1436) — XV ს. მათემატიკოსი და ასტრონომი, რომელიც 1420 — 1430 წწ. სამარყანდის ობსერვატორიაში მუშაობდა. პირველმა შემოიღო ათწილადები და აღწერა მათზე მოქმედებების წესები, მოგვცა ნებისმიერი ხარისხის ფესვის ამოღებისა და მე-3 ხარისხის განტოლების მიახლოებითი ამოხსნის მეთოდები. — 531, 726

ალ-ჰორეზმი, მუჰამედი ბენ მუსა (დაიბადა დაახლ. 780 წ., გარდაიცვალა დაახლ. 850 წ.) — შუააზიელი მათემატიკოსი და ასტრონომი. ავტორი ტრაქტატებისა, რომლებიც XII ს. არაბულიდან ლათინურ ენაზე ითარგმნა და რომელთა მიხედვითაც ევროპელები გაეცნენ თვლის ინდურ პოზიციურ ათობით სისტემას, აგრეთვე ალგებრას როგორც დამოუკიდებელ მეცნიერებას. — 529, 726

ამოწურვის მეთოდი — დამტკიცების მეთოდი, რომელსაც ძველად მათემატიკოსები ფართობთა და მოცულობათა განსაზღვრისას იყენებდნენ. — 725

ამპერი, ანდრე მარი (1775 — 1836) — ფრანგი მეცნიერი. მისი ძირითადი ნაშრომები ეხება ფიზიკის სხვადასხვა საკითხს. — 656

ანალიზური გეომეტრია — მათემატიკის ერთ-ერთი დარგი, რომელშიც გეომეტრიულ ნაკვთთა (წერტილების, წირების, ზედაპირებისა და მათი ერთობლიობების) თვისებები შეისწავლება ალგებრის საშუალებით (კოორდინატთა მეთოდის გამოყენებით). — 463, 532, 694, 696, 725, 727

ანბანური ნუმერაცია — რიცხვთა ჩაწერის ხერხი, რომელშიც ციფრების ნიშნების ნაცვლად გამოყენებულია ანბანის ასოები. — 474 — 477

აპოლონიუს პერგელი — ბერძენი მათემატიკოსი, რომელიც მუშაობდა ალექსანდრიაში დაახლ. ძვ. წ. 200 წ. მისი უმნიშვნელოვანესი თხზულებაა „კონუსური კვეთები“, სადაც განხილულია ელიფსის, ჰიპერბოლისა და პარაბოლის თვისებები. მან დიდი გავლენა მოახდინა ახალი დროის მათემატიკის განვითარებაზე. — 462, 692, 725

არაბული ციფრები — ათი ციფრის 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ტრადიციული სახელწოდება, რომელთა დახმარებითაც თვლის ათობით სისტემაში ნებისმიერი რიცხვის ჩაწერა შეიძლება. ტერმინის წარმოშობის შესახებ იხ. გვ. 489.

არაევკლიდური გეომეტრია — გეომეტრიული სისტემა, რომლის წინაპირობები ასე თუ ისე განსხვავდება ევკლიდეს ჩვეულებრივი გეომეტრიის აქსიომებისაგან. — 502, 522 — 523, 710, 712

არათავსებადი ხდომილობა. — 669

არგანი, ჟან რობერი (1768 — 1822) — ფრანგი მათემა-

---

[1] მეცნიერების გვარებს, მათემატიკურ ცნებებსა და ტერმინებს, რომლებიც სახელთა და საგანთა საძიებელშია შესული, ვრცელი განმარტება მხოლოდ იმ შემთხვევაში ახლავს, თუ ენციკლოპედიის ტექსტში მათ შესახებ დაწვრილებით არ არის მოთხრობილი.

ტიკოსი. ავტორი ნაშრომისა, რომელიც შეიცავს კომპლექსურ რიცხვთა გეომეტრიულ ინტერპრეტაციას. — 727

არგუმენტი — დამოუკიდებელი ცვლადი სიდიდე. — 547

არიაბჰატა (დაიბ. V ს. — გარდაცვალების თარიღი ცნობილი არ არის) — ინდოელი ასტრონომი და მათემატიკოსი. მის ნაშრომებში გვხვდება რიცხვებიდან კვადრატული და კუბური ფესვების ამოღება, უმარტივესი ამოცანები განტოლებათა შედგენასა და ამოხსნაზე, რომელთა შორისაც არის ორუცნობიანი განუსაზღვრელი განტოლება და მისი ამოხსნა მთელ რიცხვებში. — 726

არითმეტიკული მოწყობილობა — ერთ-ერთი მოწყობილობა სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის ხუთი ძირითადი მოწყობილობიდან. — 649

არითმეტიკული პროგრესია — რიცხვთა მიმდევრობა, რომელთაგან ყოველი მომდევნო რიცხვი მიიღება წინა რიცხვზე მუდმივი რიცხვის მიმატებით. — 649

არქიმედე (დაახლ. 287 — 212 ძვ. წ.) ბერძენი მათემატიკოსი და მექანიკოსი. — 462, 475, 530, 685 — 688, 725

არქიმედეს აქსიომა. — 725

არქიმედეს სპირალი. — 544

ასახვა. — 585

ასოციაციურობა, ასოციაციურობის კანონი — შეკრებისა და გამრავლების თვისება, რომელიც გამოისახება ფორმულით: $(a+b)+c=a+(b+c)$; $a(bc)=(ab)c$. — 593, 595, 599, 613, 623

აფინური გარდაქმნა — გეომეტრიული გარდაქმნა, როცა წრფე გადადის წრფეში. — 635

აქსიომა — დებულება, რომელიც მიიღება დამტკიცების გარეშე მოცემული მათემატიკური დისციპლინის ფარგლებში. — 499, 500, 516

აქსიომა პარალელურობის შესახებ. — 518, 519

აქსიომატიკა — მოცემული მათემატიკური დისციპლინის აქსიომათა სისტემა. გეომეტრიის აქსიომატიკის შესახებ იხ. გვ. 516, 728; ალგებრის აქსიომატიკის შესახებ იხ. გვ. 624.

აქსიომატური მეთოდი. — 503, 728

ახმესის პაპირუსი — ერთ-ერთი იმ ორი ძველეგვიპტური მათემატიკური პაპირუსიდან, რომლებმაც ჩვენამდე მოაღწია. შედგენილია ეგვიპტელი მწერლის ახმესის მიერ დაახლ. 2000 წ. ძვ. წ. წარმოადგენს გამოყენებითი ხასიათის 84 ამოცანის კრებულს. — 526

ბ

ბაბილონელთა სამოცობითებური ნუმერაცია. — 477, 478

ბაროუ, ისააკი (1630 — 1677) — ინგლისელი მათემატიკოსი, რომელიც გეომეტრიული ფორმით ფლობდა დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის ძირითად იდეებს. ი. ნიუტონის მასწავლებელი. — 576, 698

ბარტელსი, მარტინი — XVIII ს. დასასრულისა და XIX ს. დასაწყისის გერმანელი მათემატიკოსი. მუშაობდა ყაზანის უნივერსიტეტში, სადაც ნ. ლობაჩევსკის ასწავლიდა მათემატიკას. — 707, 709

ბერნული — გვარი შვეიცარიელ მეცნიერთა ოჯახისა, რომელმაც ქვეყანას მისცა თერთმეტი გამოჩენილი მათემატიკოსი. ყველაზე უფრო ცნობილია ძმები: იაკობ ბერნული (1654 — 1705) (გვ. 668, 670), და იოჰან ბერნული (1667 — 1748) (გვ. 704), რომლებიც თანამშრომლობდნენ გ. ლაიბნიცთან დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის საფუძვლების დამუშავებაში; იოჰან ბერნულის შვილები — ნიკოლოზი (1695 — 1726) (გვ. 704) და დანიელი (1700 — 1782) (გვ. 704) პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიაში მუშაობდნენ.

ბინომი — ორწევრი. ნიუტონის ბინომი — ფორმულა, რომელიც ორი შესაკრების ჯამის მთელ დადებით ხარისხს ამ შესაკრებების ხარისხებით გამოსახავს. — 690

ბიონიკა — კიბერნეტიკის დარგი. — 663

ბიურგი, იობსტი (1552 — 1632) — შვეიცარიელი მეცნიერი. ჯ. ნეპერისაგან დამოუკიდებლად შეადგინა (1620 წ.) ლოგარითმული ცხრილები. — 727

ბოიაი, იანოში (1802 — 1860) — უნგრელი მათემატიკოსი. ნ. ლობაჩევსკისაგან დამოუკიდებლად და მასზე ცოტა მოგვიანებით (1832 წ.) მოგვცა არაევკლიდური გეომეტრიის ძირითადი დებულებები. — 501, 728

ბოლცანო, ბერნარდი (1781 — 1848) — ჩეხი მათემატიკოსი. მისი ხელნაწერი მეცნიერული მემკვიდრეობის ძირითადი ნაწილი მხოლოდ XX ს. გამოიკვლიეს. უმთავრესმა მათემატიკურმა ნაშრომმა „მოძღვრებამ ფუნქციათა შესახებ“, რომელიც 1830 წ. დაიწერა, 100 წლის შემდეგ იხილა დღის სინათლე. ბოლცანომ შემოიღო მათემატიკური ანალიზის მთელი რიგი ცნებები და თეორემები, რომლებსაც, ჩვეულებრივ, სხვა მეცნიერთა სახელებს უკავშირებდნენ. — 584

ბომბელი, რაფაელი — XVI ს. მეორე ნახევრის იტალიელი მათემატიკოსი და ინჟინერი. მის თხზულებაში „ალგებრა“ (1572 წ.) პირველადაა მოცემული უმარტივესი მოქმედებები წარმოსახვით რიცხვებზე. — 530, 726

ბრაჰმაგუპტა (598 — 660?) — ინდოელი მათემატიკოსი და ასტრონომი. — 726

ბრძანება. — 650

ბული, ჯორჯი (1815 — 1864) — ინგლისელი მათემატიკოსი და ლოგიკოსი. მათემატიკური ლოგიკის ფუძემდებელი. — 599, 605

ბულის ალგებრა — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 599

ბჰასკარა (ბჰასკარა-აკარია) (დაიბადა 1114 წ. გარდაცვალების წელი ცნობილი არ არის) — ინდოელი მათემატიკოსი და ასტრონომი. მოგვცა ალგებრული და რიცხვთა თეორიის ამოცანების ამოხსნის მეთოდები, კერძოდ, მე-2 ხარისხის გაუსაზღვრელი განტოლების მთელ რიცხვებში ამოხსნის მეთოდი. — 529, 726

გ

გაბნევის მეთოდი — განუსაზღვრელ განტოლებათა ამოხსნის მეთოდი. — 483

გადაადგილების კანონი — იხ. კომუტატიურობა.

გალილეი, გალილეო (1564 — 1642) — იტალიელი მეცნიერი. — 725

გალუა, ევარისტი (1811 — 1832) — ფრანგი მათემატიკოსი. — 531, 639, 712 — 714

გალუას თეორია. — 639

გამოთქმა — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 602

გამომყვანი მოწყობილობა — ერთ-ერთი მოწყობილობა სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის ხუთი ძირითადი მოწყობილობიდან. — 649

განმანაწილებელი კანონი — იხ. დისტრიბუტიულობა.

განსაზღვრა. — 514

განტოლება — ანალიზური ჩანაწერი ამოცანის› არგუმენტების იმ. მნიშვნელობათა მოძებნის შესახებ, რომელთათვის ორი მოცემული ფუნქციის მნიშვნელობა ტოლია. განტოლებათა უმნიშვნელოვანესი კლასია ალგებრული განტოლებები, რომელთა გამოკვლევამაც ალგებრა წარმოშვა. — 528

განუსაზღვრელი განტოლება (ანუ დიოფანტეს განტოლება) — განტოლება, რომელშიც ერთზე მეტი უცნობია, ანდა განტოლებათა სისტემა, რომელშიც უცნობთა რიცხვი განტოლებათა რიცხვზე მეტია; ჩვეულებრივ, დაინტერესებული არიან ისეთი ამონახსნით, რომელიც მთელი ან რაციონალური რიცხვებით იქნება გამოსახული. — 483 — 490

გარდაქმნა — თანამედროვე მათემატიკის ერთ-ერთი ძირითადი ცნება. — 508, 633

გაუსი, კარლ ფრიდრიხი (1777 — 1855) — გერმანელი მათემატიკოსი. — 501, 502, 530, 531, 630, 632, 670, 707—709

გაწარმოება (დიფერენცირება)—წარმოებულების მოძებნის ოპერაცია. — 572

გეგმილური გარდაქმნა — გეომეტრიული გარდაქმნა. — 512 — 513, 635

გელფონდი, ალექსანდრე ოსიპის ძე (დაბ. 1906 წ.) — საბჭოთა მათემატიკოსი, საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი (1939 წლიდან). სპეციალისტი რიცხვთა თეორიისა და ფუნქციათა თეორიის დარგში. აღმოაჩინა რიცხვთა ტრანსცენდენტურობის დამტკიცებების ახალი მეთოდები. — 490

გეომეტრია — მათემატიკის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის სხეულთა ფორმების სივრცობრივ თანაფარდობებს (იხ. გვ. 462, 491—496, 503, 513, 516, 636). სახელწოდების წარმოშობის შესახებ იხ. გვ. 496.

გეომეტრიული ალგებრა. — 724

გეომეტრიული გარდაქმნა. — 508, 633

გეომეტრიული პროგრესია — მიმდევრობა რიცხვებისა, რომელთაგან ყოველი მომდევნო რიცხვი მიიღება წინა რიცხვისაგან მისი მუდმივ რიცხვზე გამრავლებით. — 725

გიბსი, ჯოზაი უილარდი (1839—1903) — ამერიკელი ფიზიკოსი. — 559

გროსი — დუჟინი დუჟინებისა, ე. ი. $12^2 = 144$ ერთნაირი საგანი. — 467

დ

დამმახსოვრებელი მოწყობილობა — ერთ-ერთი მოწყობილობა სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის ხუთი ძირითადი მოწყობილობიდან. — 648, 658

დამოუკიდებელი ხდომილობა — ალბათობათა თეორიის ცნება. — 669

დამტკიცება საწინააღმდეგოს დაშვების მეთოდით — თეორემათა დამტკიცების მეთოდი. — 606

დასკვნა — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 606

დაუყვანადი მრავალწევრი. — 629

დედეკინდი, იულიუს ვილჰელმ რიჰარდი (1831—1916) — გერმანელი მათემატიკოსი. მუშაობდა რიცხვთა თეორიისა და ალგებრის დარგში, განავითარა მოძღვრება ნამდვილ რიცხვთა სიმრავლის უწყვეტელობის შესახებ, რასაც დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა მათემატიკური ანალიზის ზუსტი დასაბუთებისათვის. — 728

დედუქციური სისტემა. — 499, 725

დეზარგი, ჟირარი (დაახლ. 1593 — 1662) — ფრანგი მათემატიკოსი. მის გამოკვლევებში პერსპექტიული გამოსახულების სისტემატურმა გამოყენებამ დიდი გავლენა მოახდინა XIX ს. ახალი გეომეტრიული დისციპლინის — გეგმილური გეომეტრიის შექმნაზე. — 725

დეკარტე, რენე (1596 — 1650) — ფრანგი მეცნიერი. — 463, 528, 529, 690, 693 — 695, 696, 725, 727

დეკარტეს კოორდინატები. — 533

დელონე, ბორის ნიკოლოზის ძე (დაიბ. 1890 წ.) — საბჭოთა მათემატიკოსი, საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი (1929 წლიდან). მისი შრომები ეხება ალგებრას, გეომეტრიას, რიცხვთა თეორიასა და კრისტალოგრაფიას. — 489

„დიდი რიცხვი“. — 477

დიდ რიცხვთა კანონი—ალბათობათა თეორიის ერთ-ერთი ძირითადი დებულება. — 670

დიზიუნქცია — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 603, 604

დიოფანტე — ბერძენი მათემატიკოსი, რომელიც მუშაობდა ალექსანდრიაში დაახლოებით III ს. მისმა ტრაქტატმა „არითმეტიკამ“ (რომლის 13 წიგნიდან მხოლოდ ექვსია შემონახული) დიდი როლი ითამაშა ალგებრისა და რიცხვთა თეორიის განვითარებაში. — 483, 529, 725

დიოფანტეს განტოლება — იხილე განუსაზღვრელი განტოლება.

დისტრიბუტიულობა, დისტრიბუტიულობის კანონი—შეკრებისა და გამრავლების თვისება, რომელიც გამოისახება ფორმულით: $(a+b+\ \ldots\ +c)m = am+bm+\ \ldots\ +cm$. — 593, 596, 600, 623

დიფერენციალური აღრიცხვა — მათემატიკური დისციპლინა; ინტეგრალურ აღრიცხვასთან ერთად შეადგენს მათემატიკის მნიშვნელოვან ნაწილს, — მათემატიკურ ანალიზს. — 463, 687, 725

დიფერენციალური განტოლება — განტოლება, რომელიც აკავშირებს საძებნ ფუნქციასა და მის წარმოებულებს. — 578, 699, 702

დოდეკაედრი — წესიერი მრავალწახნაგების ხუთი ტიპიდან ერთ-ერთი; აქვს 22 წახნაგი (ხუთკუთხედური), 30 წიბო, 20 წვერო (თითოეულ წვეროში თავს იყრის 3 წიბო). — 500, 725

დუჟინი — თორმეტი ერთნაირი საგანი. — 467

ე

ეგვიპტური ნუმერაცია. — 473

ევდოქსე კნიდელი — ძვ. წ. IV ს. ძველი ბერძენი მათემატიკოსი და ასტრონომი. დაამუშავა პროპორციების ზოგადი თეორია და გეომეტრიულ თეორემათა დამტკიცების ზოგი მეთოდი. ევდოქსეს თხზულებებს ჩვენამდე არ მოუღწევია. — 725

ევკლიდე — ძველი ბერძენი მათემატიკოსი, რომელიც მუშაობდა ალექსანდრიაში ძვ. წ. III ს. იგი არის ავტორი „საწყისებისა“ — ჩვენამდე მოღწეული პირველი თეორიული ტრაქტატისა მათემატიკაში. — 462, 501 — 503, 516, 518, 529, 709, 725

ევკლიდეს ალგორითმი. — 725

ევკლიდეს „საწყისები“ — ბერძენი მეცნიერის ევკლიდეს მიერ ძვ. წ. III ს. დაწერილი მეცნიერული ნაწარმოები. შეიცავს ანტიკური მათემატიკის — ელემენტარული გეომეტრიის, რიცხვთა თეორიის, ალგებრის, ფარდობათა ზოგადი თეორიისა და ფართობების და მოცულობების განსაზღვრის მეთოდის საფუძვლებს. — 462, 499, 670, 714

ევკლიდური გეომეტრია. — 516 — 522, 524, 525

ეილერი, ლეონარდი (1707 — 1783) — მათემატიკოსი, მექანიკოსი და ფიზიკოსი, რომელიც 30 წელზე მეტი ხნის განმავლობაში მუშაობდა პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიაში.—468, 489, 529, 530, 555, 697, 698, 704 — 707, 725

ეილერის დიაგრამა. — 595

ეილერის თეორემა მრავალწახნაგებზე. — 706

ეილერის ფორმულა. — 706

ეკვატორი. — 545

ეკვატორული სიბრტყე. — 545

ეკვივალენტური გამოთქმა. — 603

ეკონომიური კიბერნეტიკა. — 660

ელიფსი — ბრტყელი, ოვალური მრუდი; წარმოადგენს იმ წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს, რომელთა მანძილების ჯამი მოცემულ ორ წერტილამდე მუდმივი სიდიდეა. — 492, 495, 511, 541, 725

ელიფსოგრაფი. — 541

ელიფსური გეომეტრია. — 502

ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა. — 648

ერთეული. — 596, 633

ერლანგენის პროგრამა. — 636, 639

ექსტრემუმი — ფუნქციის მაქსიმუმის და მინიმუმის ცნებების გასაერთიანებლად ხმარებული ტერმინი. — 687

ვ

ვალისი, ჯონი (1616 — 1703) — ინგლისელი მათემატიკოსი. მისმა ძირითადმა შრომამ „უსასრულოს არითმეტიკამ“ (1655 წ.) მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ინტეგრალური აღრიცხვის შექმნაში. ვალისის მიერაა შემოღებული ამჟამად ხმარებული უსასრულობის ნიშანი ∞. — 727

ვარინგი, ედუარდი (1736 — 1798) — შოტლანდიელი მათემატიკოსი. მისი ძირითადი შრომები ეხება ალგებრასა და რიცხვთა თეორიას. განსაკუთრებით ცნობილია ვარინგის ამოცანები. — 489

ვაიერშტრასი, კარლ თეოდორ ვილჰელმი (1815 — 1897) — გერმანელი მათემატიკოსი. მისი შრომები მიძღვნილია მათემატიკის მრავალი დარგისადმი. დიდი მნიშვნელობა აქვს მის მიერ დამუშავებული მათემატიკური ანალიზის ლოგიკური დასაბუთების სისტემას, რომელიც ნამდვილ რიცხვთა მის მიერვე აგებულ თეორიაზეა დაფუძნებული. — 717, 728

ვეკუა, ილია ნესტორის ძე (დაიბ. 1907) — ცნობილი საბჭოთა მათემატიკოსი, აკადემიკოსი. — 719

ველი — თანამედროვე ალგებრის ცნება. — 625, 631, 714

ვენის დიაგრამა. — 595

ვესელი, კასპერი (1745 — 1818) — დანიელი მათემატიკოსი. ავტორი ნაშრომისა, რომელიც მიძღვნილია ვექტორული აღრიცხვისადმი და შეიცავს კომპლექსურ რიცხვთა თეორიის პირველ სრულ გეომეტრიულ აგებას. — 727

ვექტორთა ალგებრა. — 614

ვექტორი — მიმართული მონაკვეთი, რომლის დახმარებითაც გამოისახება ვექტორული სიდიდეები — ძალა, სიჩქარე, აჩქარება და სხვა. სახელწოდება „ვექტორი“ წარმოდგება ლათინური Vector-ისაგან, რაც ნიშნავს წამღებს, წამყვანს. — 607

ვიეტი, ფრანსუა (1540 — 1630) — ფრანგი მათემატიკოსი. — 529, 530, 690 — 692, 727

ვიეტის თეორემა — თეორემა, რომელიც განსაზღვრავს დამოკიდებულებას ალგებრული განტოლების ფესვებსა და კოეფიციენტებს შორის. — 692

ვინერი, ნორბერტი (1894 — 1964) — ამერიკელი მეცნიერი. ახალი მეცნიერების — კიბერნეტიკის ფუძემდებელი. მისი ადრინდელი შრომები ეხება თანამედროვე მათემატიკის მნიშვნელოვან საკითხებს. — 656

ვინოგრადოვი, ივანე მათეს ძე (დაიბ. 1891 წ.) — საბჭოთა მათემატიკოსი, აკადემიკოსი (1929 წლიდან). სოციალისტური შრომის გმირი (1945 წ. მიიღო ეს წოდება). მისი მეცნიერული მოღვაწეობა ეხება რიცხვთა თეორიას. რიცხვთა თეორიაში მან ახალი მეთოდები დანერგა, რამაც გადამწყვეტი გავლენა მოახდინა მის განვითარებაზე და თვით ვინოგრადოვსაც საშუალება მისცა ურთულესი პრობლემები გადაეწყვიტა. — 490

ვორონი — 10^{48} რიცხვის სახელი სლავურ ნუმერაციაში. — 477

ვორონოი, გიორგი ფეოდოსის ძე (1868 — 1908) — რუსი მათემატიკოსი, პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი (1907 წლიდან). მისი გამოკვლევები ეხება რიცხვთა თეორიის მრავალ საკითხს. — 716

ზ

ზოლოტარიოვი, ეგორ ივანეს ძე (1847 — 1878) — რუსი მათემატიკოსი. მუშაობდა რიცხვთა თეორიისა და მათემატიკური ანალიზის დარგში. — 716

თ

თამაშთა თეორია — მათემატიკური დისციპლინა. — 678—684

თამაში — თამაშთა თეორიის ცნება. — 678

თამაშის ამოხსნა — თამაშთა თეორიის ცნება. — 679, 683

თამაშის მატრიცა — თამაშთა თეორიის ცნება. — 680

თამაშის ღირებულება — თამაშთა თეორიის ცნება. — 679

თეორემა — დებულება (მტკიცება), რომელიც დამტკიცების გზით უნდა დადგინდეს. — 516, 624

თვითდაოსტატების სისტემა. — 661

თვლადი სიმრავლე — სიმრავლის თეორიის ცნება. — 587

თვლის ათობითი სისტემა—თვლის ყველაზე მეტად გავრცელებული სისტემა, რომლის ფუძედ მიღებულია რიცხვი „ათი“, ასე რომ, ყველა რიცხვი ათი ციფრის — 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9—დახმარებით იწერება. — 466, 478, 479, 726

თვლის ორობითი სისტემა — თვლის სისტემა, რომლის ფუძეა რიცხვი ორი; აქ ყველა რიცხვი მხოლოდ ორი ციფრის 0 და 1 დახმარებით იწერება. — 466, 467, 644, 645

თვლის პოზიციური სისტემა — რიცხვების ჩაწერის სისტემა, რომელშიც ციფრის მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა ადგილი უჭირავს მას ჩაწერილ რიცხვში.—477

თვლის სამობითი სისტემა — თვლის სისტემა, რომელშიც ფუძედ მიღებულია რიცხვი „სამი“, ასე რომ, ყველა რიცხვი მხოლოდ სამი ციფრის 0, 1 და 2 დახმარებით იწერება.—467

ი

იკოსაედრი — წესიერი მრავალწახნაგების ხუთი ტიპიდან ერთ-ერთი; აქვს 20 წახნაგი (სამკუთხოვანი), 30 წიბო, 12 წვერო (თვითეულ წვეროში თავს იყრის 5 წიბო). — 500, 725

იმედიანობის თეორია — მათემატიკური დისციპლინა. — 673 — 677

ინტეგრალი — მათემატიკური ანალიზის ერთ-ერთი ძირითადი ცნება. ინტეგრალის ნიშანი $\int$ სახეშეცვლილი ლათინური S (სიტყვიდან Summa) შემოიღო გ. ლაიბნიცმა (1675 წ.). — 562, 563, 565

ინტეგრალური აღრიცხვა — მათემატიკური დისციპლინა; დიფერენციალურ აღრიცხვასთან ერთად შეადგენს მათემატიკის მნიშვნელოვან ნაწილს — მათემატიკურ ანალიზს. — 463, 687, 699, 702, 725

ინფორმაცია — კიბერნეტიკის ცნება. — 656

იონიური ნუმერაცია — ძველ საბერძნეთში ხმარებული ანბანური ნუმერაცია. — 475

ირაციონალური რიცხვები — არარაციონალური რიცხვები, რომლებიც ზუსტად ვერ გამოისახებიან $\frac{m}{n}$ წილადით, სადაც m და n მთელი რიცხვებია. — 694

კ

კავალიერი, ბონავენტურა (1598 — 1647) — იტალიელი მათემატიკოსი. ნაშრომში „გეომეტრია“ (1635 წ. დაწერა) განავითარა ფართობებისა და მოცულობების განსაზღვრის ახალი მეთოდი (ე. წ. დაუყოფადობის მეთოდი), რამაც დიდი გავლენა მოახდინა ინტეგრალური აღრიცხვის ჩამოყალიბებაზე. შემოიღო (1632 წ.) ამჟამად ხმარებული ლოგარითმის ნიშანი (log). — 727

კანტორი, გეორგი (1845 — 1918) — გერმანელი მათემატიკოსი. მან საფუძველი ჩაუყარა სიმრავლეთა თეორიას, რომელმაც დიდი გავლენა მოახდინა თანამედროვე მათემატიკის განვითარებაზე. — 589, 592, 728

კანტოროვიჩი, ლეონიდ ვიტალის ძე (დაიბ. 1912 წ.) — საბჭოთა მათემატიკოსი; აკადემიკოსი (1964 წლიდან). მისი შრომები ეხება მათემატიკისა და მათემატიკური ეკონომიკის მრავალ საკითხს. — 660

კარდანო, ჯერონიმო (1501 — 1576) — იტალიელი მათემატიკოსი, რომლის შრომებმა დიდი როლი შეასრულა ალგებრის განვითარებაში. მან ევროპაში ერთ-ერთმა პირველმა დაიწყო განტოლების უარყოფითი ფესვების დაშვება; მასთან პირველად ვხვდებით წარმოსახვით სიდიდეებს. მის სახელს ატარებს კუბური განტოლების ამოსახსნელი ფორმულა. — 530, 726

კელვინი (ტომსონი, უილიამი) (1824 — 1907) — ინგლისელი ფიზიკოსი. — 559

კეპლერი, იოჰანი (1571 — 1630) — გერმანელი მეცნიერი. მისი ძირითადი შრომები ეხება ასტრონომიას. მათემატიკურ თხზულებაში „ღვინის კასრების ახალი სტერეომეტრია“ მოგვცა გეომეტრიულ ამოცანათა ამოხსნის მეთოდი, რომელიც ინტეგრალური აღრიცხვის საწყისებს შეიცავს. — 559, 576, 614, 725

კვადრანტი — ბრტყელი სექტორი, რომლის ცენტრალური კუთხეა 90°, შეადგენს წრის $^1/_4$ ნაწილს. სიბრტყის კვადრანტი არის ოთხიდან ერთ-ერთი ნებისმიერი არე (კუთხე), რომლებზედაც სიბრტყე იყოფა ორი ურთიერთმართობული წრფით. — 533

კვადრატრისა — ბრტყელი მრუდი, რომლის დახმარებითაც ბერძენმა მეცნიერმა დინოსტრატემ (IV ს. ძვ. წ.) შეასრულა წრის კვადრატურა. — 725

კვადრატული განტოლება — მე-2 ხარისხის ალგებრული განტოლება. — 529, 724

კვადრატული ირაციონალობა. — 631

კვატერნიონები — კომპლექსურ რიცხვებზე უფრო ზოგად რიცხვთა სისტემა. — 622, 728

კიბერნეტიკა — მეცნიერული მიმართულება, რომელსაც XX ს. 40-იან წლებში საფუძველი ჩაუყარა ამერიკელმა მეცნიერმა ნ. ვინერმა თავის შრომებში. — 655 — 663

კლაინი, ფელიქსი (1849 — 1925) — გერმანელი მათემატიკოსი. მისი მრავალრიცხოვანი შრომები ეხება გეომეტრიას, ალგებრასა და ფუნქციათა თეორიას. — 513, 636, 639

კოდი — სისტემა „ბრძანებებისა“, რომლებსაც სწრაფად მოქმედ ელექტრონულ გამოთვლით მანქანებში იყენებენ.—650

კოდირება. — 656

კოვალევსკაია, სოფიო ვასილის ასული (1850 — 1891) — რუსი მათემატიკოსი. — 716 — 718

კოლინეარული ვექტორები. — 609

კოლმოგოროვი, ანდრეი ნიკოლოზის ძე (დაიბ. 1903 წ.) — საბჭოთა მათემატიკოსი, აკადემიკოსი (1939 წლიდან), სოციალისტური შრომის გმირი (ეს წოდება მიიღო 1963 წ.) მისი სამეცნიერო შრომები ეხება თანამედროვე მათემატიკის მრავალ დარგს და კიბერნეტიკის თეორიულ საკითხებს. — 672

კოლოდა — სლავურ ნუმერაციაში რიცხვი 10^{49} სახელი. — 477

კომპლექსური რიცხვები — $a + bi$ სახის რიცხვები, სადაც a და b ნამდვილი რიცხვებია, i კი ე. წ. წარმოსახვითი ერთეულია, რომლის კვადრატიც უდრის —1. — 728

კომუტატიურობა, კომუტატიურობის კანონი — ჯამის (ან ნამრავლის) უცვლელობა შესაკრებთა (ან თანამამრავლთა) გადაადგილებისას: $a + b = b + a$; $ab = ba$. — 593, 595, 599, 611, 622, 623

კონიუნქცია — მათემატიკური ლოგიკის ცნება.—603, 604

კონტინუუმ-ჰიპოთეზა. — 577

კონუსი. — 492

კონუსური კვეთები—ელიფსი, ჰიპერბოლა, პარაბოლა — მრგვალი (ორღრუიანი) კონუსის გადაკვეთის წირები ისეთი სიბრტყეებით, რომლებიც მის წვეროზე არ გადის. — 513

კოორდინატები სფეროზე. — 544

კოორდინატთა სათავე. — 533

კოორდინატთა ღერძი. — 533

კოორდინატული წირები. — 543

კორნიუს სპირალი — სპირალისებური წირი, რომელიც შედგება რაიმე წერტილის მიმართ სიმეტრიული ორი შტოსაგან. — 495

კოსინუსი — ერთ-ერთი ტრიგონომეტრიული ფუნქცია. სახელწოდება კოსინუსი წარმოადგენს შემოკლებულ ლათინურ ტერმინს complementi sinus (დამატების სინუსი). ნიშანი cos შემოიღო ლ. ეილერმა (1748 წ.). — 576, 706

კოში, ოგიუსტენ ლუი (1789 — 1857) — ფრანგი მათემატიკოსი, ავტორი მათემატიკური ანალიზის კლასიკური კურსისა, რომელმაც დიდი გავლენა მოახდინა მათემატიკური ანალიზის განვითარებასა და მკაცრ დასაბუთებაზე. — 727

კუბი — წესიერი მრავალწახნაგების ხუთი ტიპიდან ერთ-ერთი; აქვს 6 წახნაგი (კვადრატული), 12 წიბო, 8 წვერო (თვითეულ მათგანში თავს იყრის 3 წიბო). — 500, 725

კუბის გაორკეცება — უძველესი დროის ცნობილი ამოცანა: ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით აიგოს კუბი, რომლის მოცულობა ორჯერ მეტი იქნება მოცემული კუბის მოცულობაზე. ამოცანა დაიყვანება რიცხობრივად $\sqrt[3]{2}$ ტოლი მონაკვეთის აგებამდე, რაც შეუძლებელია მხოლოდ ზემოხსენებული საშუალებების დახმარებით. — 530, 542, 632, 689, 725

კუბური განტოლება — მე-3 ხარისხის ალგებრული განტოლება. — 530, 689, 690

კუბური პარაბოლა — მე-3 ხარისხის ალგებრული განტოლება. — 495

კუთხის ტრისექცია — უძველესი დროის ცნობილი ამოცანა: ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით კუთხე გაიყოს სამ ტოლ ნაწილად. ამოცანა დაიყვანება კუბური განტოლების ფესვის აგებამდე, რაც ზოგად შემთხვევაში შეუძლებელია მხოლოდ ზემოხსენებული საშუალებების დახმარებით.— 530, 542, 725

კუთხური კოეფიციენტი. — 538

კუპრაძე, ვიქტორ დიმიტრის ძე (დაიბ. 1903 წ.) ცნობილი საბჭოთა მათემატიკოსი, საქ. სსრ მეცნიერებათა აკადემიის წევრი. — 719

ლ

ლაგრანჟი, ჟოზეფ ლუი (1736 — 1813) — ფრანგი მათემატიკოსი და ფიზიკოსი. მისი მათემატიკური შრომები ეხება მათემატიკური ანალიზის სხვადასხვა საკითხს და ამ საკითხების დაფუძნებას. — 488, 489, 498, 727

ლაიბნიცი, გოტფრიდ ვილჰელმი (1646 — 1716) — გერმანელი მეცნიერი. — 463, 530, 576, 701 — 704, 727

ლაპლასი, პიერ სიმონი (1749 — 1827) — ფრანგი მეცნიერი. მისი მათემატიკური შრომები ეხება ალბათობათა თეორიისა და მათემატიკური ანალიზის დამუშავებას. — 670

ლეგიონი — რიცხვი 10^5 („მცირე რიცხვითი“ თვლისას) ანდა რიცხვი 10^{12} („დიდი რიცხვითი“ თვლისას) დასახელება სლავურ ნუმერაციაში. — 477

ლევერიე, ურბენ ჟან ჟოზეფი (1811 — 1877) — ფრანგი ასტრონომი. — 580

ლემნისკატა — რვიანის მოყვანილობის ბრტყელი მრუდი. — 495, 543

ლეოდრი — რიცხვი 10^6 („მცირე რიცხვითი“ თვლისას) ან რიცხვი 10^{24} („დიდი რიცხვითი“ თვლისას) დასახელება სლავურ ნუმერაციაში. — 477

ლეონარდო პიზელი (ფიბონაჩი) (დაიბ. დაახლ. 1170 წ., გარდაიცვალა 1228 წლის შემდეგ) — იტალიელი მათემატიკოსი. მისი შრომები ხელს უწყობდა შუა აზიისა და ახლო აღმოსავლეთის მათემატიკოსთა მიღწევების ევროპაში შემოტანას. — 468, 480, 529, 530, 726

ლეჟანდრი, ანდრიენ მარი (1752 — 1833) — ფრანგი მათემატიკოსი. მუშაობდა რიცხვთა თეორიის, მათემატიკური ანალიზისა და გეომეტრიის საკითხებზე. — 670, 715

ლიაპუნოვი, ალექსანდრე მიხეილის ძე (1857 — 1918) — რუსი მათემატიკოსი, აკადემიკოსი (1901 წლიდან). მისი ძირითადი შრომები ეხება დიფერენციალური განტოლებების თეორიას, ალბათობათა თეორიასა და ჰიდროდინამიკას. — 670, 716

ლი, სოფუსი (1842 — 1899) — ნორვეგიელი მათემატიკოსი. მისმა შრომებმა ჯგუფთა თეორიის დარგში დიდი გავლენა მოახდინა თანამედროვე მათემატიკის მრავალი საკითხის განვითარებაზე. — 626

ლის ალგებრა. — 626

ლობაჩევსკი, ნიკოლოზ ივანეს ძე (1792 — 1856)—რუსი მათემატიკოსი. — 463, 501, 502, 518, 522, 523, 525, 531, 636, 709 — 712, 728

ლობაჩევსკის გეომეტრია — ევკლიდეს გეომეტრიისაგან განსხვავებული პირველი გეომეტრიული სისტემა. — 502, 522, 523, 525, 636

ლოგარითმი y რიცხვისა a ფუძით ისეთი x რიცხვია, რომ $a^x=y$ ანუ $x=\log_a y$. ნიშანი log შემოიღო (1632 წ.) ბ. კავალიერიმ. ტერმინი „ლოგარითმი“ წარმოიქმნა ბერძნული სიტყვების: logos (აქ შეფარდება) და arithmós (რიცხვი) შეერთებით. ლოგარითმი ჯ. ნეპერთან — მის შემქმნელთან — არის დამხმარე რიცხვი ორი რიცხვის შეფარდების ჯერადობის (ხარისხის) განსასაზღვრავად. — 550, 727

ლოგარითმული ფუნქცია — $y=\log_a x$ სახის ფუნქცია, სადაც a დადებითი რიცხვია. — 700, 706

ლურსმული მათემატიკური ტექსტები — უძველესი ბაბილონისა და ასურეთის მათემატიკური ტექსტები. მოიცავს პერიოდს ძვ. წ. მე-2 ათასწლეულიდან ახ. წ. დაწყებამდე. ლურსმულად თიხის ფირფიტებზე წერდნენ. ამ ტექსტებში პირველადაა მოცემული თვლის პოზიციური სისტემა და კვადრატული განტოლებები. — 462, 477, 478

გ

მაგნიცკი, ლეონტი ფილიპეს ძე (1669 — 1739) — რუსი მათემატიკოსი. მის მიერ 1703 წ. გამოშვებული „არითმეტიკა“ XVIII საუკუნემდე ითვლებოდა ძირითად არითმეტიკულ სახელმძღვანელოდ რუსეთში. — 528

მათემატიკური ანალიზი — მათემატიკის ნაწილი, რომელიც მოიცავს დიფერენციალურსა და ინტეგრალურ აღრიცხვას. — 702, 724

მათემატიკური ლოგიკა. — 602

მათემატიკური მოლოდინი. — 671

მათემატიკური პაპირუსები — უძველესი ეგვიპტური მათემატიკური ძეგლები, რომლებიც ძვ. წ. მე-2 ათასწლეულს მიეკუთვნება. — 462, 473, 526

მათემატიკური სტატისტიკა. — 670

მანძილი. — 533, 539

მარკოვი, ანდრეი ანდრეის ძე (1856 — 1922) — რუსი მათემატიკოსი, აკადემიკოსი (1896 წლიდან). მისი მეცნიერული შრომები ეხება რიცხვთა თეორიას, ალბათობათა თეორიასა და მათემატიკურ ანალიზს. — 670, 716

მარტივი რიცხვები — ერთზე მეტი მთელი დადებითი რიცხვები, რომლებიც იყოფა მხოლოდ ერთზე და თავის თავზე. — 627, 714

მაქსიმუმი და მინიმუმი. — 696

მაქსიმინი — თამაშთა თეორიის ცნება. — 681

მაჩვენებლიანი ფუნქცია — $y=a^x$ სახის ფუნქცია, სადაც $a\neq 1$ რაიმე დადებითი რიცხვია. — 550, 551, 577, 700, 706

მენელაოსი — ბერძენი მეცნიერი, რომელიც მუშაობდა ალექსანდრიაში I ს. ცნობილია მისი შრომები სფერული ტრიგონომეტრიის დარგში. — 725

მეორე რიგის წირი. — 540

მერიდიანი — კოორდინატული წირები სფეროს ზედაპირზე. — 545

მესამე გამორიცხულის კანონი — მათემატიკური ლოგიკის ერთ-ერთი კანონი. — 605

„მეხსიერება“ — ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის დამმახსოვრებელი მოწყობილობა. — 648, 658

მინიმაქსი — თამაშთა თეორიის ცნება. — 682

მირიადა — რიცხვ 10^4 სახელწოდება ძველი ბერძნული ათობითი ნუმერაციით. — 475

მისამართი — სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს ინფორმაციის ადგილმდებარეობას ელექტრონულ გამოთვლით მანქანაში. — 650

მმართველი მოწყობილობა — ერთ-ერთი მოწყობილობა სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის ხუთი ძირითადი მოწყობილობიდან. — 649

მმართველი სისტემა. — 655

მობრუნება (ბრუნვა) — გეომეტრიული გარდაქმნა; წარმოადგენს მოძრაობის კერძო შემთხვევას, როდესაც ერთი O წერტილი უძრავად რჩება, ყოველი დანარჩენი A წერტილი კი გადადის ისეთ A' წერტილში, რომ AOA' კუთხე მუდმივია ყველა A წერტილისათვის. — 505

მოდელირება. — 581

მოვლენა. — 664, 667

მორგანი, ავგუსტი დე (1806 — 1871) — ინგლისელი მათემატიკოსი. მისი ძირითადი ნაშრომები ეხება მათემატიკურ ლოგიკას. — 606

მორგანის წესი — მათემატიკური ლოგიკის ერთ-ერთი კანონი. — 606

მოსკოვის პაპირუსი — ერთ-ერთი ჩვენამდე მოღწეული ორი უძველესი ეგვიპტური პაპირუსიდან (დაახლ. 2000 წ. ძვ. წ.). შეიცავს გამოყენებითი ხასიათის 25 ამოცანას, ინახება ა. პუშკინის სახელობის მოსკოვის სახვითი ხელოვნების სახელმწიფო მუზეუმში. — 526

მოძრაობა — გეომეტრიული გარდაქმნა, რომელიც ცვლის ნაკვთის მდებარეობას, მაგრამ მას უნარჩუნებს ფორმასა და ზომებს. — 504, 513, 634, 636

მრავალწევრი (პოლინომი) — ალგებრული გამოსახულება, რომელიც შედგენილია მუდმივი სიდიდეების და $x, y, \ldots, t$ ცვლადებისაგან შეკრების, გამოკლებისა და გამრავლების ოპერაციების საშუალებით. მრავალწევრი არის $Ax^k y^l \ldots t^m$ სახის რამდენიმე შესაკრების ჯამი, სადაც A მუდმივია, ხოლო $a, k, l \ldots, m$ მთელი დადებითი რიცხვები. — 565, 572, 629

მრავლის თამაში — თამაშთა თეორიის ცნება. — 678

მრუდწირული კოორდინატები. — 546

მრუდწირული ტრაპეცია. — 562

მსგავსება — გეომეტრიული გარდაქმნა, რომელიც უნარჩუნებს ნაკვთს ფორმას, მაგრამ შესაძლოა შეცვალოს მისი ზომები. — 507, 513, 635

მუსხელიშვილი, ნიკო ივანეს ძე — (დაიბ. 1891) — გამოჩენილი საბჭოთა მათემატიკოსი, აკადემიკოსი, საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტი. — 722

„მცირე რიცხვი“. — 477

მხები. — 570, 687, 696

ნ

ნაკვთების ტოლობა. — 504, 633

ნაკვთის ფართობი. — 562, 563, 566, 687, 696, 725

ნამრავლი. — 592, 595, 599, 604, 619, 633

ნასირედინ ტუსი, მუჰამედი (1201 — 1274) — აზერბაიჯანელი მეცნიერი. მისი მათემატიკური ნაშრომები ეხება გეომეტრიასა და სფერულ ტრიგონომეტრიას. — 690, 726

ნატურალური ლოგარითმები. — 550

ნეპერი, ჯონი (1550 — 1617) — შოტლანდიელი მათემატიკოსი, ლოგარითმების გამომგონებელი. მისი „ლოგარითმების საოცარი ცხრილის აღწერილობა“ (1614 წ.) წარმოადგენს ლოგარითმებისა და მათი თვისებებისადმი მიძღვნილ თხზულებას და შეიცავს პირველ ლოგარითმულ ცხრილებს.— 727

ნიკოლაძე, გიორგი ნიკოლოზის ძე (1888 — 1931) — საბჭოთა მათემატიკოსი. — 720

ნიუტონი, ისააკი (1643—1727)—ინგლისელი მეცნიერი— 463, 529 — 531, 576, 698 — 701, 702, 704, 725

ნიუტონის ბინომი. — 690

ნიუტონ-ლაიბნიცის ფორმულა — ინტეგრალური აღრიცხვის ძირითადი ფორმულა. — 576

ნულ-ვექტორი. — 610

ნული. — 479

პ

.ორი ყალბი დაშვების მეთოდი — განტოლებათა ამოხსნის მეთოდი. — 529

ორმაგი უარყოფის კანონი — მათემატიკური ლოგიკის ერთ-ერთი კანონი. — 605

ოპტიმალური ამოხსნები — თამაშთა თეორიის ცნება. — 659

ორდინატა — წერტილის დეკარტეს ერთ-ერთი კოორდინატი. — 533

ოქტაედრი — წესიერი მრავალწახნაგების ხუთი ტიპიდან ერთ-ერთი; აქვს 8 წახნაგი (სამკუთხედური), 12 წიბო, 6 წვერო (თითოეულ წვეროში თავს იყრის 4 წიბო). — 500, 725

ჰ

პარაბოლა — ბრტყელი მრუდი; წარმოადგენს მოცემული წრფიდან და მოცემული წერტილიდან ერთნაირად დაშორებულ წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს. — 513, 536, 540, 725

პარალელოგრამის წესი. — 609

პარალელური გადატანა—გეომეტრიული გარდაქმნა. წარმოადგენს მოძრაობის კერძო შემთხვევას, რომლის დროსაც შესაბამისი წერტილების შემაერთებელ ყველა მონაკვეთს ერთი და იგივე მიმართულება და სიგრძე აქვს. — 504, 634

პარალელური დაგეგმილება. — 508

პარამეტრი — სიდიდე, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობები საშუალებას იძლევა გამოიყოს გარკვეული ელემენტი (მაგალითად, მრუდი) იმავე სახის ელემენტთა (მრუდების) სიმრავლიდან. — 541

პარამეტრული განტოლებანი. — 541, 545

პასკალი, ბლეზი (1623 — 1662) — ფრანგი მეცნიერი; მისი მათემატიკური შრომები ეხება გეომეტრიას, რიცხვთა თეორიას, ალბათობათა თეორიას. პირველად განსაზღვრა და თეორემების დასამტკიცებლად გამოიყენა სრული მათემატიკური ინდუქციის მეთოდი. — 668, 725

პაჩოლი, ლუკა (დაიბ. დაახლ. 1445 წ. გარდაიც. 1509 წელზე გვიან) — იტალიელი მათემატიკოსი. 1494 წ. გამოცემული მისი ნაშრომი ეხება მათემატიკურ მოქმედებებს, ალგებრულ განტოლებებს და მათ გამოყენებას გეომეტრიაში. — 529

პერფობარათი. — 644, 645, 658

პერფოლენტი. — 658

„პი“, π — ბერძნული ალფაბეტის ასო, რომელიც მათემატიკაში აღნიშნავს წრეწირის სიგრძისა და მისი დიამეტრის სიგრძის ფარდობას. π რიცხვი ტრანსცენდენტურია, იგი გამოისახება უსასრულო არაპერიოდული ათწილადით. აღნიშნა შემოიღო (1736 წ.) ლ. ეილერმა. — 687, 692, 726

პითაგორე (დაიბ. დაახლ. 850 წ. ძვ. წ., გარდაიც. 500 წ. ძვ. წ.) — ბერძენი მეცნიერი. მის სახელთანაა დაკავშირებული გეომეტრიაში დამტკიცებათა სისტემატური შემოღება, მსგავსების თეორიის შექმნა და მისივე სახელის მატარებელი თეორემის დამტკიცება. — 498

პითაგორეს თეორემა — გეომეტრიული თეორემა, რომელსაც პითაგორეს მიაწერენ: მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოთენუზაზე აგებული კვადრატი უდრის მის კათეტებზე აგებულ კვადრატთა ჯამს. — 498, 724

პითაგორეს სამკუთხედი — მართკუთხა სამკუთხედი, რომლის გვერდების სიგრძე შეიძლება მთელი რიცხვებით გამოისახოს. — 482

პირვანდელი ფუნქცია — ინტეგრალური აღრიცხვის ცნება. — 576

პირობა — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 606

პოლარული კოორდინატები. — 543

პოლარული ღერძი. — 542

პოლუსი. — 542, 545

პონტრიაგინი, ლევ სიმონის ძე (დაიბ. 1908 წ.) — საბჭოთა მეცნიერი, აკადემიკოსი (1958 წლიდან). მისი მეცნიერული შრომები ეხება ალგებრას, ტოპოლოგიასა და დიფერენციალურ განტოლებათა თეორიას. — 660

პოსტულატი — რომელიმე თეორიის გამოსავალ დებულებად მიჩნეული მსჯელობა, რომელიც დამტკიცების გარეშე მიიღება. პოსტულატებსა და აქსიომებს შორის გარკვეული განსხვავება არ არსებობს. — 500, 501

პროგრამა (ელექტრონული გამოთვლითი მანქანისათვის). — 647, 650, 653, 658

პტოლემე, კლავდიუსი — ბერძენი მეცნიერი, რომელიც მუშაობდა ალექსანდრიაში II ს. აქვს შრომები წრფივ და სფერულ ტრიგონომეტრიასა და სინუსების ცხრილის გამოთვლაში. — 463, 725

პუასონი, სიმეონ დენი (1781 — 1840) — ფრანგი მეცნიერი. მისი მათემატიკური შრომები ეხება დიფერენციალურ განტოლებებს, ალბათობათა თეორიასა და მათემატიკურ ანალიზს. — 670

ჟ

ჟირარი, ალბერტი (1595 — 1632) — ჰოლანდიელი მათემატიკოსი. პირველმა მოგვცა (1629 წ.) ალგებრის ძირითადი თეორემა, რომელიც მხოლოდ 1799 წ. დაამტკიცა მათემატიკოსმა კ. გაუსმა. განტოლებების ამოხსნისას დადებით ფესვებთან ერთად განიხილავდა უარყოფით ფესვებსაც. შემოიღო (1629 წ.) ამჟამად ხმარებული ფესვის ნიშანი.—531

რ

რადიუს-ვექტორი. — 614

რაზმაძე, ანდრია მიხეილის ძე (1890 — 1929) — ცნობილი საბჭოთა მათემატიკოსი. — 719

რგოლი — თანამედროვე ალგებრის ცნება. — 625

რიმანი, გეორგ ფრიდრიხ ბერნჰარდი (1826 — 1866) — გერმანელი მათემატიკოსი. მისმა შრომებმა გეომეტრიაში, რიცხვთა თეორიასა და ანალიზური ფუნქციების თეორიაში დიდი გავლენა მოახდინა მათემატიკის განვითარებაზე. — 502, 712, 728

რიმანის გეომეტრია. — 502, 728

რიმანის გეომეტრიები. — 502, 728

რიცხვების ჩაწერის პოზიციური სისტემა. — 465

რიცხვთა თეორია — მათემატიკის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის მთელი რიცხვებისათვის მართებულ კანონზომიერებებს. — 696, 706, 708, 714, 727

რიცხვი „e“, ნეპერის რიცხვი — ისეთი რიცხვი, რომ $y = e^x$ ფუნქციის გრაფიკი კვეთს ორდინატის ღერძს 45° კუთხით. შეიძლება აგრეთვე განისაზღვროს, როგორც ზღვარი, რომლისკენაც მიისწრაფვის გამოსახულება $\left(1+\frac{1}{n}\right)^n$, როცა n უსაზღვროდ იზრდება. წარმოადგენს ნატურალურ ლოგარითმთა ფუძეს. ამ რიცხვისათვის e აღნიშვნა შემოიღო (1736 წ.) ლ. ეილერმა. — 550

რომაული ციფრები — ძველ რომაელთა ციფრები. — 469, 470

ს

სასრული თამაში. — 679

საშუალო მნიშვნელობა. — 671

საწყისი ორდინატა. — 538

სიბრტყე — გეომეტრიის ერთ-ერთი ძირითადი (არაგანსაზღვრადი) ცნება. — 491, 514, 516

სივრცის სიმრუდე. — 524

სიმეტრია — გეომეტრიული გარდაქმნა. არჩევენ სიმეტრიას წერტილის მიმართ (იხ. გვ. 505), სიმეტრიას წრფის მიმართ (იხ. გვ. 505), n რიგის სიმეტრიას (იხ. გვ. 637).

სიმეტრიის ღერძი. — 511

სიმეტრიის ცენტრი. — 511

სიმეტრიული მრავალწევრები. — 639

სიმრავლე — თანამედროვე მათემატიკის ერთ-ერთი ძირითადი ცნება. — 583

სიმრავლეთა ალგებრა. — 593 — 596

სიმრავლეთა თეორია. — 582 — 592

სიმრავლის დამატება. — 600

სიმრავლის სიმძლავრე — სიმრავლეთა თეორიის ცნება.— 590

სინუსი — ერთ-ერთი ტრიგონომეტრიული ფუნქცია. სახელწოდება „სინუსი“ (ლათ. sinus — უბე) წარმოადგენს არაბული სიტყვის „ჯაიბის“ ზუსტ თარგმანს. ეს სიტყვა, როგორც ჩანს, დამახინჯებული სანსკრიტული სიტყვაა და ზუსტად ითარგმნება როგორც მშვილდის ლამბი, რომლითაც ინდოელმა მათემატიკოსებმა სინუსი აღნიშნეს. ნიშანი sin შემოიღო (1748 წ.) ლ. ეილერმა. — 576, 706

სინუსოიდა — ბრტყელი მრუდი, რომელიც გამოსახავს სინუსის ცვლილებას მისი არგუმენტის (კუთხის) ცვლილებასთან დაკავშირებით. — 553

სლავური ნუმერაცია — ანბანური ნუმერაცია, რომელიც იხმარებოდა უძველეს რუსეთში XVII საუკუნემდე. — 475, 477

სტანდარტულ ქვეპროგრამათა ბიბლიოთეკა. — 654

სტევინი, სიმონი (1548 — 1620) — ნიდერლანდელი მათემატიკოსი. შემოიღო (ევროპაში) ათწილადები და განტოლებების უარყოფითი ფესვები. — 607, 727

სტრატეგია — თამაშთა თეორიის ცნება. — 678

სუნ ძი — III ს. ჩინელი მათემატიკოსი; ავტორი „მათემატიკური ტრაქტატისა“. ნაშრომში არის ცნობები განუსაზღვრელი განტოლებების ამოხსნაზე. — 726

სფერო. — 495, 566

სფერული გეომეტრია—მათემატიკური დისციპლინა, რომელიც შეისწავლის გეომეტრიულ სახეებს სფეროზე. — 725

სფერული ტრიგონომეტრია — მათემატიკური დისციპლინა, რომელიც შეისწავლის დამოკიდებულებას სფეროს სამი დიდი წრის გადაკვეთისას მიღებული სფერული სამკუთხედის გვერდებსა და კუთხეებს შორის. — 725

სხეულის მოცულობა. — 560, 563, 687, 696, 725

ტ

ტარტალია, ნიკოლო (დაახლ. 1499 — 1557) — იტალიელი მათემატიკოსი. მისი სახელი დაკავშირებულია კუბური განტოლების ამოხსნის ხერხის დამუშავებასთან. — 530, 726

ტეეტეტი — ძვ. წ. IV ს. დასაწყისის ძველი ბერძენი მათემატიკოსი. — 725

ტეტრაედრი — წესიერი მრავალწახნაგების ხუთი ტიპიდან ერთ-ერთი; აქვს 4 წახნაგი (სამკუთხედური), 6 წიბო, 3 წვერო (ყოველ წვეროში თავს იყრის 3 წიბო). — 500, 725

ტექნიკური კიბერნეტიკა. — 661

ტოპოლოგია — მათემატიკური დისციპლინა, რომელიც შეისწავლის გეომეტრიულ ნაკვთთა უზოგადეს თვისებებს,

ე. წ. ტოპოლოგიურ თვისებებს, ე. ი. ნაკვთების ფორმის თვისებებსა და ურთიერთგანლაგებას. — 706

ტორი—ზედაპირი, რომელსაც აქვს ბლითის ფორმა.—493

ტორიჩელი, ევანჯელისტა (1608 — 1647) — იტალიელი მეცნიერი. მისი მათემატიკური შრომები ეხება ფართობების გამოთვლას ნაკვთთა საკმაოდ ფართო კლასისათვის. — 727

ტრიგონომეტრია — მათემატიკური დისციპლინა, რომელიც შეისწავლის ტრიგონომეტრიულ ფუნქციებს და მათ გამოყენებას გეომეტრიაში. ისტორიულად იგი წარმოიშვა ამოცანებიდან მართკუთხა სამკუთხედების (ბრტყელი და სფერული) ამოხსნასთან დაკავშირებით. თანამედროვე სახე მიიღო ლ. ეილერის შრომებში. — 463, 692

ტრიგონომეტრიული ფუნქციები. — 553, 700

ტუე, აქსელი (1863 — 1922) — ნორვეგიელი მათემატიკოსი. აქვს შრომები რიცხვთა თეორიაში. — 489

უ

უარყოფა. — 604

უარყოფითი რიცხვები. — 529, 530, 694

უმაღლესი მათემატიკა. — 463

უნაგირა წერტილი. — 682

უნივერსალური მმართველი მანქანა. — 660

ურთიერთცალსახა შესაბამისობა. — 584

უსასრულო მწკრივი. — გამოსახულება $a_1 + a_2 + \ldots + a_n + \ldots$, რომლის წევრები $a_1, a_2, \ldots a_n, \ldots$ რიცხვებია (რიცხვთა მწკრივი) ან ფუნქციებია (ფუნქციათა მწკრივი). ფუნქციების გამოკვლევასა და გამოთვლებში დიდი მნიშვნელობა აქვს მათი ისეთი სახის მწკრივებად წარმოდგენას, რომელთა წევრები უფრო მარტივი ფუნქციებია.—699, 727

ფ

ფედოროვი, ევგრაფი სტეფანეს ძე (1853 — 1919) — რუსი მეცნიერი, აკადემიკოსი (1919 წლიდან), მათემატიკისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მის გამოკვლევებს კრისტალების გეომეტრიული სტრუქტურის დარგში. — 638

ფერარი, ლოდოვიკო (1522 — 1565) — იტალიელი მათემატიკოსი. იპოვა მე-4 ხარისხის განტოლების ამოხსნის ხერხი (გამოქვეყნდა 1545 წ.). — 530, 726

ფერმა, პიერი (1601 — 1665) — ფრანგი მათემატიკოსი.— 463, 489, 532, 668, 696, 697, 725, 727

ფერმას დიდი თეორემა — იმის მტკიცება, რომ განტოლება $x^n + y^n = z^n$, სადაც n ორზე მეტი მთელი რიცხვია, მთელ დადებით რიცხვებში არ ამოიხსნება. ზოგად შემთხვევაში დამტკიცება არ არის ნაპოვნი. — 697

ფერმას მცირე თეორემა. — 697

ფერმას რიცხვები. — 697

ფერო, დალ ფერო, სციპიონი (1465 — 1526) — იტალიელი მათემატიკოსი. მის სახელთანაა დაკავშირებული სპეციალური სახის კუბური განტოლებების ამოხსნის წესები.— 530, 726

ფიბონაჩი — იხ. ლეონარდო პიზელი.

ფლუქსიის მეთოდი — დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის ადრეული ფორმა, რომელიც ნიუტონის შრომებში წარმოიშვა. — 699

„ფსამიტი“ — არქიმედეს მათემატიკური თხზულება, რომელშიც მოცემულია რიცხვების ჩაწერის ხერხი. — 474

ფუნქცია — მათემატიკის ერთ-ერთი ძირითადი ცნება, რომელიც გამოსახავს ერთი ცვლადი სიდიდის მეორესთან დამოკიდებულებას. ამჟამად საყოველთაოდ მიღებული ნებისმიერი ფუნქციის აღნიშვნა $f(x)$ შემოიღო (1734 წ.) ლ. ეილერმა. — 547 — 559

ფუნქციონალური დამოკიდებულება. — 547

ყ

ყალბი დაშვების მეთოდი. — 528

შ

შებრუნებული გარდაქმნა. — 633

შედეგი — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 606

შეკუმშვა წრფისაკენ — გეომეტრიული გარდაქმნა (ასახვა), რომლის დროსაც ყოველი A წერტილი გადადის A წერტილიდან ამ წრფეზე დაშვებული მართობის A' წერტილში, ამასთან წრფიდან A და A' წერტილებამდე მანძილების ფარდობა მუდმივია ყველა A წერტილისათვის. — 509

შეკუმშვის კოეფიციენტი. — 509

შემთხვევითი მოვლენა — მოვლენა, რომელიც მოცემულ პირობებში შეიძლება მოხდეს და არც მოხდეს, და რომლის მოსახდენად გარკვეული ალბათობა არსებობს. — 664, 665

შემთხვევითი პროცესი — პროცესი, რომელიც შესაძლოა სხვადასხვანაირად მიმდინარეობდეს შემთხვევასთან დაკავშირებით და რომლისთვისაც განსაზღვრულია ამა თუ იმ მიმდინარეობის ალბათობა. — 672

შემყვანი მოწყობილობა — ერთ-ერთი მოწყობილობა სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის ხუთი ძირითადი მოწყობილობიდან. — 648

შერეული სტრატეგია — თამაშთა თეორიის ცნება. — 681, 683

შმიდტი, ოტო იულის ძე (1891 — 1956) — საბჭოთა მეცნიერი, აკადემიკოსი. მისი მათემატიკური შრომები ეხება თანამედროვე ალგებრის ერთ-ერთ დარგს — ჯგუფთა თეორიას. — 641

შტიფელი, მიხაილი (1486 — 1567) — გერმანელი მათემატიკოსი. კვადრატული განტოლებების ამოხსნისას ერთ-ერთმა-პირველმა გამოიყენა უარყოფითი რიცხვები; ჩამოაყალიბა ხარისხის მაჩვენებლებზე მოქმედებათა წესები. — 529

შუა წერტილის წესი. — 608

შუხოვი, ვლადიმერ გრიგოლის ძე (1835 — 1939) — საბჭოთა მეცნიერი, საპატიო აკადემიკოსი (1929 წლიდან). მისი კონსტრუქციის მიხედვით აიგო ბრუნვის ცალკალთა ჰიპერბოლოიდის სახის მრავალი ანძა, კოშკი და ანტენა (შუხოვის კოშკები). — 494

ჩ

ჩებიშევი, პაფნუტი ლვოვის ძე (1821 — 1894) — რუსი მათემატიკოსი, აკადემიკოსი (1859 წლიდან). — 463, 670, 671, 714 — 716, 728

ც

ცარიელი სიმრავლე. — 596

ცენტრალური დაგეგმილება — გეომეტრიული გარდაქმნა. — 512

ცენტროიდი. — 619 — 620

ციკლოიდი — წირი. იგი წარმოადგენს იმ წრეწირის წერტილის კვალს, რომელიც უსრიალოდ გორავს წრფეზე. — 494

წ

წარმოებული — მათემატიკური ანალიზის ერთ-ერთი ძირითადი ცნება. ამჟამად ხმარებული აღნიშვნა $f'(x)$ შემოიღო (1770 წ.) ჟ. ლაგრანჟმა. — 571

წარმოსახვითი რიცხვები — $a + bi$ სახის რიცხვები, სადაც $i^2 = -1$, a, b ნამდვილი რიცხვებია და $b \neq 0$: წარმოსახვით რიცხვებს ეწოდება წმინდა წარმოსახვითი რიცხვები. აღნიშვნა i შემოიღო (1777 წ.) ლ. ეილერმა. — 726

წერტილი — გეომეტრიის ერთ-ერთი ძირითადი (არაგანსაზღვრებადი) ცნება. — 498, 514, 515

წერტილის კოორდინატები — რიცხვები, რომლებიც განსაზღვრავს წერტილის მდებარეობას წრფეზე, მრუდწირზე, სიბრტყეზე, მრუდ ზედაპირზე ან სივრცეში. — 533, 694

წესიერი მრავალწახნაგები. — 500

წესიერი მრავალკუთხედები. — 631, 632, 708

წინააღმდეგობის კანონი — მათემატიკური ლოგიკის ერთ-ერთი კანონი. — 605

წირი — გეომეტრიის ერთ-ერთი ძირითადი (განსაზღვრებადი) ცნება. — 498

წრეწირი — შეკრული წირი, რომლის ყველა წერტილი ერთნაირადაა დაშორებული ერთი წერტილიდან — მისი ცენტრიდან. — 540

წრის ევოლვენტი — წირი, რომელსაც შემოწერს ღუნვადი, უჭიმვადი ძაფის ბოლო წრიდან ძაფის გადმოხვევისას. — 495

წრის კვადრატურა — უძველესი დროის ცნობილი ამოცანა: ფარგლისა და სახაზავის საშუალებით აიგოს მოცემული წრის ტოლი კვადრატი. ეს ამოცანა დაიყვანება π რიცხვის აგებამდე, ამიტომ, როგორც XIX ს. დადგინდა, ზემოხსენებული საშუალებებით მისი ამოხსნა შეუძლებელია. მაგრამ თუ აგებისათვის დამატებით საშუალებებს, მაგალითად, კვადრატრისას მოვიშველიებთ, მაშინ ამოცანის ამოხსნა შესაძლებელი ხდება. — 632, 725

წრფე — გეომეტრიის ერთ-ერთი ძირითადი. (არაგანსაზღვრებადი) ცნება. — 498, 514, 515, 537 — 539

წრფივი გარდაქმნა. — 509, 512

წრფივი პროგრამირება — მათემატიკური დისციპლინა. — 488, 660

წყვილის თამაში — თამაშთა თეორიის ცნება. — 678

ჭ

ჭეშმარიტებათა სიმრავლე — მათემატიკური ლოგიკის ცნება. — 602

ხ

ხაიამი, ომარ (დაიბ. დაახლ. 1040 წ., გარდაიცვ. 1123 წ.) — შუაზიელი მათემატიკოსი და პოეტი. — 530, 688 — 690,

ხარაძე, არჩილი კირილეს ძე (დაიბ. 1895 წ.) — საბჭოთა მათემატიკოსი. — 718

ხინჩინი, ალექსანდრე იაკობის ძე (1894 — 1959) საბჭოთა მათემატიკოსი, სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი (1939 წლიდან). მისი შრომები მიძღვნილია ალბათობათა თეორიისა და რიცხვთა თეორიისადმი. — 672

ჯ

ჯამი. — 592, 594, 595, 599, 604, 609

ჯგუფი — თანამედროვე ალგებრის ცნება. — 635 — 637, 640, 714

ჯაჭვწირი — წირი, რომელზედაც ჩაკიდებულია მძიმე უჭიმვადი ძაფი. — 494

ڈ

ڈاکٹر ایم او، ٹامسن (1805 — 1865) — ماہر لسانیات، مؤرخ اور ادارہ جاتی منتظم جنہوں نے ۲۴ برس تک ہیلی بری کالج میں مشرقی علوم کی تدریس کی۔ ان کی مرتبہ لغت ’فرہنگِ نیل‘ (1862) اور ’قواعدِ ہندی‘ (1865) کئی دہائیوں تک نصاب میں شامل رہیں۔

მათემატიკური აღნიშვნები

∞ — უსასრულობა
$>$ — მეტია
$\geqslant$ — მეტია ან ტოლია (ნაკლები არაა)
$\int$ — ინტეგრალი (განუსაზღვრელი)
$\int_a^b$ — განსაზღვრული ინტეგრალი, ქვედა a ზღვარით და ზედა b ზღვარით
lg — ათობითი ლოგარითმი
ln — ნატურალური ლოგარითმი
$\log_a b$ — b რიცხვის a ფუძიანი ლოგარითმი
$<$ — ნაკლებია
$\leqslant$ — ნაკლებია ან ტოლია (მეტი არაა)
mod — მოდული
$\parallel$ — პარალელურია
$\perp$ — მართობულია
const — მუდმივა
lim — ზღვარი
$\approx$ — მიახლოებით ტოლი
Δ — ნამატი
% — პროცენტი
$\rightarrow$ — მიისწრაფვის
Σ — ჯამი
$\equiv$ — იგივური ანუ იგივურად ტოლი
$\triangle$ — სამკუთხედი
$\angle$ — კუთხე
$f(\ ),\ F(\ )$ — ერთი ან რამდენიმე ცვლადის ფუნქცია

პირობითი აღნიშვნები

აღმ. გრძ. — აღმოსავლეთ გრძედის
ა. შ. — ასე შემდეგ
ახ. წ. — ახალი წელთაღრიცხვით
გ — გრამ ძალა (წონა)
გვ. — გვერდი
დას. გრძ. — დასავლეთ გრძედის
იხ. — იხილე
კ. — კუნძული
კგ — კილოგრამ მასა
კგ — კილოგრამ ძალა (წონა)
კ-ები — კუნძულები
კგტ/საათ. — კილოვატ-საათი
კმ — კილომეტრი
$კმ^2$ — კვადრატული კილომეტრი
$კმ^3$ — კუბური კილომეტრი
კმ/საათ. — კილომეტრი საათში
კმ/წმ — კილომეტრი წამში
ლ. — ლენინგრადი (ბიბლიოგრაფიულ საძიებელში)
მ. — მოსკოვი (ბიბლიოგრაფიულ საძიებელში)
მ — მეტრი
$მ^2$ — კვადრატული მეტრი
$მ^3$ — კუბური მეტრი
მგ — მილიგრამ მასა
მგ — მილიგრამ ძალა (წონა)
მლნ — მილიონი
მლრდ — მილიარდი
მმ — მილიმეტრი
$მმ^2$ — კვადრატული მილიმეტრი
$მმ^3$ — კუბური მილიმეტრი
ნახ. — ნახაზი (ნახატი)
ნ.-კ. — ნახევარკუნძული
სამხ. — სამხრეთი
სამხ.-აღმ. — სამხრეთ-აღმოსავლეთი
სამხ. — გან. — სამხრეთ განედის
სამხ.-დას. — სამხრეთ-დასავლეთი
სე — საბავშვო ენციკლოპედია
სმ — სანტიმეტრი
$სმ^2$ — კვადრატული სანტიმეტრი
$სმ^3$ — კუბური სანტიმეტრი
ს., სს. — საუკუნე, საუკუნეები
სხვ. — სხვა
ტ. — ტომი
ტ — ტონა მასა
ტ — ტონა ძალა (წონა)
ქ. — ქალაქი
ჩრდ.-აღმ. — ჩრდილო-აღმოსავლეთი
ჩრდ. გან. — ჩრდილოეთ განედის
ჩრდ.-დას. — ჩრდილო-დასავლეთი
ძვ. წ. — ძველი წელთაღრიცხვით
წ., წწ. — წელი, წლები

შინაარსი

დედამიწის ქერქი და წიაღი

რას შეისწავლის გეოლოგია — დ. შ ჩ ე რ ბ ა კ ო ვ ი (თარგმ. ბ. ადეიშვილისა) 7

დედამიწის შინაგანი აგებულება

მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისაკენ — დ. შ ჩ ე რ ბ ა კ ო ვ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 11
კრისტალების სამყაროში — მ. შ ა ს კ ო ლ ს კ ა ი ა (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 16
კრისტალების აგებულება 18
შეიძლება თუ არა კრისტალური სტრუქტურის შეცვლა 21
უწესრიგობა წესრიგში და წესრიგი უწესრიგობაში . 23
კრისტალები მუშაობენ 24
როგორ წარმოიქმნება მინერალები და ქანები—გ. კ რ ა ვ ჩ ე ნ კ ო (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 25
მაგმური ქანები 26
როგორ წარმოიქმნება სასარგებლო ნამარხი მაგმის დაკრისტალებისას 29
დანალექი ქანები 30
მეტამორფული ქანები 32
სასარგებლო ნამარხები ვ. ა რ ტ ა მ ო ნ ო ვ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 33
საწვავი ნამარხები 35
მეტალური ნამარხები 42
შავი მეტალები და მათი შენადნობები . . . 42
ფერადი და კეთილშობილი მეტალები . . . 44
იშვიათი და გაფანტული მეტალები . . . 47
არამეტალური ნამარხები—ვ. ა რ ტ ა მ ო ნ ო ვ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 49
საქართველოს მინერალური რესურსები — ლ. კ ო ღ ო შ ვ ი ლ ი, შ. ჯ ა ვ ა ხ ი შ ვ ი ლ ი 52
როგორ ეძებენ სასარგებლო ნამარხებს—გ. კ რ ა ვ ჩ ე ნ კ ო (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 59
დედამიწის განძი 59
როგორ ეძებენ საბადოებს 59
მეცნიერულად დასაბუთებული ძიება 61
რისთვისაა საჭირო გეოლოგიური რუკა და როგორ ადგენენ მას 64
ბუნება გვეხმარება საბადოების ძებნაში . . . 65
ქიმია და გეოლოგია 66
გეოლოგებს მცენარეები და ცხოველებიც ეხმარებიან . 67
ფიზიკა და გეოლოგია 68
საბადო-მაგნიტი 68
გრავიმეტრიული დაზვერვა 68
ელექტრობა ეძებს 69
დაზვერვა აფეთქებებით 70
საბადოს მოძებნა საქმის დასაწყისია 71
შეიძლება თუ არა საქმე უგეოლოგებოდ მოგვარდეს . 73
როგორ წარმოიქმნება და ინგრევა მთები — გ. გ ო რ შ კ ო ვ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 73
მიწისძვრები — ე. ს ა ვ ა რ ე ნ ს კ ი (თარგმ. შ. ჯავახიშვილისა) 80
რა ხდება ძლიერი მიწისძვრების დროს 81
სად და რატომ ხდება მიწისძვრები 82
როგორ სწავლობენ მიწისძვრებს 83
მიწისძვრის ჩაწერა 83
შეიძლება თუ არა მიწისძვრის მავნე შედეგების შესუსტება 85
რა არის ვულკანი — ე. ზ ა ვ ა რ ი ც კ ა ი ა (თარგმ. შ. ჯავახიშვილისა) 86
საქართველოს ვულკანები — ნ. ს ხ ი რ ტ ლ ა ძ ე . . 92
როგორ მოქმედებენ გეიზერები — ე. ზ ა ვ ა რ ი ც კ ა ი ა (თარგმ. შ. ჯავახიშვილისა) 96

სიცოცხლის გარემო

როგორ ვითარდებოდა დედამიწაზე სიცოცხლე—ბ. ტ რ ო ფ ი მ ო ვ ი (თარგმ. ბ. ადეიშვილისა) 100
ქვის მატიანე 100
ზღვები და ოკეანეები სიცოცხლის წყაროა დედამიწაზე 102
ჩვენი პლანეტის უძველესი ბინადარნი 105
ხმელეთის პიონერები 106
უძველესი ხვლიკები 110
ხვლიკების „სამეფო“ 112
ფრინველების, ძუძუმწოვრების, ყვავილოვანი მცენარეების წარმოშობა და ხვლიკების დიდი გადაშენება 114
ახალი სიცოცხლის ერა 116
როგორ ადგენენ დედამიწისა და ქანების ასაკს—ი. კ ლ ე ბ ა ნ ო ვ ა (თარგმ. ბ. ადეიშვილისა) 119

დედამიწის ზიალის გამოკვლევა

გეოლოგიური მეცნიერების ისტორიიდან — თ. ბუბლეინიკოვი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . 123
სამთოელები — პირველი გეოლოგები 123
გეოლოგიის აღმოცენება 124
გეოლოგების კამათი 125
დანალექი ქანების ასაკის დადგენა 127
მეცნიერება გადაშენებულ ორგანიზმთა შესახებ . . 128
კატასტროფები თუ განუწყვეტელი განვითარება . . 129
უძველესი ადამიანები 131
გაყინვარების ეპოქები 131
მთებისა და მატერიკების აღზევება 132
გეოლოგია რევოლუციამდელ რუსეთში 134
გეოლოგია საბჭოთა კავშირში 138
საქართველოში გეოლოგიური მეცნიერების განვითარების მოკლე მიმოხილვა — დ. ჯავახიშვილი . . . 142

საცნობარო განყოფილება

ცნობები დედამიწის გეოლოგიურ აგებულებაზე—პ. გალკინი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 146
როგორ გამოვიცნოთ მინერალები — ვ. მუზაფაროვი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 147
როგორ განვსაზღვროთ ესა თუ ის ქანი — ი. პრეობრაჟენსკი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . 156
გეოლოგიური ცოდნის განვითარების მოკლე ქრონოლოგიური ტაბულა — ვ. გალიცკი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 159
რა წავიკითხოთ გეოლოგიაში — რ. ბამი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 161
სახელთა და საგანთა საძიებელი — ზ. კლიმოვა (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 165

ციურ სხეულთა სამყარო

ასტრონომია — მეცნიერება სამყაროს შესახებ — ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 177

როგორ ვითარდებოდა მეცნიერება სამყაროს შესახებ

ასტრონომია უძველეს დროსა და შუა საუკუნეებში — ი. პერელი (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) . . . 181
ასტრონომია უძველეს დროში 181
ასტრონომია შუა საუკუნეებში 186
კოპერნიკიდან ნიუტონამდე — ი. პერელი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 190
მსოფლიო მიზიდულობის კანონი — გ. არისტოვი (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 201
მოქცევები და უკუქცევები — ი. რიაბოვი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 205
როგორ ზომავენ მანძილებს ციურ მნათობებამდე — ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 208
როგორ მუშაობენ ასტრონომები — ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) . . . 211
დაკვირვებები ტელესკოპით (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 211
ვარსკვლავების ფოტოგრაფირება (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 214
სპექტრული ანალიზი (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) . . 214
ციური სხეულების ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრა (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 215
ზუსტი დროისა და მნათობთა კოორდინატების განსაზღვრა (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 216
რადიოასტრონომია (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . . 216
სად მუშაობენ ასტრონომები (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 218
ჩვენი ქვეყნის ობსერვატორიებში — ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . 219
ასტრონომია საქართველოში—მ. კოლხიდაშვილი. 223

რა ვიცით სამყაროს შესახებ

ვარსკვლავიერი ცა — ფ. ზიგელი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 230
ვარსკვლავიერი ცის ბრუნვა (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . 234
ვარსკვლავიერი ცის ხედი დედამიწის სხვადასხვა ადგილებიდან (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) . . . 236
ვარსკვლავიერი ცის ხედის ცვლილება წლის განმავლობაში (თარგმ. დ. ჭიპაშვილისა) 238
მთვარე — ნ. სიტინსკაია (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . 239
ჩვენი ბუნებრივი თანამგზავრი 239
მთვარის სინათლის წარმოშობა 240
მთვარის ფაზები და მთვარის თვეები 241
მთვარის „ზღვები“ 242
მთვარის მთები 243
მთვარის ხილული და უხილავი მხარეები . . . 244
მთვარის სამყარო 246
მზე — ე. კონონოვიჩი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . 248
მშვიდი მზე 248
მზის აქტივობა 252
მზის და მთვარის დაბნელებები — გ. პონომარიოვა (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 255
მზის სისტემის პლანეტები — ნ. სიტინსკაია (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 261
შორეული „დედამიწები“ 261
მერკური — სიცხისა და სიცივის სამეფო . . . 262

ვენერა — „მწუხრის ვარსკვლავი“ 263
დედამიწა 265
მარსი — „წითელი ვარსკვლავი“ 266
იუპიტერი — პლანეტა-გიგანტი 269
სატურნი — პლანეტა რგოლით 270
პლანეტები — ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი . . 272
ნამცეცა პლანეტები 274
კომეტები — ბ. ლ ე ვ ი ნ ი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . 275
მეტეორები და მეტეორიტები — ე. კრინოვი (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 282
მეტეორები ატმოსფერული მოვლენაა (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 282
მეტეორული ნაკადები (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) . 283
მეტეორებზე დაკვირვება (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . 284
ცეცხლოვანი ბურთები—ბოლიდები (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 284
მეტეორიტი—კოსმოსის მაცნე (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 285
მეტეორიტების საერთო ხედი და ზომები (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 285
როგორ ცვივა მეტეორიტები (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 286
რკინის წვიმა (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 288
ტუნგუსკის მეტეორიტი-კომეტა (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 288
რისგან შედგება მეტეორიტები (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 289
მეტეორიტების წარმოშობა (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . 289
მოსახლეობის დახმარება მეტეორიტების შეგროვებაში (თარგმ. ვ. ჯაფიაშვილისა) 290
ვარსკვლავები და სამყაროს სიღრმეები — ბ. ვ ო რ ო ნ ც ო ვ-ვ ე ლ ი ა მ ი ნ ო ვ ი (თარგმ. ჯ. მდინარაძისა) 290
რამდენი ვარსკვლავია ცაზე 290
ვარსკვლავთ რუკები, ატლასები და კატალოგები . 291
ხილული და ჭეშმარიტი. ვარსკვლავთ ბრწყინვალება . . 291
ვარსკვლავური ტემპერატურის „თერმომეტრები“ . 292
ჯუჯები და გიგანტები ვარსკვლავთ სამყაროში . 293
წყვილები და სამეულები ვარსკვლავთ სამყაროში . 295
ეშმაკეული ვარსკვლავები 297
სამყაროს შუქურები — ცეფეიდები 298
საიდუმლოებით მოცული და ანთებადი ვარსკვლავები. 299
ახალი და ზეახალი ვარსკვლავების ანთება — მსოფლიო კატასტროფები 299
ვარსკვლავთ გროვები და კოსმოსური მტვერი . . 301
გაზოვანი ნისლეულები და ვარსკვლავთშორისი გაზი . 304
ირმის ნახტომი და გალაქტიკა, რომელშიც ვცხოვრობთ 306
სხვა გალაქტიკები — სამყაროს კუნძულები . . . 307
უსასრულო სამყარო და ჩვენი მისამართი ამ სამყაროში 310
როგორ წარმოიშვა დედამიწა და სხვა ციური სხეულები— ბ. ვ ო რ ო ნ ც ო ვ-ვ ე ლ ი ა მ ი ნ ო ვ ი (თარგმ. ნ. მაღალაშვილისა). 310
დედამიწის პირველი „დღეების“ შესახებ . . . 314
საიდან გაჩნდა გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბელი მზის გარშემო 316
მზის, ვარსკვლავებისა და გაზოვან-მტვეროვანი ღრუბლების განვითარება 316

როგორ ეხმარება ასტრონომია ადამიანს

ასტრონომია ჩვენი ქვეყნის სახალხო მეურნეობაში — კ. კ უ ლ ი კ ო ვ ი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . . 318
დრო და კალენდარი — ი. შ უ რ ი (თარგმ. ლ. მდინარაძისა) 323
ძნელი ამოცანა 323
კალენდრის წინაპრები 324
რვაწლიანი და ცხრამეტწლიანი 325
ყველაზე მარტივი და მოსახერხებელი 327
იულიუსის კალენდარი 328
ახალი სტილი 330
კარგია თუ არა ჩვენი კალენდარი? 330
რომელი საათია? 333
ადამიანი კოსმოსს ეწვია — ი. მ ი ნ ა ს ი ა ნ ი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 336
პირველი ხელოვნური ციური სხეულები . . . 336
ცის ხელოვნური სხეულების მოძრაობის კანონები . 345
მზის მახლობელი სივრცის შესწავლა 351
ტროპოსფეროს საზღვრებს გარეთ 352
საპლანეტათშორისო გაზი 354
დედამიწის მაგნიტური ველი და რადიაციის სარტყლები 355
მეტეორული ნივთიერება 356
ჩვენ კოსმოსიდან დავყურებდით დედამიწას — ი. გ ა გ ა რ ი ნ ი, გ. ტ ი ტ ო ვ ი, ა. ნ ი კ ო ლ ა ე ვ ი, პ. პ ო პ ო ვ ი ჩ ი, ვ. ბ ი კ ო ვ ს კ ი, ვ. ნ ი კ ო ლ ა ე ვ ა-ტ ე რ ე შ კ ო ვ ა, ვ. კ ო მ ა რ ო ვ ი, კ. ფ ე ო კ ტ ი ს ტ ო ვ ი, ბ. ე გ ო რ ო ვ ი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 358
ასტრონომია და სხვა მეცნიერებანი — ი. პ ე რ ე ლ ი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 363

სამყაროს მკვლევარნი

ი. პ ე რ ე ლ ი

მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 368
უილიამ ჰერშელი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) . . . 370
პიერ სიმონ ლაპლასი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) . . 374
ჯემს ბრადლი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 376
ფრიდრიხ ვილჰელმ ბესელი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . 377
ვასილ იაკობის ძე სტრუვე (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა). 378
მარიან ალბერტის ძე კოვალსკი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 382
თევდორე ალექსანდრეს ძე ბრედიხინი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 384
არისტარქე აპოლონის ძე ბელოპოლსკი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 386

ედუარდ ჩარლზ პიკერინგი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . 388
ჰაინრიხ ნორის რესელი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . . 390
კარლ შვარცშილდი და არტურ სტენლი ედინგტონი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 391
ედვინ ჰაბლი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 392
გრიგოლ აბრამის ძე შაინი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა). 394
მეცნიერი-რევოლუციონერი პავლე კარლის ძე შტერნბერგი (თარგმ. მ. კოლხიდაშვილისა) 397

ნორჩი ასტრონომები

ასტრონომიის მოყვარულებს — ი. პერელი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 400
ასტრონომიის მოყვარულთა ტელესკოპი — ვ. ბრონშტენი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 402
ასტრონომიის მოყვარულთა დაკვირვებანი ცაზე — ვ. ბრონშტენი, და ნ. სემაკინი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 411
დაკვირვებანი მზეზე და მზის დაბნელებებზე . . 412
დაკვირვებანი დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებსა და მეტეორებზე 414
დაკვირვება ვერცხლისფერ ღრუბლებზე 417
კომეტებზე დაკვირვება 420
ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვება 420
რას ნახავთ პლანეტარიუმში — ი. შური (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 423
როგორ არის მოწყობილი აპარატი „პლანეტარიუმი“ 425

საცნობარო განყოფილება

ძირითადი მონაცემები ციური სხეულების შესახებ — ი. რახლინი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 428
უმოკლესი ქრონოლოგიური ცხრილი ასტრონომიის ისტორიიდან — ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 433
რა წავიკითხოთ ასტრონომიაში — ი. პერელი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) 435
სახელთა და საგანთა საძიებელი. — ი. რახლინი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) 440

რიცხვები და ნაკვთები

რამდენიმე სიტყვა მათემატიკაზე — ა. მარკუშევიჩი (თარგმ. ნ. ლომჯარიასი) 461

რიცხვები

როგორ ითვლიდა ადამიანი ძველად და როგორ წერდა ციფრებს — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ნ. ლომჯარიასი) 465
ორობით, სამობით და თორმეტობით თვლა . . . 466
საწონების ამოცანა 468
ჩვენი ზეპირი თვლა 469
როგორ ითვლიდნენ პირველყოფილი ადამიანები . . 471
პირველი ნუმერაციები 473
ანბანური ნუმერაციები. „ფსამიტი“ 474
პოზიციური სისტემები 477
უმარტივესი განუსაზღვრელი განტოლებანი — ვ. ნეჩაევი (თარგმ. ნ. ლომჯარიასი) 481
პითაგორეს სამკუთხედი 481
ტვირთის აწონა ჯამებიან სასწორზე 482
ფანერის გამოჭრა 482
განუსაზღვრელი განტოლებანი 483
პირველი ხარისხის განუსაზღვრელ განტოლებათა რაციონალური და მთელი ამონახსნები. გაბნევის მეთოდი 483
აწონის ამოცანის ამოხსნა 485
პირველი ხარისხის განტოლებათა განუსაზღვრელი სისტემები 486
ფანერის გამოჭრაზე ამოცანის ამოხსნა 487

ნაკვთები და სხეულები

პირველზე მაღალი ხარისხის განუსაზღვრელი განტოლებების მთელი ამონახსნები 488
გეომეტრია ჩვენს ირგვლივ — მ. პოტოცკი (თარგმ. გ. ბურნაძისა) 491
როგორ წარმოიშვა გეომეტრია — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. მ. ჭახრაკიასი) 496
გეომეტრიის მეცნიერებად ჩამოყალიბება . . . 497
დედუქციური სისტემის აგება 499
პარალელურობის პოსტულატი და არაევკლიდური გეომეტრიები 501
გეომეტრიული გარდაქმნები — ი. იაგლომი (თარგმ. მ. ჭახრაკიასი) 503
რა არის გეომერტია? 503
მოძრაობა 504
მსგავსების გარდაქმნები 507
წრფივი გარდაქმნები 508
ელიფსი 511
გეგმილური გარდაქმნები 512
გარდაქმნები თეორემების კლასიფიკაციის საფუძველია 513
სხვადასხვა გეომეტრიების შესახებ — ნ. პოლსკი (თარგმ გ. ბურნაძისა) 514
რით იწყება გეომეტრიის შესწავლა 514
როგორ გამოიყენება გეომეტრიული თეორია . . 516
პარალელურობის აქსიომა 518

არის თუ არა სამკუთხედის კუთხეების ჯამი 180°-ის ტოლი 520
საჭიროა თუ არა სხვა გეომეტრიები 522
რით განსხვავდება ერთმანეთისგან სხვადასხვა გეომეტრიები 524

განტოლებანი და ფუნქციები

როგორ სწავლობდნენ ძველად განტოლებათა ამოხსნას—ი. დეპმანი (თარგმ. ლ. ქავთარაძისა) . . . 526
ორი ყალბი დაშვების მეთოდი 528
უცნობი რიცხვის ცნების შემოღება 528
კვადრატული განტოლებანი 529
განტოლებანი, რომელთა ხარისხი ორზე მეტია . . 530
რა არის და რას ემსახურება კოორდინატები—ვ. ეფრემოვიჩი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 531
წერტილთა დეკარტეს კოორდინატები 533
უმარტივესი ამოცანები 533
წერტილთა უსასრულო სიმრავლისაგან შემდგარი ნაკვთების მოცემა 535
წრფე 537
ძირითადი ამოცანები წრფეზე 538
წრეწირი 540
გეომეტრიული ამოცანების ანალიზური ამოხსნა . 540
ამოუხსნელი ამოცანები აგებაზე 541
პოლარული კოორდინატები 542
კოორდინატები სფეროზე 544
მრუდწირული კოორდინატები. კოორდინატთა ზოგადი იდეა 546
ფუნქციები ბუნებასა და ტექნიკაში—ნ. ვილენკინი (თარგმ. ი. ქარცივაძისა) 547
კოჭის სიხისტე 548
კოჭის ჩაღუნვა 549
ჩაწერტებული დატვირთვა 550
რიცხვი *e*. ნატურალური ლოგარითმები 550
ერთ ადამიანს შეუძლია გემის შეჩერება 550
ნივთიერების რადიოაქტიური დაშლა 551
მუდმივი დენის ჩართვა და გამორთვა 551
ჩაიდანის გაცივება 552
რატომ ვარდება პარაშუტისტი თანაბრად . . . 552
როგორ ზომავენ სიმაღლეს ბარომეტრის საშუალებით 552
რამდენი საწვავი უნდა წაიღოს რაკეტამ . . . 553
ჰარმონიული რხევები 553
ქანქარის რხევა 554
კონდენსატორის განმუხტვა 554
როგორ შევაერთოთ ორი მილი 555
სვეტის ღუნვა 555
მილევადი რხევები 555
იძულებითი რხევები 556
რხევათა შეკრება 556
ცემა 557
მოქცევა და მიქცევა 557
სპექტრული ანალიზი 558
როგორ აღმოაჩინა მანქანამ თეორემა 558
რატომ არ მუშაობდა ტრანსატლანტიკური კაბელი . 559
რადიომიმღები და კამერტონი 559
დასკვნა 559
ინტეგრალი და წარმოებული—ვ. ბოლტიანსკი და ნ. ვილენკინი (თარგმ. გ. აბდუშელი-შვილისა) 559
კეპლერის ამოცანა 559
მათემატიკა ჩაის მაგიდასთან 560
სხეულის მოცულობა 560
მდინარის გაზომვა 561
ავტომობილში 562
ინტეგრალი 562
ინტეგრალების გეომეტრიული გამოთვლა . . . 563
მრავალწევრების ინტეგრება 565
ინტეგრალების გამოყენება 566
შესანიშნავი ფორმულა 567
როგორ გავზომოთ ტყვიის ფრენის სიჩქარე . . . 568
რადიოაქტიური დაშლის სიჩქარე 569
იცით თუ არა მხების გავლება? 570
წარმოებული 571
მრავალწევრების წარმოებულები 572
ფუტკრები — მათემატიკოსები 573
როგორ გავაკეთოთ ყველაზე დიდი კოლოფი . . . 573
უდიდესი სიმტკიცის კოჭი 574
ნიუტონ-ლაიბნიცის ფორმულა 575
სინუსისა და კოსინუსის წარმოებულები . . . 576
მაჩვენებლიანი ფუნქციის წარმოებული 577
რადიოაქტიური დაშლა 578
მაჩვენებლიანი ფუნქცია ბუნებასა და ტექნიკაში . 579
ლევერიესა და ადამსის მიერ ახალი პლანეტის აღმოჩენა 579
ჰარმონიული რხევების განტოლება 580
მოდელირება 581

სიმრავლე და ოპერაციები

სიმრავლის ცნება — პ. ალექსანდროვი (თარგმ. ი. მეცხვარიშვილისა) 582
სასრული და უსასრულო სიმრავლეები 582
ურთიერთცალსახა შესაბამისობა ორ სიმრავლეს შორის 584
თვლადი სიმრავლეები 586
ყველა რაციონალური რიცხვის სიმრავლე თვლადია . 587
ყველა ნამდვილი რიცხვის სიმრავლე არათვლადია . 588
სიმრავლის სიმძლავრე 590
სიმრავლეთა ალგებრა და ლოგიკის ალგებრა — ი. იაგლომი (თარგმ. გ. კიკილაშვილისა) 592
რიცხვთა ალგებრა 592
სიმრავლეთა ალგებრა 593
„ნული“ და „ერთეული“ 596
საკვირველი ალგებრა 597
სიმრავლის დამატება. ანალოგია სიმრავლეთა შეკრებასა და გამრავლებას შორის 600
სიმრავლის მოცემულობის ორი ხერხი. სიმრავლეები და გამოთქმები 602
სიმრავლეთა ალგებრა და გამოთქმათა ალგებრა . . 602

უარყოფა. შედეგების დამოკიდებულება . . . 604
აზრის კანონები . . . 605
დასკვნის წესები . . . 606

ვექტორთა ალგებრა — ა. ლ ო პ შ ი ც ი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . . 607
მიმართული მონაკვეთების არითმეტიკა . . . 607
მიმართული მონაკვეთები — ვექტორები . . . 607
P წერტილში მოდებული ვექტორების შეკრების წესი . . . 608
ტოლქმედი ძალა . . . 610
განსაკუთრებული ვექტორი — ვექტორი ნული . 610
ვექტორთა შეკრების ოპერაციის თვისებები . . 611
მრავალი ვექტორის ჯამი . . . 612
ვექტორთა ალგებრა ეხმარება გეომეტრიას . . . 614
რატომ სწავლობენ ვექტორთა ალგებრას? . . 614
გეომეტრიისათვის მნიშვნელოვანი ალგებრული ფორმულა . . . 614
ამოცანა ორი პარალელოგრამის შესახებ . . 615
რადიუს-ვექტორის ეკონომიური აღნიშვნა . . 616
სამი ამოცანა სამკუთხედის შესახებ . . . 616
ამოცანა ორი ცენტრალური ექვსკუთხედის შესახებ . . . 618
ამოცანა ორი შუა წერტილის შესახებ . . . 618
თქვენ თვითონ ამოხსენით შემდეგი ამოცანები . 619

რას შეისწავლის ალგებრა — ვ. ბ ო ლ ტ ი ა ნ ს კ ი და ნ. ვ ი ლ ე ნ კ ი ნ ი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . . 621
რიცხვები და მოქმედებანი . . . 621
უჩვეულო კონფერენცია . . . 621
ალგებრის საფუძველი . . . 623
ასოების ძალა . . . 624
რგოლები . . . 625
ველები . . . 626
მამრავლებად დაშლა და განტოლებების ამოხსნა . 627
რიცხვების მამრავლებად დაშლა . . . 627
საოცარი დაშლა . . . 627
მრავალწევრთა მამრავლებად დაშლა . . . 628
მრავალწევრთა მამრავლებად დაშლა და განტოლებების ამოხსნა . . . 629
მრავალწევრთა ალგებრის ძირითადი თეორემა . 630
განტოლებების ამოხსნა რადიკალებში . . . 630
ფარგალი და სახაზავი . . . 631
ჯგუფები . . . 633
გეომეტრიული გარდაქმნების გამრავლება . . 633
რა არის ტოლი ნაკვთები . . . 634
გეომეტრიულ გარდაქმნათა ჯგუფები . . . 635
სხვადასხვა გეომეტრიები . . . 636
სიმეტრიის ჯგუფები . . . 636
ამოცანა კუბის შეფერვის შესახებ . . . 637
სიმეტრია ბუნებაში . . . 638
ალგებრულ გარდაქმნათა ჯგუფები . . . 638
ჯგუფთა აბსტრაქტული თეორია . . . 639
დასკვნა . . . 641

მათემატიკა გვასწავლის წინასწარმეტყველებას და მართვას

ელექტრონული გამოთვლითი მანქანები — ი. ს ო კ ო ლ ო ვ ს კ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . . 642
შევქმნათ ელექტრონული არითმომეტრი! . . . 643
ორობითი ნუმერაცია . . . 644
ანგარიშობენ ნათურები . . . 645
გამომთვლელის მოვალეობანი . . . 646
შესაძლებელია თუ არა ასეთი ავტომატი? . . . 647
მანქანის მთავარი ნაწილები . . . 648
მანქანის ინსტრუქცია . . . 650
პროგრამის შესრულება . . . 651
პროგრამა, რომელშიც გარდაქმნებია . . . 652
მანქანის უნივერსალურობა . . . 653
ავტომატური თარგმნა . . . 654

რა არის კიბერნეტიკა? — ვ. გ ლ უ შ კ ო ვ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . . 655
მმართველი სისტემები . . . 655
ინფორმაცია და კოდირება . . . 656
ალგორითმები და ავტომატები . . . 657
ავტომატების თეორია და „გონიერი მანქანები“ . . 658
მანქანის თვითდაოსტატება . . . 661
გონიერი მანქანა ადამიანის ერთგული თანაშემწეა . 661

მეცნიერება შემთხვევითობის შესახებ — ბ. გ ნ ე დ ე ნ კ ო (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 664
ჩვეულებრივი წარმოდგენები . . . 664
შემთხვევით ხდომილობათა მაგალითები . . . 664
რისთვის უნდა შევისწავლოთ შემთხვევითი მოვლენები . . . 666
როგორ აღმოცენდა მეცნიერება შემთხვევითობის შესახებ . . . 667
ალბათობათა შეკრებისა და გამრავლების თეორემები. 669
დამატებითი ისტორიული ცნობები . . . 670
დიდ რიცხვთა კანონი . . . 670
ალბათობათა თეორიის ზოგიერთი თანამედროვე მიმართულება . . . 671

იმედიანობის თეორიის მათემატიკური მეთოდების შესახებ—ბ. გ ნ ე დ ე ნ კ ო (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა). 673
რისთვისაა საჭირო იმედიანობის თეორია . . . 673
მათემატიკა ეხმარება კონსტრუქტორს . . . 674
რეზერვირება და იმედიანობა . . . 676
რეზერვირება ეკონომიური უნდა იყოს . . . 677

თამაშთა თეორია — ე. ვ ე ნ ტ ც ე ლ ი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . . 678
რას სწავლობს თამაშთა თეორია . . . 678
წყვილის თამაში ნულოვანი შედეგით. თამაშის ღირებულება . . . 678
თამაში ნორმალური ფორმით. თამაშის მატრიცა . . 679
სასრული თამაშების მაგალითები. მინიმაქსის პრინციპი . . . 680
უნაგირა წერტილი. თამაშის წმინდა ღირებულება. 682
თამაშის ამოხსნა შერეულ სტრატეგიებში. თამაშთა თეორიის ძირითადი თეორემა . . . 683

გამოჩენილი მათემატიკოსები

არქიმედე — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 685
ომარ ხაიამი — ა. იუშკევიჩი (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 688
ფრანსუა ვიეტი — მ. ჩირიკოვი (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 690
რენე დეკარტე — მ. ჩირიკოვი (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 693
პიერ ფერმა — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 695
ისააკ ნიუტონი — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 698
გოტფრიდ ვილჰელმ ლაიბნიცი — მ. ჩირიკოვი (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 701
ლეონარდ ეილერი — ა. იუშკევიჩი (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 704
კარლ ფრიდრიხ გაუსი — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 707
ნიკოლოზ ლობაჩევსკი — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 709
ევარისტ გალუა — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 712
პაფნუტი ჩებიშევი — ი. ბაშმაკოვა (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 714
სოფიო კოვალევსკაია — მ. ჩირიკოვი (თარგმ. ლ. ცაგარეიშვილისა) . . . 716
გამოჩენილი ქართველი მათემატიკოსები — ვ. ჭელიძე . . . 718
ანდრია რაზმაძე . . . 719
გიორგი ნიკოლაძე . . . 720
ნიკო მუსხელიშვილი . . . 721

საცნობარო განყოფილება

მათემატიკის განვითარების ღირსშესანიშნავ თარიღთა მატიანე — ი. ბაშმაკოვა, ა. იუშკევიჩი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . . 724
მათემატიკის აღმოცენება . . . 724
მათემატიკის მეცნიერებად ჩამოყალიბება. პირველი მათემატიკური თეორიების შექმნა (ძველი საბერძნეთის მათემატიკა) . . . 724
შორეული შუა და ახლო აღმოსავლეთის ქვეყნების მათემატიკა . . . 726
შუა საუკუნეების ევროპისა და აღორძინების ეპოქის მათემატიკა . . . 726
ცვლად სიდიდეთა მათემატიკის პერიოდი (XVII — XVIII სს.) . . . 727
თანამედროვე მათემატიკის პერიოდი (XIX — XX სს.) . . . 727
მათემატიკური ოლიმპიადები — ი. პეტრაკოვი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . . 729
რა წავიკითხოთ მათემატიკაში — ვ. ბიტიუცკოვი (თარგმ. ჯ. ბაქრაძისა) . . . 732
სახელთა და საგანთა საძიებელი — ვ. ბიტიუცკოვი (თარგმ. მ. მეძმარიაშვილისა) . . . 736
მათემატიკური აღნიშვნები . . . 748
პირობითი აღნიშვნები . . . 748

ДЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ Т. II

На грузинском языке

(Перевод с издания Академии педагогических наук РСФСР)

Детюниздат Грузинской ССР «Накадули»
Тбилиси 1965

●

მხატვრული გაფორმება დ. ბისტისა და თ. ზბორსკისა
გარეკანი დ. დუნდუასი და ნ. მალაზონიასი

ილუსტრაციები ტექსტისათვის შეასრულეს: რ. ავოტინმა, თ. ბორისოვმა, ი. დმიტრიევმა, მ. კისელევიჩმა, დ. ლისიჩკინმა, გ. მაკაროვმა, ბ. პოპოვმა, ვ. პავლოვმა, ბ. ჟუტოვსკიმ, ნ. სკალოვმა, დ. სმირნოვმა, გ. სევერდენკომ

ფოტოკორესპონდენტი ვ. ტარასევიჩი

ფერადი რუკები შეადგინეს და შეასრულეს:
ი. ელისოვამ, პ. კოლდაევმა და ე. მარუსოვმა
ფერადი სქემები შეასრულა რ. ავოტინმა

●

გამომცემლობის უფროსი რედაქტორი მ. ჭახრაკია.
გამომცემლობის რედაქტორები: ა. ბრეგაძე,
ლ. გეგელია, ე. ჯიქია

მხატვრული რედაქტორი ჯ. ყავლაშვილი
ტექრედაქტორები: გ. კაკუშაძე, ლ. ქვარცხავა
კორექტორები: მ. ომიაძე, ნ. ჯოლოხავა

●

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 20/VII-65 წ., ქაღალდის ზომა 84 × 108¹/₁₆, ნაბეჭდი თაბახი 47,25, სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 75,77, ტირაჟი 20.000, შეკვ. № 35

ფასი 2 მან 95 კაპ.

●

გამომცემლობა „ნაკადული", თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5
Издательство «Накадули», Тбилиси, ул. Марджанишвили № 5

ფერადი ჩასაკრავები დაიბეჭდა ფაბრიკა № 8-ში
Цветные вклейки отпечатаны на фабрике № 8

ბეჭდვითი სიტყვის კომბინატი, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5
Комбинат печати, Тбилиси, ул. Марджанишвили, № 5.