

შოთა შოშიაშვილი



კოსმიური სამყარო
თეოსოფიური
გადმოსახედიდან
წიგნი I



შოთა შოშიაშვილი

კოსმიური სამყარო თეოსოფიური გადმოსახედიდან

წიგნი I

გამომცემლობა „მერიდიანი“

თ ბ ი ლ ი ს ი, 2012

UDC (უაკ) 2:1+113/119; შ-846

წიგნში განხილულია კოსმიური სამყაროს სტრუქტურულობისა და ევოლუციურობის გლობალური საკითხები როგორც მეცნიერული ისე თეოსოფიური თვალსაზრისით. მასში განხილულია თანამედროვე ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის, ასტროფიზიკის, კოსმოლოგიის, დროის, სივრცის, მატერიის, ინფორმაციის, სუბსტანციისა და რელიგიის საკითხები.

წიგნი შედგება 11 ურთიერთ დამოუკიდებელი, თუმცა თემატურად ერთმანეთთან დაკავშირებული ნაწილები-საგან. მკითხველისაგან არ მოითხოვება განსაკუთრებული მომზება საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. ამოცანები დასმული და განხილულია შედარებით მარტივ, არასპეციალ-ლისტებისათვის მისაწვდომ, ენაზე. წიგნი განკუთვნილია ფიზიკის, კოსმოლოგიის, თანამედროვე მეცნიერებისა და რელიგიის ურთიერთმიმართების საკითხებით დაინტერესებულ მკითხველთა ფართო წრისა-ვის. ის განსაკუთრებულ ინტერესს უნდა წარმოადგენდეს ფიზიკის ფაკულტეტის სტუდენტების, ასპირანტებისა და მასწავლებლებისათვის.

წიგნი გამოიცა ორ ნაწილად: წიგნი I და წიგნი II.

წიგნი I-ში განხილულია ფიზიკისა და კოსმოლოგიის საკითხები ოფიციალური მეცნიერების თვალსაზრისით. ამიტომ ის უფრო საინტერესო იქნება შესაბამისი საკითხებით დაინტერესებული მკითხველისათვის.

წიგნი II ეძღვნება კოსმიური სამყაროს თეოსოფიურ განხილვას, ამიტომ ის უფრო საინტერესოა მეცნიერებისა და რელიგიის ურთიერთმიმართებისა და თეოსოფიური საკითხებით დაინტერესებული მკითხველისათვის.

© გამომცემლობა „მერიდიანი“, 2012;

© შოთა შოშიაშვილი;

ISBN 978-9941-10-567-8

კუძღვნი ზაზა შოშიაშვილის
ნათელ ხსოვნას

წინასიტყვაობა

წინამდებარე წიგნში შევეცადე, როგორც მეცნიერული ისე თეოლოგიური თვალსაზრისით გამერკვია, თუ რას წარმოადგენს ადამიანის ფენომენი და რაში მდგომარეობს მისი ფუნქცია-დანიშნულება. ამისთვის მომიხდა მთელი კოსმიური სამყაროს შესწავლა როგორც მეცნიერული ისე რელიგიურ-მისტიკური თვალსაზრისით. კოსმიურ სამყაროში მე ვგულისხმობ როგორც დროსა და სივრცეში შემოსაზღვრულ მის იმ ნაწილს, რომელიც მეცნიერულად შემეცნების საგნადაა მიჩნეული, ისე იმ მარადიულ და უსასრულო ნაწილსაც, რომელიც არ ექვემდებარება მეცნიერულ შესწავლას და მეტაფიზიკისა და ეზოთერულ-მისტიკური აზროვნების საგანს წარმოადგენს. ამ მიზნის განხორციელებისათვის შესაძლებლობის ფარგლებში გავეცანი სხვადასხვა სახის მეცნიერულ, ფილოსოფიურ, ოკულტისტურ, ეზოთერულ და რელიგიურ ლიტერატურას. მინერალური სამყაროს, სიცოცხლისა და სრულიად კოსმიური სამყაროს შესახებ მიღებულ ინფორმაციათა ლოგიკური ურთიერთმეჯერების საფუძველზე ჩამომიყალიბდა გარკვეული მსოფლმხედველობა ზემოხსენებულ ურთულეს საკითხებზე. 20 წლის განუწყვეტელი მუშაობის შედეგები ჩემს მიერ გამოქვეყნებულ იქნა შრომებში, როგორც სტატიების სახით, ისე წიგნის სახით 2008 წელს – „სამყარო მეცნიერება რელიგია.“ ბოლო 4 წლის განმავლობაში გაცნობილ ახალ შესაბამის მასალას, ახლებური გააზრებით ვაქვეყნებ წინამდებარე წიგნების სახით. წიგნში I ვეცადე პასუხი გამეცა კითხვაზე თუ როგორაა მოწყობილი კოსმიური სამყარო, ხოლო წიგნში II – თუ რატომაა ის ასე მოწყობილი.

დიდ მადლობას ვუცხადებ ფიზიკა-მათემატიკურ მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს პროფესორ ირაკლი მაჩაბელს ხელნაწერის წაკითხვისა და მნიშვნელოვანი შენიშვნებისათვის.

მადლობას ვუცხადებ თსუ-ს საბუნებისმეტყველო ფაკულტეტის მეცნიერ თანამშრომელს ფიზიკა-მათემატიკურ მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს ლევან შოშიაშვილს კომპიუტერული უზრუნველყოფისათვის.

ავტორი

30 მაისი, 2012 წელი

*„პირველი ყლუბი ბუნებისმეტყველების ფიალიდან
ათეიზმს ბადებს,
მაგრამ სასმისის ფსკერზე ჩვენ გვიცდის ღმერთი“.*
ვერნერ ჰაიზენბერგი

შესავალი

ადამიანი კოსმოსური სამყაროს გვირგვინია და იგი მისი ევოლუციური განვითარების საბოლოო ნაყოფს წარმოადგენს. მისი ერთ-ერთი მთავარი თვისება გადარჩენისაკენ სწრაფვაში მდგომარეობს, მაგრამ ეს თვისება ნებისმიერ ცოცხალ არსებასაც ახასიათებს. ცხოველისგან ადამიანის განმასხვავებელ ნიშანს, ფიზიკური თვალსაზრისით, თავის ტვინის მოაზროვნე ნაწილი წარმოადგენს, რომლის ძირითადი ფუნქცია მიზანდასახული აზრის გამომუშავებაში მდგომარეობს. მაგრამ, გარდა ამისა, ის გამოირჩევა დაუოკებელი სწრაფვით იდუმალების, მშვენიერების, ჭეშმარიტებისა და სიკეთისაკენ, რაც ზოგადად მის სულიერებაში მჟღავნდება.

მეორე მხრივ, მეცნიერულად დადგენილად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გრძნობად კოსმოსურ სამყაროში არსებული ყოველი საგანი (მინერალური თუ ცოცხალი) წარმოიქმნება, ვითარდება, ხოლო გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ კვდება და იშლება. დიალექტიკური მატერიალიზმის თვალსაზრისით, მატერია წარმოადგენს ობიექტურად არსებულ რეალობას, რომელიც შეგრძნებაში გვეძლევა. ამ განმარტებაში იგულისხმება ორი რამ:

1. ადამიანი, როგორც დამკვირვებელი;

2. კოსმოსური სამყარო, ანუ დამკვირვებლის მიღმა ობიექტურად არსებული რეალობა საგნებისა და მოვლენების სახით.

გარე სამყაროს შესაცნობად, ადამიანს, როგორც დამკვირვებელს, გააჩნია სენსორული გრძნობის ორგანოები: თვალის (ხედვა), ყურის (სმენა), ენის (გემო), ცხვირისა (ყნოსვა) და კანის (სითბოს, სირბილის შეგრძნება) სახით. სენსორული გრძნობის ორგანოების გაგრძელებად შეიძლება მივიჩნიოთ

ადამიანის მიერ შექმნილი დაკვირვების ხელსაწყო-დანადგარები.

დამკვირვებლის მიღმა ობიექტურად არსებული საგნები და მოვლენები აღიქმებიან ზემოხსენებული სენსორული გრძნობის ორგანოებით. მაგრამ საგნებსა და მოვლენებს ახასიათებთ ისეთი თვისებებიც, რომლებიც ვერ აღიქმებიან სენსორული ორგანოების საშუალებით. ასეთ თვისებებსა და ისეთ ფენომენებს, როგორცაა: სილამაზე, მშვენიერება, ჰარმონია, სიკეთე, სულიერება და სხვა, ადამიანი აღიქვამს ინტუიციის მეშვეობით. ინტუიციური გრძნობის ორგანოებად შეიძლება მივიჩნიოთ თავის ტვინი („გონის თვალი“) და გული („გულისყური“).

ცნობილია, რომ, როგორც წესი, ნებისმიერ ადამიან-შემოქმედს ჯერ იდეა (აზრი) მოსდის თავში ამა თუ იმ საგნის შექმნის თაობაზე, შემდეგ გონებაში ახდენს მის გადანყვეტას გარკვეული ფორმით, ბოლოს ირჩევს საჭირო მასალას და აძლევს მას იდეის შესაფერის ფორმას. ამიტომ ნებისმიერი შექმნილი საგანი შედგება იდეის (გონინფორმაციის), მასალისა და მათი შეერთებით მიღებული კონკრეტული ფორმისაგან. ამ შემთხვევაში ნებისმიერი საღად მოაზროვნე ადამიანისათვის ცხადია, რომ პირველადია იდეა, ხოლო მეორეული – მასალა, რომელთა შეერთებით მიიღება მესამე – გარკვეული ფორმისა და დანიშნულების მქონე საგანი. ე.ი. ნებისმიერი შექმნილი საგანი სამების ერთობას წარმოადგენს. თუმცა, თუ შევეცდებით, რომ ანალოგიური მიდგომით განვიხილოთ ნებისმიერი ბუნებრივი საგანი, ან თუნდაც მთელი აღქმადი სამყარო, საზოგადოებრივი (მოაზროვნეთა) შეხედულება იყოფა ორ ურთიერთსაპირისპირო მოსაზრებად:

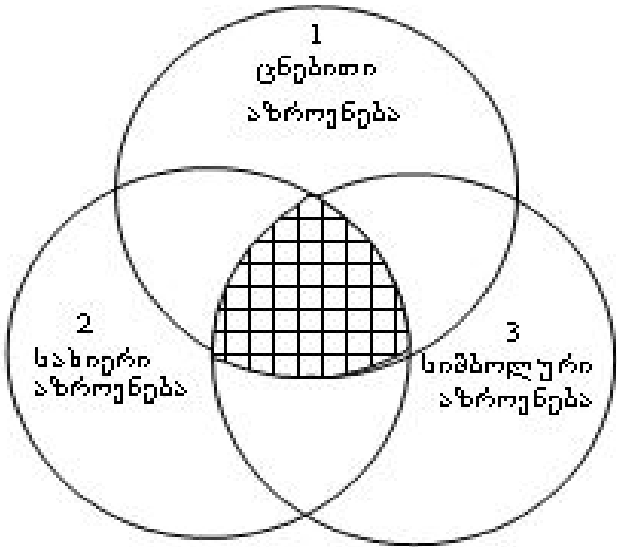
ყველასთვის ცხადია, რომ ბევრი ბუნებრივი საგანი (მცენარე, ცხოველი და მით უმეტეს, ადამიანი) და თვით კოსმოსური სამყარო გაცილებით უნიკალური, დახვეწილი, ჰარმონიული და მშვენიერია, ვიდრე ნებისმიერი ადამიანისმიერი ქმნილება. ამიტომ ერთნი ფიქრობენ, რომ სამყარო შექმნილია გარკვეული მიზნით მოაზროვნე უმაღლესი შემოქმედის მიერ.

ე.ი. პირველადია იდეა, ხოლო მეორადი – მატერია. ამგვარად მოაზროვნეებს იდეალიტებს უწოდებენ. მეორენი უარყოფენ ყოველგვარი შემოქმედის არსებობას და მიიჩნევენ, რომ ყველაფერი წარმოიქმნა შემთხვევით, წინასწარი მიზნის გარეშე, შეუქმნადი და მარად არსებული უსასრულო მატერიისაგან. მათი აზრით, არსებული აღქმადი მატერიის უსაზღვრო და მრავალფეროვანი თვისებებიდან გამომდინარე, ბუნებრივი საგნები წარმოიქმნა თანდათანობით, ევოლუციური გზით, შედარებით მარტივი ფორმებიდან რთული ფორმების წარმოშობით. მათთვის, ცხადია, პირველადია მატერია, ხოლო საგნების თვისებები და ფუნქციონირება (იდეა) – მეორეული. ამგვარად მოაზროვნეებს მატერიალსტ-ევოლუციონისტებს უწოდებენ [46].

როგორც ავლნიშნეთ, „კოსმიურ იდუმალებაში“ დამარბული ჭეშმარიტების შემეცნება შესაძლებელია აზროვნების სამი ფორმით: ცნებითი, ხატოვანი და სიმბოლური. ძველი აღმოსავლეთის მოაზროვნეები, ეგვიპტელი ქურუმები, ძველი ბერძენი და ქართველი სიბრძნისმეტყველები ერთდროულად ფლობდნენ აზროვნების სამივე ფორმას. ცნებითი აზროვნებით ისინი ერკვეოდნენ მეცნიერებასა და ფილოსოფიაში, ხატოვანი აზროვნებით – ხელოვნების საკითხებში, პოეზიასა და მწერლობაში, ხოლო მისტიკური აზროვნებით არკვევდნენ „უჩინარი“ სამყაროს იდუმალ თვისებებსა და რელიგიურ საკითხებს. ამიტომ იმდროინდელი სიბრძნისმეტყველები ერთდროულად იყვნენ მეცნიერებიც, ხელოვნებათმცოდნეებიცა და თეოლოგებიც.

მეცნიერებას, ფილოსოფიასა და რელიგიას შორის წყვეტა მოხდა შემდგომში, როცა სიბრძნისმეტყველებმა ირწმუნეს უმაღლესი ღმერთისეული პრინციპის არსებობა, რომელიც დგას ღმერთებისა და ხალხების მიღმა. ეს პრინციპი თავიდან გაიგივებული იყო ერთიან სამყაროსთან, ხოლო შემდეგ მოაზროვნე პერსონიციურებულ ღმერთთან, რომელიც დგას სამყაროს მიღმა და მართავს მას. ასე წარმოიქმნა ის მიმართულება ფილოსოფიაში, რომელმაც, ბოლოს და ბოლოს,

გამოყო მატერია სულისაგან და წარმოშვა დუალიზმი, რომელიც ასე ახასიათებს დასავლეთის ფილოსოფიას. ამ მიმართულებით პირველი გადამწყვეტი ნაბიჯი გადადგა პარმენიდემ. მისი შეხედულებები აბსოლიტურად განსხვავდებოდა ჰერაკლიტეს შეხედულებებისაგან, რომლის აზრით, ყოველგვარი ცვლილება ილუზიას წარმოადგენს და ადამიანის შეგრძნების შედეგია.



ნახ. 1 ამრიგად, სიბრძნისმეტ, პროთა განმავლობაში, ურთიერთგამოყოფის გზით, დაიშალა სამ ძირითად მიმართულებად: მეცნიერებად, ხელოვნებად და რელიგიად. ამჟამად სახეზე გვაქვს ზუსტ და არაზუსტ მეცნიერებათა მრავალი დარგი, ხელოვნებისა და მწერლობის მრავალი მიმართულება და რელიგიების მრავალფეროვნება. მეცნიერების მთავარი დანიშნულება საგნებისა და კოსმოსური სამყაროს სტრუქტურულულობისა და ევოლუციურობის კანონზომიერებების შემეც-

ნებაში მდგომარეობს; ხელოვნებისა – ადამიანის გრძნობად-ემოციური მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებაში; რელიგიისა – ადამიანის, კაცობრიობისა და სამყაროს ფუნქციური დანიშ-ნულების დადგენაში.

ჩემი აზრით, აზროვნების ზემოხსენებული სამივე ფორმა წარმოადგენს სამყაროს შემეცნების წყაროს და თითოეულის საშუალებით დაგროვილი ინფორმაცია ფლობს აბსოლუტური ქვემარტივების გარკვეულ ნაწილს. მას შეესაბამება დაშტრი-ხული ნაწილი ნახ. 1-ზე.

მე დიდ ხანს ვიფიქრე თუ რა მენოდებინა აზრვნების ამ სამივე ფორმით მიღებული ერთიანი ცოდნისათვის.

აღმოჩნდა, ამ ცოდნას შეიძლება **თეოსოფია** ეწოდოს. იგი მოიცავს ადამიანის ცნებითი-რაციონალური, ხატოვან-ინტუიციური და სიმბოლურ-მისტიკური აზროვნებით მიღებულ ცოდნათა ერთობაზე დაფუძნებულ უზოგადეს საკაცობრიო ცოდნას. თეოსოფია წარმოადგენს ღმერთისეული უქვემარტივესი ცოდნის ნაწილს, რომელიც შეიმეცნა კაცობრიობამ თავისი ევოლუციური განვითარების აღებულ დონეზე. მის მიზანს წარმოადგენს კოსმიური სამყაროს, როგორც ერთიანი მთელის ყოველმხრივი შესწავლა.

ოფიციალური მეცნიერების მიხედვით **კოსმოსურ სამყა-როდ** მიჩნეულია ჩვენი 3-განზომილებიანი აღქმადი სამყარო, რომელიც მოიცავს დედამიწას, მზის სისტემას, ვარსკვლავებს, გალაქტიკებს, და მათ გროვებსა და ზეგროვებს. როგორც მტკიცდება, კოსმოსური სამყარო შემოსაზღვრულია დროსა და სივრცეში. იგი წარმოადგენს ოფიციალური მეცნიერების (ფიზიკის, ასტროფიზიკისა და კოსმოლოგიის) შესწავლის საგანს. იგი, ამჟამინდელი კოსმოლოგიის თანახმად, წარმოიქმნა 14 მილიარდი წლის წინ, უმცირესი ზომის ბუმტულაკის სახით.

ხოლო **„კოსმიური სამყაროს“** ცნებაში მე ვგულისხმობ როგორც მეცნიერულად დაკვირვებად კოსმოსურ სამყაროს, ისე მის მიღმა არსებულ უჩინარ, მარადიულ და უსასრულო სამყაროს. კოსმოსური სამყარო წარმოადგენს 11

განზომილებიანი მარადიული სამყაროს 3-განზომილებიან პროექციას.

ეს წიგნი თავდაპირველად მსურდა გამომეშვა სახელწოდებით „ცოდნა და რწმენა“, მაგრამ შემდეგ გადავიფიქრე და მას ვუწოდე „კოსმიური სამყარო თეოსოფიური გადმოსახედოდან“.

გამოჩენილი ფიზიკოსის **ერვინ შრედინგერის** აზრით: „ჩვენ, ადამიანებმა, შთამომავლობით მივიღეთ დაუოკებელი სწრაფვა ვრცელი, ყოვლისმომცველი ცოდნისადმი, რომელიც, ყოველ შემთხვევაში, ბუნებისმეტყველებაში გადასწვდა ბუნების საიდუმლოების ყველა სფეროს. ამავე დროს, საგნის ღრმა ცოდნა ითხოვს ვინრო სპეციალიზაციას. შეუძლებელი ხდება, რომ ადამიანი ერთდროულად კარგად დაეუფლოს რამდენიმე საკმაოდ განსხვავებულ სპეციალობას. ასე წარმოიქმნება წინააღმდეგობა ადამიანის მისწრაფებასა და მის შესაძლებლობებს შორის. აქ სხვა გამოსავალი არ არის, თუ არა ის, რომ რომელიმე ჩვენგანმა მაინც გადადგას სარისკო ნაბიჯი: სცადოს, გაეცნოს და გააერთიანოს ფაქტები, მოვლენები ცოდნის იმ სხვადასხვა სფეროდანაც, სადაც ჩვენ არა ვართ პროფესიონალები, რის გამოც ჩვენი ცოდნა არასრულია და შეიძლება უვიცად მოჩვენების საფრთხეში აღმოვჩნდეთ“ [128;11].

თუ კადნიერებაში არ ჩამომართმევთ, მიუხედავად იმისა, რომ შრედინგერს ვერაფრით შევედრები, მაინც ვეცადე, გადამეგა სარისკო ნაბიჯი: ჩავთვალე, რომ საჭიროა კოსმოსური სამყაროს შესახებ ცნებითი, სახიერი და მისტიკური აზროვნებით დაგროვილ ცოდნათა ურთიერთშეჯერება და მათი ურთიერთგადაკვეთის არეალის, ანუ ცოდნის იმ ნაწილის (თეოსოფიური ცოდნის) მონახვა, რომლის ჭეშმარიტებაშიც ეჭვი არც ერთ მხარეს არ ეპარება. ხოლო შემდეგ, შესაძლებლობის ფარგლებში, ლოგიკური ექსტრაპოლაციის, კვლევის მეთოდებისა და კვლევის საგნის არეალის გაფართოებით, მოინახოს საპირისპირო თვალსაზრისების ურთიერთდაახლოების საშუალება. ის, თუ რამდენად სწორად

მოვიქეცი, მკითხველმა განსაჯოს. კოსმოსური სამყაროსა და მასში არსებული საგნების წარმოშობის, სტრუქტურულობის, უნიკალურობისა და ევოლუციური განვითარების შესახებ კაცობრიობის მიერ დაგროვილი მეცნიერულ და ეზოთერულ ცოდნათა (შესაძლებლობის ფარგლებში) ურთიერთშეჯერებისა და ლოგიკური ანალიზის საფუძველზე მიველი გარკვეულ დასკვნამდე.

თეოსოფიური გადმოსახედიდან კოსმიური სამყარო წარმოგვიდგება როგორც ერთიანი, მთლიანი, თვითკმარი, თვითგანვითარებადი, გონიერი და სულიერი არსება. **თეოსოფიური მოსაზრებით** სავსებით მისაღებია, რომ ადგილი ჰქონდეს შემდეგ უზოგადეს კოსმიურ პრინციპს:

11-განზომილებიანი კოსმიური სამყარო ფართო გაგებით, მატერიის ხილულ და უხილავ ფორმათა ჩათვლით, უსასრულოა სივრცე-დროის თვალსაზრისით, წარმოადგენს თვითრეგულირებად და ევოლუციურად თვითგანვითარებად, ცოცხალ, გონიერ და სულიერ ორგანიზმს.

ამ წიგნში მკითხველს ვთავაზობ იმ გზას, რომლითაც მივედი ზემოხსენებულ დასკვნამდე.

ნანილი I

მეცნიერული წარმოდგენები სამყაროს შესახებ

თავი 1 მეცნიერების შესახებ შესავალი

მეცნიერება არის ჩვენი დაკვირვებით მოპოვებული და აზროვნებით მიღწეული ცოდნათა სისტემა სინამდვილის მოვლენათა შესახებ. რაც იმას ნიშნავს, რომ მეცნიერება ერთი მხრივ წარმოადგენს არა ცოდნათა შემთხვევით კრებულს, არამედ მათ მწყობრ, ბუნების კანონებით მოწერიგებულად შეხამებულ სისტემას. ხოლო, მეორე მხრივ, მეცნიერება ასახავს სინამდვილის მოვლენათა შესახებ არა სრულყოფილ (ჭეშმარიტ) ცოდნას, არამედ მხოლოდ იმას რასაც მეცნიერებამ დღემდე მიაღწია და მოიპოვა. მეცნიერების მიერ დადგენილ და სტატისტიკურ შინაარსს შეადგენს სინამდვილის შესახებ დასაბუთებულ, დამტკიცებულ, საყოველთაოდ აღიარებულ და მიღებულ აზრებს, მსჯელობებსა და დასკვნებს, რომლებიც გამართლებულია ლოგიკურადაც და ემპირიულადაც. მეცნიერებისათვის სინამდვილის მოვლენებად მიიჩნევა ის რაც აშკარაა ადამიანის ხუთი სენსორული შემეცნებადი ორგანოთი და მათი შემაიარალებელი ყოველმხრივი ტექნიკური ძალისხმევით – მიკროსკოპების, ტელესკოპებისა და მრავალნაირი სამეცნიერო ინსტრუმენტების სახით.

სამყაროს შესახებ ჯერ კიდევ ძველმა ბერძნებმა შეიმუშავეს გარკვეული მეცნიერული წარმოდგენები, რომლებიც სისტემატიზირებულ იქნა არისტოტელეს მიერ. მან შექმნა სამყაროს მოდელი, რომელიც გამოიყენებოდა ევროპელი მეცნიერების მიერ ოცი საუკუნის განმავლობაში. თუმცა თვით არისტოტელე თვლიდა, რომ ადამიანის სულისა და ღმერთის ჭვრეტა უფრო მნიშვნელოვანია ვიდრე მატერიის შესწავლა. სწორედ მატერიალური სამყაროსადმი არასაკმარისმა ინტერესმა და ქრიტიანობის ურღვევმა ბატონობამ განაპირობა ის ფაქტი, რომ სამყაროს არისტოტელესეული მოდელი დიდ ხანს არ გამხდარა სადაოდ [84;7].

დასავლეთში მეცნიერების განვითარება განახლდა ალორძინების ეპოქაში, როცა არისტოტელესა და ეკლესიის გავლენა შესუსტდა და ხელახლა გაჩნდა ინტერესი ბუნების მიმართ.

XV საუკუნის დასასრულს პირველად დაიწყო ბუნების ჭეშმარიტად მეცნიერული შესწავლა ექსპერიმენტების გამოყენებით. პარალელურად გაიზარდა ინტერესი მათემატიკისადმი, რამაც გამოიწვია ექსპერიმენტზე დაფუძნებული მეცნიერული თეორიის ფორმულირება მათემატიკური ენით. თანამედროვე მეცნიერების მამად გალილეი ითვლება, რომელმაც პირველად გააერთიანა ექსპერიმენტი და მათემატიკა[84;8].

შეიძლება ითქვას, რომ კაცბრიობის ინტელექტუალური განვითარების ისტორიაში მე-20 საუკუნემდე ადგილი ჰქონდა სამ რევოლუციას:

პირველი რევოლუცია მოხდა ძველ საბერძნეთში როცა შემოვიდა ევკლიდური სივრცის ცნობიერება და დაიწყო მყარი სხეულების სტატიკური კონფიგურაციების შესწავლა. ეს იყო მათემატიკური წარმოდგენების გამოყენების დასაწყისი ბუნების შემეცნებაში. **მეორე** რევოლუციად შეიძლება ჩაითვალოს მე-17 საუკუნე, როცა სხეულთა სისტემის მოძრაობის დასახასიათებლად გალილეიმ და ნიუტომმა შემიტანეს ნაწილაკებს შორის ურთერთქმედების ძალები. **მესამე** რევოლუცია მოგვცა მე-19 საუკუნემ, როცა ფარადეიმ და მაქსველმა აჩვენეს, რომ ნაწილაკების გარდა უნდა განვიხილოთ ელექტრული და მაგნიტური ველების (უწყვეტი გარემოს) ცნებაც. ეს ველები ერთიანდებიან ცალკე აღებულ სუბსტანციად – ელექტრომაგნიტურ ველად და რომ სინათლე არის მისი რხევების გავრცელება [58;30].

ყველას უყვარს სათავგადასავლო მოთხრობები და ისტორიები. ერთ-ერთი ყველაზე ამაღლებული სათავგადასავლო ისტორია ვითარდება ფუნდამენტური ფიზიკის იდუმალ სამყაროში. მისი მოქმედი პირები არიან სწავლულები, რომელთა მიზანს, არც მეტი არც ნაკლები, სამყაროს გასაღების ძებნა წარმოადგენს.

მეცნიერებს არ გააჩნიათ იმაზე უფრო საინტერესო ამოცანა, ვიდრე ახსნა იმისა თუ როგორ წარმოქმნა სამყარო და რატომაა ის ასე გასაოცრად უნიკალურად და ჰარმონიულად (და არა სხვანაირად) მოწყობილი.

ამ ბოლო წლებში, კაცობრიობის ისტორიაში პირველად, ამ პრობლემის მეცნიერულ გადაწყვეტაში მიღწეულია გარკვეული უმნიშვნელოვანესი შედეგები. ფაქტიურად მიღებულია ჭკვიანური და თითქმის ყოვლისმომცველი მეცნიერული თეორია, რომელიც ღრმა კვალს დატოვებს კაცობრიობის წარმოდგენაში სამყაროსა და მასში ადამიანის ადგილის შესახებ.

1. ლუი დე ბროილი მეცნიერების შესახებ

გამოჩენილი ფრანგი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი ნობელის პრემიის ლაურიატი **ლუი დე ბროილი** (1892-1987) თავის წიგნში „მეცნიერების ბილიკებით“ განიხილავს მეცნიერების აქტუალურ პრობლემებს.



ლურ პრობლემებს. დე ბროილის მიხედვით, საბუნებისმეტყველო მეცნიერების პროგრესულ განვითარებაში მის განუყოფელ ნაწილს შეადგენს ექსპერიმენტი. მეცნიერება ყოველთვის ამოდის ექსპერიმენტიდან და უბრუნდება ექსპერიმენტს, რადგანაც ის არის ცოდნის წყარო რეალური ფაქტების შესახებ, რაც მალლა დგას ნებისმიერ თეორიულ კონცეფციაზე და იდეაზე. ხოლო თეორიის ამოცანას წარმოადგენს მიღებული შედეგების კლასიფი-

კაცია და სინთეზი; მათი გონივრული სისტემატიზირება და იყენებს რა უკვე ცნობილ ფაქტებს, ცდილობს ახლის წინასწარ-მეტყველებასაც [93;162].

როცა ფიზიკური თეორია მოიპოვებს ცნობილი მოვლენების აღმწერი სიდიდეების დამაკავშირებელ მათემატიკურ

წარმოდგენებს, ის ცდილობს ახალი მოვლენების წინასწარმეტყველებასაც. ხანდახან ეს წინასწარმეტყველება დასტურდება შემდგომი ექსპერიმენტული გამოკვლევებით, რითაც თეორია ხდება უფრო წარმატებული [93;163].

ფიზიკური თეორია, ცნობილი მოვლენების მათემატიკური წარმოდგენების მეშვეობით, მიისწრაფის ახალი მოვლენების წინასწარმეტყველებისაკენ. ზოგჯერ ის წინასწარმეტყველებები საბუთდება შემდგომი ექსპერიმენტული გამოკვლევებით. ასეთი გამოცდის შედეგად თეორია უფრო მყარდება.

ადამიანის გონება იმ მეთოდების შემუშავებისას, რომელთა გამოყენებით აგებს მეცნიერულ თეორიებს, მიმართავს 2 სავსებით სხვადასხვა გზას – დედუქციურ და ინდუქციურ მსჯელობას.

დედუქციური მსჯელობა გამოდის აპრიორული წარმოდგენებიდან და პოსტულატებიდან და ცდილობს მათგან მიიღოს გონებას დაქვემდებარებული ლოგიკური დასკვნები. შემდეგ ეს დასკვნები შეიძლება შეუსაბამოთ ფაქტებს. დედუქციის განკარგულებაშია ზუსტი ინსტრუმენტი – მათემატიკური ენის სახით, რომლის მეშვეობით მეცნიერი ახდენს გადასვლას დაშვებებიდან შედეგებზე. დედუქციური მსჯელობის გამოყენებით მეცნიერი თავის განტოლებებს გარდაქმნის საბოლოო სახის ისეთ ურთიერთდამოკიდებულ შედეგებად, რომელთა სამართლიანობის შემოწმებაც შესაძლებელია პრაქტიკულად, ცდების მეშვეობით [93;177].

დე ბროილის მიხედვით, დედუქცია, თავისი სიმკაცრისა და გასაგებადობის გამო, ერთი შეხედვით, წარმოადგენს მეცნიერული პროგრესის ძირიად ინსტრუმენტს, მაგრამ სინამდვილეში ასე არაა. მეცნიერების განვითარების დედუქციური მეთოდი სწორედ თავისი სიმკაცრის გამო ვერასდეს ვერ გამოვა იმ ჩარჩოებიდან, რომელშიც ის თავიდანვეა მოქცეული, მას არ შეუძლია მოგვცეს არაფერი ახალი მნიშვნელოვანი, რაც მეცნიერების შედგომ განვითარებას ნაადგება [93;178].

საბოლოოდ ჩამოყალიბებული აბსოლუტურად ჭეშმარიტი, ყოვლისმომცველი და სრული მეცნიერებისათვის (რომლის ძირითადი პრინციპები განსაზღვრული და უცვლელი იქნებოდა) დედუქცია იქნებოდა ერთადერთ მისაღები მეთოდი. მარამ

არასრულ, ჯერ კიდევ საბოლოოდ ჩამოუყალიბებელ და განუვითარებელ მეცნიერებაში, დედუქციური მეთოდი შეიძლება ემსახუროს მხოლოდ არსებულის შემონახვას, მის გამოყენებასა და არა ნამდვილად ახალი თავების გახსნას მასში.

მკაცრი დედუქციის ძალა იმაში მდგომარეობეს, რომ მას შეუძლია იაროს თითქმის აბსოლუტურად თავდაჯერებულად და ზუსტად სწორი გზით, მაგრამ მისი სისუსტე მდგომარეობს იმაში, რომ პოსტულატების (პარადიგმების) ერთობლიობიდან, რომელთაც ის ეფუძნება როგორც უეჭველს, მას შეუძლია ამოიღოს მხოლოდ ის, რასაც იგი, უკვე, შეიცავს.

მარტო დედუქციური აზროვნებით მეცნიერება შეიძლება განვითარდეს მხოლოდ წრენირის სახით.

დე ბროილის მიხედვით, ცოდნის ახალი ჰორიზონტის მიღწევა შესაძლებელია მხოლოდ **ინდუქციური** აზროვნებით. ინდუქციური მსჯელობა გაცილებით რთულია განმარტებისა და ანალიზის თალსაზრით. ის ეყრდნობა რა ანალიზსა და ინტუიციას, მიხვედრილობის უნარის მქონე ჭკუის გამოყენებით, ცდილობს გამოიცნოს ისეთი რამ, რაც ჯერ არაა ცნონილი, ისე, რომ დაადგინოს ისეთი ახალი პრინციპები (პარადიგმები), რომლებიც შემდგომ საფუძვლად დაედება ახალ დედუქციას. აქედან ჩანს, რომ თუ რამდენადაა ინდუქციური მსჯელობა რისკიანი და გაბედული, ვიდრე დედუქციური აზროვნება. დედუქცია – უსაფრთხოებაა, ხოლო ინდუქცია – რისკია, მაგრამ რისკი აუცილებელი პირობაა ნებისმიერი განვითარებისათვის. ამიტომ ინდუქცია, რადგანაც იგი ცდილობს უშიშრად გააფართოოს ცნობიერების უკვე არსებული საზღვრები, არის მეცნიერული პროგრესის ჭეშმარიტი წყარო [93;178].

მართლაც, დიდი აღმოჩენები, მეცნიერული აზრის ნახტომები იქმნებიან ინტუიციით, რისკიანი მაგრამ ჭეშმარიტად შემოქმედობითი მეთოდით. მეცნიერებაში ახალი ერა ყოველთვის იწყება იმ პოსტულატებისა და წარმოდგენების ცვლილებით, რომლებიც ადრე წარმოადგენდნენ დედუქციური აზროვნების საფუძვლებს [93;178].

ინდუქციური აზროვნება მეცნიერებას ანვითარებს მზარდი სპირალის სახით.

დე ბროილის მიხედვით, მეცნიერების ისტორიის გაკვეთილები გვიჩვენებენ, რომ თეორიულ ფიზიკაში დიდი აღმოჩენები ყოველთვის ხდება შემდეგნაირად: დიდი მეცნიერი, რომელიც გულმოდგინედ მუშაობს მისთვის საჭიროდ მისაღებ პრობლემაზე, ერთბაშად იწყებს იდეალებით უაღრესად დაფარული ფიზიკური რეალობის მხარეების ძვრეტას. ასეთი სახის ძვრეტის აქტი ღრმად ინდივიდუალური ხასიათისაა [93;123].

მართალია ექსპერიმენტში მომუშავე კოლექტივის მუშაობა ვინმეს ხალმძღვანელობით მეტად მნიშვნელოვანია თანამედროვე მეცნიერებისათვის, მაგრამ არასაკმარისია. წარმატების მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს მეცნიერული კოლექტივის ხელმძღვანელის, როგორც მკვლევარის, ინდივიდუალური ინიციატივა და ინტუიცია. მაგრამ თეორიულ კვლევაში უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს მეცნიერის ინდივიდუალური, ხანდახან განმარტოებული, და გაბედული ძალისხმევა. უდიდესი აღმოჩენები განხორციელებულ იქნა სწორედ განმარტოებულ მდგომარეობაში მყოფი გამბედავი გონებების მიერ [93;223].

ლუი დე ბროილი დიდ როლს ანიჭებდა წარმოსახვასა და ინტუიციას, რომელსაც არავითარი კავშირი არა აქვს ლოგიკასთან. მისი აზრით, ინტუიცია მოულოდნელად, რაღაც შინაგანი თვალთ, გვინათებს ჭეშმარიტების სიღრმეებს. ირაციონალური ნახტომით არღვევს მტკიცე წრეს, რომელშიც გვამყოფებს დედუქციური მსჯელობა. წარმოსახვასა და ინტუიციაზე დაყრდნობილი ინდუქცია უდევს საფუძვლად ყოველ ჭეშმარიტ მიღწევას მეცნიერებაში [93;295].

სწორედ ამიტომ, ადამიანის გონებას საბოლოო ჯამში შეუძლია აჯობოს ყოველგვარ საცდელ მანქანას (კომპუტერს), რომელიც ითვლის ან ახარისხებს მასზე (მეცნიერზე) უკეთ, მაგრამ არ შეუძლია არც წარმოსახვა, არც განჭვრეტა და არც წინასწარმეტყველება (მით უმეტეს ეზოთერული ხედვა). ამრიგად საკაცობრიო მეცნიერებას შეუძლია განახორციელოს

თავისი ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევები გონის მხოლოდ უეცარი სახიფათო ნახტომით, როცა მჟღავნდება ისეთი შესაძლებლობები, როგორიცაა წარმოსახვა, ინტუიცია, ჭკუამახვილობა. ამ დროს მეცნიერი უეცრად თავისუფლდება დედუქციური მკაცრი აზროვნების არტახებიდან (ექვემდებარება ინდუქციურ აზროვნებას) და ახლად მოპოვებული წარმოსახვის თავისუფლება მას საშუალებას აძლევს დაინახოს, იდუმალი პროცესების ახსნის, ახალი ჰორიზონტები [93;295].

დე ბროილის აზრით, მეცნიერის მიერ წარმოსახვისა და ინტუიციის ყოველი გამოვლენა, სწორედ იმიტომ, რომ ის წარმოადგენს ერთადერთ ჭეშმარიტ შემომქმედს, შეიძლება იყოს მძიმე შედეგის მომტანიც: მას, განთავისუფლებულს მკაცრი დედუქციის მარწუხებიდან, შეუძლია სწორი გზიდან გადაგვახვევინოს და ჩიხშიც შეგვიყვანოს. სწორედ ამიტომ მეცნიერული გამოკვლევა, თუმცა იგი ყოველთვის იმართება გონიერებით, მაინც წარმოადგენს მომხიბლავ ფათერაკებით მოსილ თავგადასავალს [93;295].

ლუი დე ბროილის მოსაზრებით, თუ გავაკეთებთ მეცნიერული თვალაზრისების ანალიზს, აღმოვაჩინებთ, რომ მეცნიერება მოქმედებს, შედარებით არც თუ ისე დიდი რაოდენობის, საერთო წარმოდგენებით. მთელი მისი სააზროვნო მასალა მცირე რაოდენობის ისეთ ფუძემდებლურ კატეგორიებშია, როგორიცაა: „მატერია“, „სივრცე“, „დრო“, „მოძრაობა“, „კანონი“, „მიზეზობრიობა“, „დისკრეტულობა“, „უწყვეტობა“, „ნაწილაკი“, „ტალღა“ და მისთანები. მეორე მხრივ, მეცნიერების განვითარებით პირველ რიგში (წინა პლანზე) წარმოგვიდგება სინამდვილის ხან ერთი და ხან მეორე ასპექტი, იქმნებიან სხვადასხვა თეორიული სისტემები, წარმოიშვებიან ხან ერთი და ხან მეორე ტენდენციები. ხოლო რადგანაც მეცნიერების ფუნდამენტული კატეგორიების რაოდენობა შემოზღუდულია, დროის მსვლელობასთან ერთად, ადრე თუ გვიან ახლად და ახლად წარმოიქმნებიან კონცეფციების, წარმოსახვის სისტემებისა და წარმოდგენების **განმეორებადი** ტიპები [93;402].

ამიტომ მეცნიერების განვითარების ისტორია იქნება ჩაკეტილ წრენირზე მოძრაობის მსგავსად.

წარმოდგენებისა და ტენდენციების შემოზღუდულობის გამო თეორიული ფიზიკა, ერთი შეხედვით, განწირულია მუდმივად იმოძრაოს წრეზე, ისე, რომ მორიგეობით გამოჩნდება, გაქრება და ისევ გამოჩნდება სხვადასხვა სახის განმარტება. საბედნიეროდ ასეთი წარმოდგენა მეცნიერების განვითარებაზე არასწორია. თუ რაიმე კონცეფცია ხელახლა ჩნდება, ის ჩნდება ახალი თვისებებით გამდიდრებული, რომლებიც გამოიყენება ექსპერიმენტების უფრო ფართო არეში. მეცნიერების პროგრესი არ შიძლება შევადაროთ წრიულ მოძრაობას, რომელიც პერიოდულად გვაბრუნებს მოძრაობის რომელიღაც გავლილ სტადიასთან. მეცნიერების განვითარების პროცესი წააგავს მოძრაობას სპირალზე მაგრამ არ უნდა დავივიწყოთ, რომ სპირალის ხვიათა რიცვი უსასრულოა. ხოლო ხვების სიდიდე იზრდება და მათ შორის ინტერვალი კი მალდება [93;310].

დე ბროილი მეცნიერების განვითარებას განიხილავს როგორც უსასრულო პროცესს. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელი ხომ არ არის, რომ ჩვენ აღმოვაჩინოთ ბუნების ყველა საიდუმლო? – სვამს კითხვას დე ბროილი. მისი აზრით ასეთი დასკვნის გამოტანა დიდი შეცდომაა. მეცნიერებაში ყოველი წარმატება სვამს ახალ და ახალ პრობლემებს. რაიმე პრობლემის გადაწყვეტა წარმოადგენს უსასრულო გაურკვევლობის მხოლოდ უმცირესი ნაწილის შეცნობას. მისი აზრით, ჩვენ არ უნდა დავივიწყოთ, რომ ჩვენი თანამედროვე მეცნიერება წარმოადგენს მეცნიერული პროგრესის მხოლოდ დროებით საფეხურს და მიუხედავად მრავალი ნაკლისა, მისი როლი მომავლისათვის მზადებაში მდგომარეობს. ჩვენ არასოდეს არ უნდა დავივიწყოთ, რომ ჩვენი შემეცნების ყოველი წარმატება უფრო მეტ კითხვებას აყენებს, ვიდრე ხსნის [93;317].

დე ბროილის მოსაზრებით, მეცნიერული ცოდნის დაგროვების ერთიან ისტორიული პროცესში აუცილებლად გამოიყოფა მუდმივად განმეორებადი 2 ტიპის სტადია – შეფარდებითი სტაბილური სტადიების მეტნაკლები გრძელი პერიო-

დები და „კრიზისების“ მოკლე პერიოდები. მეცნიერების განვითარება არც ერთ პერიოდში არ წყდება. თუმცა თუ სტაბილურობის პერიოდში ინახება არსებული მეცნიერების ძირითადი ტენდენციები, მათი ფუნდამენტური თეორიული წარმოდგენები; მეორე პერიოდებში ადგილი აქვს პრინციპების, კონცეფციებისა (პარადიგმების) და ტენდენციების გაბედულ გარდაქმნებს და ისახება სრულიად ახალი გზები. ეს არის მნიშვნელოვანი გარდაქმნების ეპოქები, რომლებშიც აღინიშნება მეცნიერული ცოდნის განვითარების უმნიშვნელოვანესი ეტაპები. ამასთან ადგილი აქვს მეცნიერული ცოდნის ექსპონენციალურ განვითარებას.

რით არის გამპირობებული მეცნიერების ექსპონენციალური ზრდა? დე ბროილს მიხედვით, ამისთვის არსებობს 2 მიზეზი:

1. მეცნიერების განვითარების კვალობაზე ადგილი აქვს ბუნების შემეცნების საშუალებებისა და დანადგარების დაჩქარებულ სრულყოფას, რომლებიც გამუდმებით აფართოებენ შემეცნებადობის არეს.

2. მეცნიერების განვითარება ხდება ძველი ცოდნის თანმიმდევრული ჩართვით ახალ ცოდნაში[93;399].

იმათ, რასაც დე ბროილი „თანმიმდევრულ ჩართვას“ უწოდებს გამოიხატება მეცნიერული ცოდნის ერთ-ერთი ფუნდამენტული კანონზომიერება, რომლის შინაარს იგი ხსნის შემდეგნაირად.

ზოგჯერ ექსპერიმენტში (მკვლევარის ნებისაგან დამოუკიდებლად) ჩნდება ახალი ფაქტი, რომელიც არ ეთანხმება თეორიას. ამ დროს საჭიროა ყოფილი თეორიის შენობის გადაკეთება, ან ახალი თეორიის შექმნა. მაგრამ ეს გადაკეთება უნდა მოხდეს ადრე დაგროვილი ფაქტების გათვალისწინებით, მათი რაიმე სახით ჩართვით ახალ თეორიაში. ისე, რომ ახალმა თეორიამ უნდა აღიაროს წინამორბედი თეორიის ყველა სწორი (ზუსტი) წინასწარმეტყველება, მათ შორის ისიც, რომელსაც ვერ წინასწარმეტყველებდა ძველი თეორია. ასათი თანმიმდევრული ჩართვით ვითარდება თეორიული ფიზიკა, რომელიც არ უარყოფს არც ერთ თავის ადრინდელ მიღწევას [93;400].

(ანუ მეცნიერება ვითარდება ჰარმონიულად, ფიბონაჩის მიმდევრობის პრინციპით [წიგნი II; ნაწილი V]).

და ბროილს აზრით, მეცნიერების ისტორიის შესწავლას მივყავართ 2 უაღრესად ღრმა დასკვნამდე:

ა. მეცნიერული აზრი ვითარდება სპირალურად.

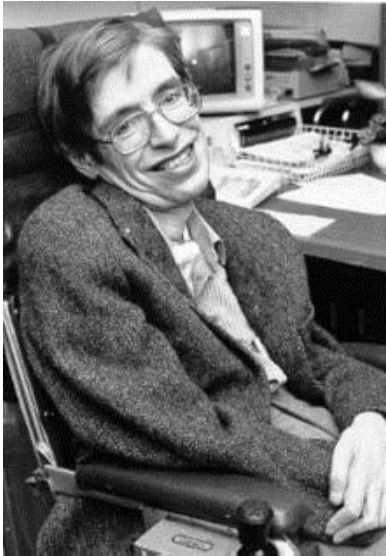
ბ. მასში არსებობს 2 ურთიერთსაპირისპირო წარმოდგენის სინთეზის განხორციელების მუდმივი ტენდენცია [93;402].

იმის საილუსტრაციოდ, რომ მეცნიერული აზრის განვითარება მართლაც სპირალურია და რომ ამ მოძრაობის დროს ადგილი აქვს საპირისპირო, ურთიერთგამომრიცხავი წარმოდგენების სინთეზს, დე ბროილს მოჰყავს დამაჯერებელი მაგალითები ოპტიკისა და ელემენტარული ნაწილაკების თეორიიდან. ერთ დროს გაბატონებული სინათლის კორპუსკულარობის კონცეფციები შემდეგ შეიცვალა ტალღურით, ხოლო ამჟამად მოხდა ისევ კორპუსკულარულზე დაბრუნება. მაგრამ ტალღური თეორიის შედეგების უგულებელყოფა შეუძლებელი იყო, რადგანაც ისინი ცდებითაა დამტკიცებული. ამიტომ თანამედროვე ფიზიკაში ვითარდება სინტეტიკური თვალსაზრისი, რომელიც აერთიანებს კორპუსკულარულ და ტალღურ თვალსაზრისებს [93;403].

კაცობრიობა განიცდის განცხრომასა და ტკობას ამაღლებული და მშვენიერი სულიერი სიხარულით, მიღწეული მეცნიერებით, ხელვნებითა და მწერლობით გასხივოსნებული მცირე ნაწილით იმ იდუმალებისა, რომელიც უშველებელი ბნელი ტყის სახით გვარტყია. იგი ჩვენ სიმბოლურად გვიჩვენებს, რომ მიუხედავად ჩვენი აზროვნების ბრწყინვალე მიღწევებისა, ჩვენ ყველა მხრივ გარს გვარტყია უცოდინარების ბნელით მოცული (იდუმალი) „უცნაური ტყე“. ამჟამად მეცნიერების მიღწევების წყალობით ჩვენ უწყვეტად და ზრდადი ტემპით ვაფართოებთ ზემოხსენებული ნათელი (შესწავლილი) არის საზღვრებს. თუმცა ჩვენს წინ ყოველთვის არსებობს და იარსებებს (მოსაზღვრე) იდუმალებით მოსილი უცნაური უსასრულო ტყის მცირე (დასაძლევად მომზადებული) ნაწილი [93;181].

2. სტივენ ჰოუკინგი მეცნიერების შესახებ

მსოფლიოში ცნობილი ბრიტანელი ფიზიკოსი და ასტრო-ფიზიკოსის სტივენ უილიამ ჰოუკინგის აზრით, თეორია არის ნესების კრებული რომელიც სამყაროს მოდელის დამახასიათებელ სიდიდეებს აკავშირებს ჩატარებულ დაკვირვებებთან. თეორია მხოლოდ ჩვენს გონებაში არსებობს და არა რეალურად. თეორია კარგია, თუ იგი ორ პირობას აკმაყოფილებს: მან, მხოლოდ რამდენიმე განუსაზღვრელი ელემენტით (პარამეტრით), კარგად უნდა აღწეროს



დაკვირვებათა დიდი კლასი და მან უნდა იწინასწარმეტყველოს მომავალი დაკვირვების შედეგებიც [121;16].

ყველა ფიზიკური თეორია დროებითია, რადგან იგი მხოლოდ ჰიპოთეზაა... არა აქვს მნიშვნელობა, რამდენჯერ დაემთხვევა თეორიის შედეგები ექსპერიმენტის მონაცემებს. არ არსებობს იმის გარანტია, რომ ოდესღაც რაღაც ექსპერიმენტის შედეგი წინააღმდეგობაში არ მოვა თეორიასთან. მეორე მხრივ, შესაძლებელია უარის თქმა თეორიაზე, თუ ერთადერთი ექსპერიმენტი არ დაემთხვევა

მას. თეორიის შეფასებისას, საბოლოო დასკვნის გამოტანამდე, უნდა შემოწმდეს თუ რამდენად კომპეტენტურია ექსპერიმენტატორი და სანდოა მიღებული შედეგი [121;16].

პრაქტიკულად ხშირად ხდება, რომ ახალი თეორია იქმნება როგორც ძველი თეორიის გავრცობა ან განზოგადება.

ხშირდ ახალი თეორია ფუნდამენტურად ცვლის ძველი თეორიის საფუძვლებს. მეცნიერები საბოლოო მიზანია ერთი ისეთი თეორიის შექმნა, რომელიც აღწერს მთელ სამყაროს. მეცნიერთა უმეტესობა პრობლემას ორ ნაწილად ყოფს. ერთი,

არსებობს კანონების ერთობა, რომელიც გვეუბნება, თუ როგორ იცვლება სამყარო დროის მიხედვით. მეორე, არის სამყაროს სანყისი მდგომარეობის საკითხი. ზოგს მიაჩნია, რომ სანყისი მდგომარეობის საკითხი მეტაფიზიკის ან რელიგიის სფეროა. მათი აზრით ყოვლის შემძლე ღმერთს შეეძლო სამყაროს შექმნა ისეთნაირად, როგორც მოინდომებდა და ისე განევითარებინა, როგორც ისურვებდა. მაგრამ მან აირჩია განვითარების რეგულარული გზა გარკვეული კანონების მიხედვით. ჰოუკინგის აზრით, არსებობენ კანონები, რომლებიც მართავენ სამყაროს სანყის მდგომარეობას [121;17].

აღმოჩნდა, რომ ძალიან ძნელია ისეთი თეორიის შემუშავება, რომელიც სამყაროს ყოველ მხარეს ერთიანად აღწერს. ამის მაგივრად თეორეტიკოსები თეორიას ყოფენ ნაწილებად და იგონებენ რამდენიმე ნაწილობრივ თეორიას. ამ ნაწილობრივი თეორიებიდან თითოეული აღწერს და წინასწარმეტყველებს დაკვირვებათა შეზღუდულ კლასს ისე, რომ უგულებელყოფს სხვა მოვლენებს. მაგრამ თუ სამყაროში ყველაფერი ფუნდამენტური გზით ერთმანეთზეა დამოკიდებული, მაშინ პრობლემის ნაწილების დამოუკიდებლად შესწავლის მეშვეობით შეუძლებელია მიუახლოვდეთ სრულ ამოხსნას.

ჰოუკინგის აზრით, დღეს მეცნიერები სამყაროს აღწერენ ორ ბაზისური ნაწილობრივი თეორიის მეშვეობით – ფარდობითობის ზოგადი თეორიითა და კვანტური მექანიკით. ორივე ეს თეორია წარმოადგენს მე-20 საუკუნის პირველი ნახევრის უდიდეს ინტოლექტუალურ მიღწევას. ფარდობითობის ზოგადი თეორია აღწერს გრავიტაციულ ძალასა და სამყაროს დიდმასშტაბიან – $1,610^{26}$ სმ-ს ზომის სტრუქტურას. მეორე მხრივ, კვანტური მექანიკა სწავლობს მოვლენებს ძალიან მცირე – 10^{-12} სმ-ს მანძილებზე. საუბედუროდ ეს ორი თეორია ერთმანეთთან შეუთავსებადია და, ამიტომ არც ერთი არ შეიძლება სწორი იყოს. დღევანდელი ფიზიკის ძირითადი მცდელობა მდგომარეობს ამ ორი თეორიის ერთიან, გრავიტაციის კვანტურ თეორიაში გაერთიანებაში [121;18].

ჰოუკინგის მიხედვით, დღეს ჩვენ მივისწრაფით გავიგოთ, თუ რატომ ვართ აქ და საიდან მოვდივართ. ჩვენი დაუსრულებელი კითხვების საკმარის გამართლებას წარმოადგენს კაცობრიობის დაუოკებელი სწრაფვა უღრმესი ცოდნისაკენ. ჩვენი მიზანი სხვა არაფერია, თუ არა იმ სამყაროს სრული აღწერა რომელშიც ვცხოვრობთ [121;20].

ჩემი აზრით, კაცობრიობის მიზანი არა მარტო სამყაროს სრულ აღწერაში, არამედ თავის ფუნქცია დანიშნულების დადგენასა და მისი შესრულებისათვის სწრაფვაში მდგომარეობს.

3. მათემატიკური სილამაზე, როგორც ჭაშმარიტების გზის მაჩვენებელი მეცნიერებაში

ცნობილი ინგლისელი სწავლული და მეცნიერების პოპულიზატორი **პოლ დევისი** თავის წიგნში „სუპერძალა“ ჭეშმარიტებისაკენ სავალ გზაზე **სილამაზეს** განიხილავს როგორც გზის მიმმართველ მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს.

პ. დევისის მიხედვით, ყველა დროის უდიდეს მეცნიერულ აღმოჩენად უნდა ჩაითვალოს იმის შეგნება, რომ ბუნების კანონები შეიძლება ჩაინეროს მათემატიკური კოდის საშუალებით. ამა თუ იმ კონკრეტული ფიზიკური სისტემის შესაბამისი კოდის გამოცნობით, ჩვენ ვეუფლებით იმის შესაძლებლობას, რომ ბუნება წავიკითხოთ, როგორც გადაშლილი წიგნი. ნებისმიერი მათემატიკური ფორმულა არის თავისებური კოდი თავისი შესავლითა და გამოსავლთ. ბუნების მათემატიკური კოდით გაშიფრვისათვის პირველი სერიოზული ნაბიჯი გადაიდგა **XIV** საუკუნეში, თუმცა მან საყოველთაო აღიარება მოიპვა მხოლოდ **XVI** საუკუნეში გალილეისა და ნიუტონის შრომების შემდეგ. ხოლო კულმინაციად მიჩნეულია ნიუტონის მიერ მექანიკის კანონებისა და მსოფლიო მიზიდულობის კანონის მათემატიკური ფორმულირება [75;59].

მართალია სილამაზე ბუნდოვანი ცნებაა, მაგრამ ეჭვი არ უნდა შეგვეპაროს, რომ სწორედ ისაა მეცნიერთა შთაგონების წყარო. ზოგჯერ, როცა გაუგებარია შემდგომი მოქმედების გზა, მეცნიერები ჭეშმარიტებამდე მიჰყავს მათემატიკურ სი-

ლამაზესა და მოხდენილობას. ამ დროს ფიზიკოსი ინტუიციურად გრძნობს, რომ ბუნებას გონჯ (უშნო) ამოხსნას, ლამაზი ამოხსნა ურჩევნია.

აღმოჩნდა, რომ მიუხედავად სუბიექტივიზმისა, ასეთი რწმენა ფიზიკოსებისათვის ხშირად სანდო და მძლავრ თანამდგომს წარმოადგენდა. ოდესღაც ჰაიზენბერგს აინშტაინისათვის უთქვამს: თუ ბუნებას ჩვენ მიყვავართ არაჩვეულებრივ მარტივ და ლამაზ გამოსახულებამდე რომელიც ადრე არ გვხდებოდა, მაშინ ჩვენ, ჩვენდაუნებურად, მათ მივიჩნევთ „ჭემარიტად“ და ვიტყვით, რომ ისინი ხსნიან ბუნების ამა თუ იმ მოვლენას.

პოლ დირეკი უფრო წინ წავიდა. მისი აზრით: „განტოლებების სილამაზე უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მათი თანხვედრა ექსპერიმენტთან“. აქ დირაკი შემდეგს გულისხმობდა: მეცნიერის შემოქმედებით წარმოსახვას შეუძლია მიგვიყვანოს ისეთი მიმზიდველი თეორიის შექმნამდე, რომ ფიზიკოსს ეჭვი არ ეპარება მის ჭეშმარიტებაში მანამდეც, სანამ მოხდება ამ თეორიის ესპერიმენტული შემოწმება; და არ უარყოფს მას მაშინაც კი, თუ ექსპერიმენტი, თითქოსდა, წინააღმდეგობაში მოვიდა თეორიასთან [75;62].

მეცნიერების პოპულიზატორ **რიჩარდ მორისის** აზრით, არსებობს მრავალი თვალსაჩინო პარალელი მეცნიერებასა და ხელოვნებას შორის. მხატვრების მსგავსად, ყოველ დიდ მეცნიერს გააჩნია თავისი განუმეორებელი სტილი. მეცნიერის წარმოდგენა იმის შესახებ, თუ როგორი უნდა იყოს კარგი მეცნიერული თეორია, განსაცვიფრებლად ემსგავსება ხელოვნების წარმომადგენლების მოსაზრებებს ხელოვნების ნაწარმოების შესახებ. ზოგიერთ შემთხვევაში მეცნიერულ ინტუიციას შეუძლია იწინარარმეტყველოს თეორიის სისწორე მის ექსპერიმენტულად დასაბუთებამდე. აინშტაინს სჯეროდა მისი ფარდობითობის თეორიისა, მაშინაც კი როცა ექსპერიმენტი თითქოს ეწინააღმდეგებოდა მას. თურმე, სენსაციურ ცნობას ფარდობითობის ზოგადი თეორიის გადამწყვეტი ასტრონომიული წინასწარმეტყველების ექსპერიმენტულად დადასტურების

შესახებ, აინშტაინი სავსებით აუღელვებლად შეხვდა. როცა მას ჰკითხეს, თუ როგორი რეაქცია ექნებოდა თეორიის ექსპერიმენტთან შეუსაბამობის შემთხვევაში, მან უპასუხა: „მე შემეცოდებოდა უფალი. თეორია ხომ სწორია“. თუმცა ხშირად გააგებინო ადამიანს, თუ რაში მდგომარეობს მათემატიკური თეორიის სილამაზე და მოხდენილობა ძაან რთულია [75;62].

4. ფიზიკა და ფანტაზია

პ. დევისის მიაჩნია, რომ ფიზიკის განვითარებაში დიდ როლს ასრულებს ფანტაზია.

თავის დროზე ნეიტრონებისა და პროტონების დასახასიათებლად ფიზიკოსებმა შემოიტანეს ახალი აბსტრაქტული სიდიდე ე.წ. იზოსპინის ცნების სახით, რომელიც წამოადგენს ფიზიკური აბსტრაქტული აზროვნების ჩინებულ ნიმუშს. ნეიტრონებისა და პროტონების ინდივიდუალობების შერჩევა წმინდა თეორიული აზროვნების ნაყოფს და თავისებურ ფანტაზიას წარმოადგენს, მაგრამ ლოგიკურად ის სავსებით დასაშვებია.

ისმის კითხვა: რატომ ხდება, რომ რეალური სამყაროს მოდელირებისათვის ფიზიკოსებს უხდებათ მოიგონონ წმიდად გონებამახვილური და აბსტრაქტული ცნებები. განა არ შეიძლება, რომ შემოვისაზღვროთ მხოლოდ დაკვირვებადი ცნებებით? როცა გარკვეულ კონკრეტულ „გამონაგონს“ თეორიისათვის მოაქვს უდიდესი წარმატება, მაშინ ხშირად ფიზიკოსის პასუხი ასეთია: ეს იდეა იმიტომ გამოვიყენე, რომ კარგად „მუშაობს“.

მაგრამ როგორ ხდება, რომ გონიერი ფიზიკოსი ირჩევს სწოედ იმ გზას რომელიც საჭიროა წარმატებისათვის?

ასეთ შემთხვევაში ალბად თავის როლს ან ინტუიცია ასრულებს, ან არსებობს ფარული კავშირი ადამიანის გონსა და კოსმიურ გონს შორის, რომელშიც ასახულია ბუნებრივი ობიექტის სტრუქტურის სურათი.

როცა აბსტრაქტული ცნება იმდენად ეფექტური აღმოჩნდება, რომ არასპეციალისტების ფართო წრისათვისაც მისაღები გახდება, განსხვავება რეალურსა და მონაგონს შორის თანდათან იშლება. სწორედ ასე მოხდა ენერჯის ცნების შემთხვევაში. ენერჯია აბსტრაქტული ცნებაა, მაგრამ ის იმდენადაა შესული ჩვენს ჩვეულებრივ ლაქსიკონში, რომ მას მივაკუთვნეთ რეალური არსებობა. არავის ებადება კითხვა, თუ რა ფერისაა იგი, ან რა გემო აქვს მას, ან როგორ გავზომოთ მისი მოცულობა. ის შეიძლება მხოლოდ გამოვითვალოთ. ყველასთვის მიღებულად ითვლება, რომ ყველას გააჩნია ენერჯია, ისე – როგორც ძვლები და ტყავი [75;77].

ფიზიკაში ენერჯია არის ერთ-ერთი ყველაზე მდგრადი აბსტრაქტული ცნება. მას შემდეგ, რაც აინშტაინმა ენერჯიის ცნება მასის ცნებას დაუკავშირა, რომელიც მიჩნეული იყო ნივთიერი სამყაროს მასალის ზომად, ენერჯია განიხილება მატერიალური სამყაროს, როგორც მისი შემადგენელი მასალის ზომა. აღმოჩნდა, რომ სამყარო საწყის სტადიაში წარმოადგენდა ყოველგვარ სტრუქტურას მოკლებულ ბნელ ენერჯიას.

ჩვენ არ ვიცით რატომ, მაგრამ ცდა გვიჩვენებს, რომ სილამაზე იწვევს სარგებლიანობასაც. ეფექტური თეორიები ყოველთვის ლამაზიცაა. მაგრამ ისინი ლამაზები არიან არა მარტო იმიტომ რომ სარგებლიანნი არიან, არამედ იმიტომ, რომ ისინი ეკონომიურნიც არიან, ხოლო მათემატიკური თვალსაზრისით ფლობენ შინაგან სიმეტრიას.

ფიზიკაში სილამაზე არის წარმოდგენა, რომელიც შეიცავს პროფესიონალურ ინტუიციას. ამის ახსნა არასპეციალისტისათვის ძალიან რთულია, მაგრამ მისთვის, ვინც ფლობს მათემატიკურ ენას, თეორიის სილამაზე ისევე თვალსაჩინოა, როგორც მუსიკისა და პოეზიის სილამაზე. ვერავინ უარყოფს, რომ სიმფონიაში ჩამალულია ნამდვილი სილამაზე, თუმცა ეს ისეთი კატეგორიაა, რომელიც ზუსტ განსაზღვრებას არ ექვემდებარება. ანალოგიურ მოვლენასთან გვაქვს საქმე მათემატიკური სილამაზის შემთხვევაშიც. ფიზიკოსებს გააჩნიათ

განვითარებული მათემატიკური გემოვნება და ამიტომ ქმნიან სრულყოფილ მათემატიკურ თეორიებს. უდიდეს ტრაგედიას წარმოადგენს ის, რომ ადამიანთა უმრავლესობისათვის გაუგებარია მათემატიკური პოეზია და ბუნების სიმფონია [89;78].

განა ნამდვილი მხატვარი, პოეტი ან მუსიკოსი თავის შემოქმედებაში ბუნებაში არსებულ სილამაზეს, ჰარმონიასა და იდუმალებას არ ასახავს!?

თავი 2 ანტიკური ფილოსოფია სამყაროს შესახებ

1. ძველი აღმოსავლეთის ნატურფილოსოფია

ჯერ კიდევ პირველყოფილი ადამიანი საკვების, ტანსაცმლისა და საცხოვრებლის მოპოვებისას და მხეცებისგან თავდასხმების მოგერიებისას აგროვებდა გარკვეულ ცოდნას გარემოს შესახებ. მაგრამ პირველყოფილი ადამიანის ცოდნა ჯერ კიდევ არ წარმოდგენდა მეცნიერებას. ათასწლეულების განმავლობაში დაგროვილი ცოდნა ზეპირსიტყვიერად გადაეცემოდა თაობიდან თაობას.

შემდგომში ფიზიკური და გონებრივი შრომის გაყოფის შედეგად გაჩნდნენ ადამიანთა ჯგუფები, რომელთაც შეეძლოთ დაგროვილი ცოდნის გააზრება, მათი სისტემაში მოყვანა და გარკვეულ დონეზე ბუნების მოვლენებს შორის კავშირებისა და კანონზომიერებების დადგენა.

თავდაპირველად მეცნიერება წარმოიშვა ჯერ კიდევ ძველ აღმოსავლურ მონათმფლობელურ სახელმწიფოებში: ბაბილონში, ეგვიპტეში, ინდოეთსა და ჩინეთში.

უძველესი ფილოსოფოსებისათვის უცნობი იყო ექსპერიმენტი. ისინი ეყრდნობოდნენ მხოლოდ უშუალო დაკვირვებებს ბუნების მოვლენებზე და მხოლოდ გონების გამოყენებით ცდილობდნენ გარკვეულიყვნენ მოვლენების არსში და შეექმნათ სამყაროს სურათი. მონათმფლობელური ნყობილობის დროს თავისუფალი საზოგადოება იგნორირებას უწევდა ფიზიკურ შრომას, რაც აშკარად აისახებოდა მეცნიერებაზეც.

მეცნიერი უკადრისობდა ფიზიკურ შრომას და მეცნიერულ მოღვაწეობას არ აკავშირებდა პრაქტიკულ მოღვაწეობასთან და ექსპერიმენტთან [111;34].

უძველეს მეცნიერებას განეკუთვნება ასტრონომია, რომლის ცოდნა მოითხოვდა წლის იმ დროების მინიშნებასა და ვადების განსაზღვრას, რომლებიც აუცილებელი იყო მინათ-მოქმედებისა და მეცხოველეობის წარმოებისათვის. ბუნებაზე დაკვირვებისას ადამიანები ამჩნევდნენ, რომ ამინდის ცვალებადობა რალაცნაირად დამოკიდებული იყო ციური სხეულების ურთიერთ განლაგებაზე. ამისთვის კი საჭირო იყო დაკვირვება მზის, მთვარისა და ვარსკვლავების ციურ მოძრაობასა და განლაგებაზე. ამ დაკვირვებებით დაგროვდა გარკვეული ასტრონომიული ცოდნა [111;21]

დამწერლობა ეგვიპტეში გაჩნდა მე-5 ათასწლეულის ბოლოს, ხოლო ბაბილონში მე-4 ათასწლეულის შუა ხანებში, ქრისტეს შობამდე.

როგორც რამაზ პატარიძე აცხადებს, ქართული ასომთავრული დამწერლობა შექმნილია ძვ. წ. 444 წელს. მასში ასახულია ეგვიპტური მზისა და ბაბილონის მთვარის კალენდარი.

ძველი დამწერლობა ხსნის იმდროინდელ მეცნიერულ საიდუმლოებებს. ბაბილონში და ეგვიპტეში იცოდნან 5 პლანეტა, მთელი რიგი თანავასკლავედები და მათი ციური მოძრაობა. მათ იცოდნენ მთვარისა და მზის დაბნელების პერიოდები. ჯერ კიდევ მეოთხე ათასწლეულში ჩვ. ერამდე ეგვიპტელებმა გამოიგონეს კალენდარი. წელიწადს ისინი ყოფდნენ 12 თვედ, თითოეულში 30 დღით. ბაბილონში შემოტანილი ჰქონდათ სიგრძის, ფართისა და მოცულობის ერთეულები. სიგრძის ერთეულად მათ იდაყვი მიიჩნიეს [111;23].

2. ძველი საბერძნეთის ნატურფილოსოფია

მეცნიერების განვითარების ახალი ეტაპი დაიწყო ანტიკური სამყაროს აყვავებასთან ერთად. ხმელთაშუა ზღვის მცირე აზიის სანაპირო ასრულებდა მნიშვნელოვან როლს მე-6

საუკუნეში ჩვ. ერამდე. აქ წარმოიქმნა პირველი ბერძნული – იონისეული ფოლოსოფია.

ძველბერძნული ფილოსოფიის დამაარსებელი **თალეს მილეთელი** (624-547 წწ ძვ. წ.) ბევრს მოგზაურობდა. ის იმყოფებოდა ეგვიპტეშიც.

თალესმა ეგვიპტეში ყოფნისას შეისწავლა მათემატიკა და ასტრონომია. მან განსაზღვრა ეკლიპტიკის დახრის კუთხე, აღწერა ბევრი თანავარსკლავედი და განსაზღვრა მათი განლაგება ცაზე. მან ზუსტად განსაზღვრა ჩვ. წ. აღ. 585 წლის მზის დაბნელება.

თალესის ყველაზე დიდი მეცნიერული დამსახურება მდგომარეობს მის სწავლებაში სამყაროს მატერიალური ერთიანობის შესახებ.

თალესმა დასვა საკითხი: რა არის ყველაფერის საფუძველი? და უპასუხა – ყველაფერის საფუძველი არის წყალი. მართალია, ყველაფერის საფუძველი წყალი არ არის, მაგრამ მან პირველმა დაიწყო საგანთა ბუნების ძებნა. მთავარი იყო მის მიერ საკითხის დასმა და ძიება [16;91].

თალესი ამავე დროს თვლიდა, რომ სამყარო სავსეა ღმერთებით, დემონებითა და სულებით [111;24]

იონისეული სკოლის მეორე წარმომადგენელი, თალესის მოწაფე **ანაქსიმანდრე** (610-545 ძვ. წწ.) იყო პირველი ევოლუციონისტი მეცნიერი აზროვნების ისტორიაში [16;108].

ანაქსიმანდრე თვლიდა, რომ ყველაფრის საწყისი არის რაღაც პირველმატერია, რომელსაც მან **აპეირონი** უწოდა. აპეირონი, ერთი მხრივ, წარმოადგენს ყოველგვარ ფორმას მოკლებულ რაობას, რომელიც პოტენციურად შეიცავს ნებისმიერი ფორმის მქონე საგნის წარმოქმნის შესაძლებლობას. მეორე მხრივ, „იგი არის სამყაროსა და ნებისმიერი საგნის შემქმნელი – არხე, ყველაფრის უფროსი, ყველაფრის ღმერთი“ [16;104].

ამჟამინდელი გაგებით, აპეირონი შეიძლება მივიჩნიოთ სუბსტანციად, მრავალგაზომილებიან ენერგოინფორმაციულ სივრცედ.

ანაქსიმანდრეს მიხედვით, დედამიწა წარმოადგენდა სამყაროს ცენტრს, რომელიც არაფერს ეყრდნობა [16;105]

იონისეული ფილოსოფიური სკოლის კიდევ ერთი წარმომადგენელია **ანაქსიმენე** (585-525 ძვ. წწ.). ანაქსიმენე ყველაფრის სანწყისად (მასალად) ჰაერს აღიარებდა. მისი აზრით, საგანთა დასაბამი არ შეიცავს საგნის არც ერთ თვისებას. საგნის თვისებები იქმნება მის გაჩენასთან ერთად და განპირობებულია ჰაერის გასქელება-გათხელებით, ანუ რაოდენობის თვისებაში გადასვლით [16;110].

მართლაც, თანამედროვე მეცნიერების მიხედვით, სამყარო თავისი განვითარების ერთ-ერთ სანწყის ფაზაში აირს წარმოადგენდა.

იონისეული სკოლის ფილოსოფიური აზრი შემდგომ განვითარებულ იქნა ძველი საბერძნეთის გამოჩენილი ფილოსოფოსის **ჰერაკლიტეს** (544-483 ძვ. წწ.) მიერ.

ჰერაკლიტე იყო პირველი დიალექტიკოსი, რომელიც აღიარებდა ღმერთს, როგორც „ლოგოსს“, ანუ „სამყაროს გონებას“. ჰერაკლიტემ ის, რაც ყველაფრის საფუძველს (არხეს) წარმოადგენს, ცეცხლს მიაძგავსა [15;298].

„ჰერაკლიტე ადარებს ცეცხლს ოქროს, რომელიც შეიძლება საგნებზე გაიცვალოს. ოქროდ აქ იგულისხმება მისი განყენებული ღირებულება, რომელიც საერთო აქვთ საგნებსაც და ოქროსაც“ [16;165].

ე.ი. რა როლსაც ასრულებს დღეს ფული (ვალუტა) ეკონომიკაში სასაქონლო საგნებისა და დოვლათის მიმართ, ჰერაკლიტესათვის იმავე როლს ასრულებს „ცეცხლი“, ანუ ენერჯია (თანამედროვე გაგებით) გრძნობადკოსმოსურ სამყაროში არსებული მატერიის სხვადასხვა ფორმით გამოვლენილი ბუნების საგნების მიმართ. მატერიის არსებობის ერთი ფორმა შეიძლება გადავიდეს სხვა ფორმაში, შესაბამისი ეკვივალენტური ენერჯიის გავლით და ენერჯიის შენახვის კანონის დაცვით.

ამჟამინდელი მეცნიერული თვალსაზრისით, მატერიის ნებისმიერი ფორმის (ნივთიერი, ველისმიერი) რაოდენობრივი ზომა ენერგიის ეკვივალენტურია.

ვერნერ ჰაიზენბერგმა გაიზიარა ჰერაკლიტეს მოძღვრება სამყაროს უნივერსალური ცვლადობისა და ქმნადობის შესახებ, რომლის საფუძვლად მან ცეცხლი მიიჩნია. მისი მოსაზრებით, „თანამედროვე ფიზიკა, გარკვეული აზრით, ახლოსაა ჰერაკლიტეს მოძღვრებასთან: თუ „ცეცხლს“ „ენერგიით“ შევცვლით, მაშინ, ჰერაკლიტეს აზრი თითქმის სიტყვასიტყვით შეგვიძლია მივიჩნიოთ თანამედროვე მეცნიერების აზრად: ფაქტობრივად ენერგიაა ის, რითაც იქმნება ელემენტარული ნაწილაკები, ყველა ატომი, ყველა მოლეკულა და, მაშასადამე, ყველა საგანი. ანუ ენერგია მასალაა. მისი საერთო რაოდენობა არ იცვლება და ის ერთი ფორმიდან გადადის მეორეში [71].

თუ ცეცხლის ქვეშ „ენერგიას“ ვიგულისხმებთ, ჰერაკლიტეს მოსაზრება ბრწყინვალე შესაბამისობაშია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე დიდი აფეთქების თეორიასთან. „ცეცხლის ასეთი გაგება შეესაბამება ამჟამინდელი ოფიციალური მეცნიერების გაგებას იმ განსხვავებით, რომ ცეცხლის ქვეშ ჰერაკლიტე ჩვეულებრივ მატერიასთან ერთად გულისხმობდა აზრობრივ სუბსტანციასაც. ჰერაკლიტესათვის „ცეცხლი“ არა მარტო სამყაროს არსებობის მატერიალური საფუძველია (რაც საოცრად დიდ მიგნებას წარმოადგენს), არამედ უფრო მეტიც, მისი აზრით, ცეცხლი გონიერია და მთელი კოსმოსის მონესრიგების მიზეზია“ [12;62].

ჰერაკლიტე ცეცხლს მიანერს ღვთაებრივ „გონს“, რომელიც სამყაროს მართავს. ე.ი. მან შემოიტანა გონიერი ცეცხლის ცნება, რითაც იგი უახლოვდება დღევანდელი გაგებით ენერგონიფორმაციული სუბსტანციის ცნებას.

ჰერაკლიტემ შემოიტანა „ლოგოსის“ ცნება.

მისი აზრით, „ღმერთი ეს იგივე ლოგოსი, ანუ სამყაროს გონებაა“. მისთვის „ლოგოსი“, „აზრი“ და „სიტყვა“ იდენტური ცნებებია [14;298].

ჰერაკლიტეს მიხედვით, სამყაროს არსებობის საფუძველი დაპირისპირებათა ჰარმონიულ და დიალექტიკურ ერთიანობაში მდგომარეობს:

„ურთიერთ დაპირისპირებისაგან წარმოიშობა უმშვენიერესი ჰარმონია“ [15; 297].

მას სწამდა ორი ძირითადი პრინციპი:

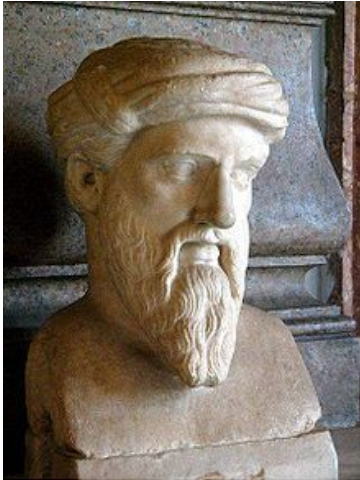
1. ყოველივე ბრძოლაში იბადება;
2. ყოველივე განუწყვეტლივ მოძრაობაშია.

ჰერაკლიტეს მიხედვით, საგნის არსი მისი მრავალფეროვანი თვისებათა ერთობაა.

ბერძნული ფილოსოფია ვითარდებოდა იდეალისტური მიმართულებითაც. ძველი საბერძნეთის პირველი იდეალისტური სკოლა იყო **პითაგორას** სკოლა.

3. პითაგორასა და მის მიერ შემეცნებული სამყაროს სურათის შესახებ

ძველ საბერძნეთის გამოჩენილი მათემატიკოსი და ფილოსოფოსი, მისტიური რელიგიური და სამეცნიერო საზოგადოების



სახლის დამაასებელი **პითაგორა** (ძვ. წ. 580-500) იყო მიღებული

ფილოსოფოსის ანაქსიმანდრეს მოწაფე. ცოდნის გასაღრმავებლად მან ბევრი იმოგზაურა (ფინიკია, არაბეთი, სპარსეთი, ინდოეთი, ეგვიპტე). განსაკუთრებით აღნიშნავენ მის ეგვიპტეში მოგზაურობასა და იქ მიღებული ცოდნის მნიშვნელო-ბას.

პითაგორას გაუვლია ყველა ფაზა ეგვიპტელი ადაპტის ცხოვრებისა თვით ხელოვნურ სიკვდილამდე და

აღდგომამდე. იგი მთლიანად დაუფლებია ეგვიპტელი ქურუმების სიბრძნის მწვერვალებს. საბერძნეთში დაბრუნებულმა და უმაღლესი ცოდნით აღჭურვილმა

პითაგორამ სამხრეთ იტალიაში ქალაქ კროტონში დააარსა სარწმუნოებრივ-ზნეობრივი მიმართულების საზოგადოება – კავშირი, როგორც ფილოსოფიურ-რელიგიური და მეცნიერული სკოლა.

პითაგორას მიერ დაარსებული ინსტიტუტი ერთდროულად წარმოადგენდა ეთიკური აღზრდის კოლეგიასაც, მეცნიერებათა აკადემიასაც და სანიმუშო საზოგადოებასაც დიდი ხელდას-ხმულების მეთაურობით“ [131;243].

პითაგორიანელთა უძველესი პერიოდი მოიცავს (531-500) ძვ. წწ. მეორე პერიოდში (550-500) ძვ. წწ. ჩამოყალიბდა პითაგორული მეცნიერული მოძღვრების მთავარი სისტემა. ძვ. წ. (450-430)-იან წლებში იქმნება პითაგორული მოძღვრება, რომლის ძირითადი დებულებები ფილოლასმა წერილობითი სახით გამოაქვეყნა – „ბუნების შესახებ“.

პითაგორა შეეცადა ხიდის გადებას მისტიკასა და მეცნიერებას შორის. ამიტომ პითაგორა აღიარებულია მისტიკურ-მეცნიერული ფილოსოფიის ფუძემდებლად [131;275].

ედ. შიურეს აზრით, პითაგორამ შექმნა მეცნიერული რელიგია. მან, დასავლეთის ხალხებისათვის, თავისი სწავლების ძვირფას ჭურჭელში, დააუნჯა (შემოინახა) აღმოსავლეთის სიბრძნის უძირითადესი დედაარსი [131;242].

პითაგორას მოძღვრების ძირითად საფუძველს წარმოადგენდა ტერნერის (სამების) კანონი, რომელიც განსაზღვრავს ნებისმიერი არსების სტრუქტურას, და მისი ევოლუციური განვითარების 7-საფეხურიანობა. პითაგორას აზრით, კოსმოსის საიდუმლოება ჩადებულია სამი სამყაროს სინთეზში. სამი სამყარო – ბუნებრივი, ადამიანური და ღმერთისეული – ურთიერთმხარდაჭერითა და ურთიერთგანსაზღვრებით, აღმავალი და დაღმავალი მოძრაობით ასრულებენ კოსმიურ დრამას [131; 217].

პითაგორელები პირველები ფიქრობდნენ, რომ ყოველგვარი ექსპერიმენტის გარეშე, მარტო სუფთა რიცხვების მისტიკური შემეცნებით შესაძლებელია აიხსნას სამყაროს სტრუქტურა [103;410].

პითაგორა თვლიდა, რომ ყველაფრის საწყისის საფუძველი არის რიცხვები, რომლებიც წარმოადგენენ საგნების არსს, ხოლო მთელი სამყარო წარმოადგენს რიცხვების ჰარმონიას. პითაგორელები რიცხვებში ხედავდნენ გარკვეულ იდუმალ აზრს. მათთვის რიცხვები ერთიდან ათამდე, თითოეული, სამყაროს რაღაც გამოვლინებას, ან თვისებას გადმოსცემდა [15;287].

პითაგორასათვის 1 არის სამყაროს პრინციპი. სამყარო, ანუ კოსმოსი, არის ჰარმონია, რადგანაც ის წარმოადგენს ერთის ჰარმონიულ გაშლას რიცხვების მიხედვით. მეორე მხრივ, საგნის არსი მისი ფორმით გამოიხატება. ფორმა გეომეტრიული ფიგურაა. გეომეტრია კი, სივრცეში გაშლილი არითმეტიკა, ანუ რიცხვების ჰარმონიული ერთობლიობაა. რიცხვების ჰარმონიული ერთობლიობა, თავის მხრივ, ერთის გაშლით მიიღება გარკვეული არსის, ანუ კანონზომიერების მიხედვით (ე.ი. გარკვეული წინასწარი გეგმით. ერთი ↔ რიცხვები ↔ გეომეტრიული ფიგურები ↔ საგნები ↔ კოსმოსი). ერთი კოსმოსური ჰარმონიის შემქმნელი ნამდვილი არსია, რომელიც რეალურად წინ უსწრებს ემპირიულ ბუნებას და ქმნის მას [186;245].

ერთის არსი მდგომარეობს მის მარადიულობაში, სიკეთესა და მშვენიერებაში.

პითაგორას თანახმად, რიცხვი ერთი არის ღმერთის შესაბამისი, რადგანაც ის არის შეუქმნადი უმაღლესი მონადა, ერთიანი რაობა, რომელიც შეიცავს უსასრულობას. ის შეიცავს ყველაფერს, როგორც ერთიანი და მთლიანი. უმაღლესი მონადა მოქმედებს შემოქმედებითი დიადის საშუალებით. გამჟღავნების მომენტიდან ის ორსახოვანია: განუყოფელი რაობა და გაყოფადი მატერია. საწყისი აქტიურისა, სიცოცხლისუნარიანისა, მამაკაცურისა და პასიური, პლასტიკური, ქალური ბუნებისა – მატერია (როგორც მასალა).

პითაგორას მიხედვით, გამჟღავნებული ხილული სამყარო სამმაგი ბუნებისაა: აქტიური, პასიური და საშუალო. ყველაფერს საფუძვლად უდევს სამების კანონი, რასაც ადგილი აქვს სამყაროს ყოველი სახით გამოვლინებაში, განვითარების

ნებისმიერ ეტაპზე. მაგალითად, საგანი \leftrightarrow იდეა, ფიზიკური მატერია და ფორმა.

ტრიალის ერთობის კანონი წარმოადგენს მთელი ეზოთერული მოძღვრების ქვაკუთხედს. რელიგიის ყველა დიდმა შემოქმედმა იცოდა ეს კანონი. პითაგორას დამსახურება იმაში მდგომარეობს, რომ მან მოგვცა ამ კანონის ფორმულირება ბერძნული გენიის სიცხადით [131;258].

პითაგორას აზრით, ევოლუციური განვითარების გარკვეულ საფეხურზე ნებისმიერი მონადის აქტიურ ნაწილს შეესაბამება რიცხვი 1, პასიურს – რიცხვი 2. მათი შეერთებით (დიალექტიკური ურთიერთობით) მიიღება საშუალო, რომელსაც შეესაბამება რიცხვი 3. ევოლუციური განვითარების გარკვეული საფეხურის აქტიური, პასიური და საშუალო მონადების შეერთებით მიიღება ახალი რაობა, რომელიც წარმოადგენს ევოლუციური განვითარების მომდევნო საფეხურის აქტიურ მონადას, რომელსაც პითაგორამ შეუსაბამა რიცხვი 4.

1 (მამა) ; 2 (დედა); 3 (შვილი); \Rightarrow 4(ოჯახი); $1 + 2 + 3 \Rightarrow 4$.

II 4 მომდევნო საფეხური

I 1, 2, 3 არსებული საფეხური

მაგალითად: კაცობრიობის საზოგადოებრივი ევოლუციური განვითარების პირველ საფეხურად თუ ცალკეულ ადამიანებს ვიგულისხმებთ, მაშინ შემდგომ – მეორე საფეხურს ოჯახები წარმოადგენენ.

პითაგორელთა მოღვაწეობის მესამე პერიოდი ტრაგიკულად დამთავდა: სამხრეთ იტალიის სხვადასხვა ქალაქებში არსებული პითაგორიანელთა სკოლები დარბეულ და განადგურებულ იქნა პითაგორიანელთა მოწინააღმდეგე დაჯგუფებების მიერ, დაახლებით ძვ. წ. 435 წელს.

ძვ. წ. V საუკუნის უკანასკნელ მესამედში პითაგორელი სწავლულები (ქურუმები) გაიფანტნენ სახვადასხვა ქვეყანაში. ამ დროს შამოვიდნენ საქართველოში ქართველი პითაგო-

რელები. მიჩნეულია რომ ქართული ასომთავრული ანბანი შექმნილია ქართველი პითაგორელების მიერ ძვ. წ. (430-400) წწ.

რ. პატარიძის აზრით, ქართული ასომთავრულის შემქნელი ერთ-ერთი ქართველი ქურუმთაგანი ძვ. წ. V საუკუნის ერთ-ერთი უდიდესი პიროვნებაა.

ძველი ბერძნული ფილოსოფიის იდეალური მხარე განვითარებულ იქნა **პლატონის** მიერ.

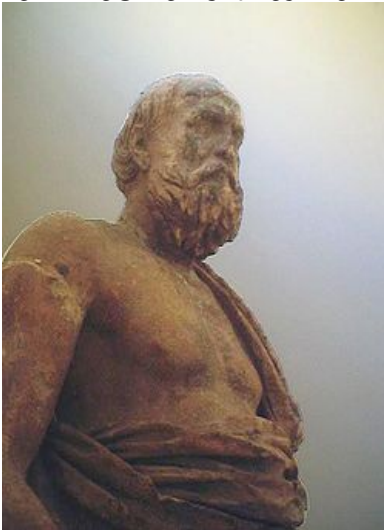
4. პლატონის ნატურფილოსოფია

„უნდა ვაღიაროთ, რომ ეს ჩვენი კოსმოსი არის სულითა და გონიერებით მოსილი ცოცხალი არსი“.

პლატონი

ბერძენი ფილოსოფოს-იდეალისტი **პლატონი** მოღვაწეობდა ძვ.წ. (423-347) წწ. ის 30-ზე მეტი ფილოსოფიური დიალოგის ავტორია. პლატონი ფუძემდებელია ობიექტური იდეალიზმისა. ახალგაზრდობაში პლატონი უსმენდა სოკრატეს, რომლის გარდაცვალების შემდეგ იმოგზაურა ჯერ მცირე აზიაში, შემდეგ ეგვიპტეში, იქაური ქურუმების ცოდნის შესაძენად, დაბოლოს, იტალიაში პითაგორას ეზოთერული მოძღვრების გასაცნობად. ათენში დაბრუნების შემდეგ პლატონმა დააარსა თავისი ფილოსოფიური სკოლა ათენის აკადემიის სახელწოდებით [131; 320].

პლატონის ნაშრომებს შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია „ტიმეოსი“, რომელსაც „პლატონის ენციკლოპედიას“ უწოდებენ. იგი წარმოადგენს მთელი იმდროინდელი ეპოქის აზროვნების მეცნიერულ შეჯამებას [40;9].



პლატონის ფილოსოფიური მოძღვრების გვირგვინია „აბსოლუტური ერთი“ – უზენაესი სიკეთე და მთელი სინამდვილის პირველმიზეზი. იგია ჭეშმარიტებაც, სამართლიანობაცა და მშვენიერებაც. იგია იდეალური სამყაროს დასაბამი, მისი სულიერი მზე და ცენტრი [40;129].

„აბსოლუტურ ერთს“ პლატონი მიიჩნევს დროისა და სივრცის მიღმა არსებულ რაობად, რომელსაც ყოველგვარ ყოფიერებასა და ცნობიერებაზე მალლა დგას.

პლატონის აზრით, „აბსოლუტური ერთი“ კი არ გამორიცხავს სიმრავლეს, არამედ თავისი არსებობის ფაქტით გულისხმობს მას. „ერთი“ დანაწევრებულია, მაგრამ მისი ბუნება საპირისპიროთა სანყისების ერთობითაა შეთხზული. პლატონის ფილოსოფიაში „კოსმიური გონისა“ და კოსმოსური სამყაროს შემოქმედად მიჩნეულია „უზენაესი სიკეთე“.

კოსმოლოგიურ სურათი პლატონის მიხედვით.

უპირველესყოვლისა, პლატონი ერთმანეთისაგან განასხვავებს ორ რაობას:

I. მარადიული და დაუბადებელი არსი; და

II. მარად ცვალებადი არსი.

მარად იგივეობრივი არსია ის, რაც შეგრძნების საგანს არ წარმოადგენს და მარტო გონებითა და აზროვნებით არის მისაწვდომი.

მარად ცვალებადი არსი გონივრული შეგრძნების საგნად გვევლინება, გამუდმებით იბადება და კვდება. აქ პლატონი გრძნობადკოსმოსურ სამყაროსა და მასში არსებულ საგნებს გულისხმობს, რომლებიც იბადებიან, განუწყვეტლივ ცვალებადობას განიცდიან და ბოლოს კვდებიან. მაგრამ, პლატონის აზრით, „ის რაც იბადება, აუცილებლად უნდა იბადებოდეს ამა თუ იმ მიზეზის გამო, რადგანაც შეუძლებელია უმიზეზოდ დაიბადოს რაიმე“ [40;28d].

ე.ი. პლატონი ეყრდნობა კაუზალობის – მიზეზობრიობის პრინციპს.

ყოველი დაბადებულის პირველმიზეზად პლატონს შემოქმედი მიაჩნია, რომელიც საგნის ფორმისა და თვისებების შექმნისას პირველნიშუად იყენებს მარად უცვლელსა და იგივეობრივ არსს. პლატონი კოსმოსის („ცა“, „სამყარო“) მიმართ სვამს კითხვას: „დაუბადებადია და დაუსაბამო, თუ დაბადებადია და დასაბამის მქონე“? და იქვე პასუხობს:

„რადგანაც ის ხილულია და ხელშესახები, ხოლო ყველა ამნაირი საგანი გრძნობადი გახლავთ, ყოველივე გრძნობადი (წარმოდგენითა და შეგრძნებით რომ აღიქმება) კი, როგორც ჩანს, ქმნადობასა და დაბადებასთანაა ნილნაყარი“, ამიტომ ის (გრძნობადკოსმოსური სამყარო) დაბადებულია [40; 28b].

კაუზალობის პრინციპის თანახმად, დაბადებულს უნდა ჰყავდეს შემოქმედი. პლატონს სამყაროს შემქმნელად დემურგოსი (უზენაესი ღმერთი), ხოლო მის (სამყაროს) პირველ-ნიმუშად მარად „იგივეობრივი, აზრობრივი და გონების მეშვეობით სანვდომი არსი“ მიაჩნია. ამის მტკიცებების საფუძვლად, პლატონის აზრით, ის ფაქტიც საკმარისია, რომ „კოსმოსი ყველაზე მშვენიერია დაბადებულთა შორის“ [40;29d].

პლატონის მიხედვით შეუძლებელი იყო, რომ ყველაზე უკეთესს – დემურგოსს შეექმნა რაიმე ისეთი, რაც ყველაზე მშვენიერი, დახვეწილი და უნიკალური არ იქნებოდა [40;30a].

მართლაც, ჩვენი გრძნობადკოსმოსური სამყარო იმდენად რთული, უნიკალური, ჰარმონიული და მშვენიერია, რომ შეუძლებელია მას შემოქმედი არ ჰყავდეს. პლატონს გონიერების სავანედ სული მიაჩნია. ამიტომ, მისი აზრით, შემოქმედმა „გონიერება ჩაუნერგა სულს, სული კი ჩაუდგა სხეულს და თავისი ბუნებით ააგო სამყარო, რათა შეექმნა უმშვენიერესი და ყოვლის უმჯობესი ქმნილება. ამიტომ უნდა ვაღიაროთ, რომ ეს ჩვენი კოსმოსი არის სულითა და გონიერებით მოსილი ცოცხალი არსი და რომ ის დაიბადა ჭეშმარიტად ღვთიური წინასწარხედვის წყალობით“ [40;30b].

„ღმერთმა ერთ ცოცხალ და ხილულ არსად შექმნა იგი, რომელიც თავის თავში შეიცავს ბუნებით მის მონათესავე ყველა ცოცხალ არსს“ [40;31d].

პლატონს გრძნობადკოსმოსური სამყარო „ერთ, გონიერებით მოსილ, ცოცხალ არსად“ წარმოუდგენია. მისი აზრით, შექმნილ სამყაროში, „მარტო ამა თუ იმ კონკრეტულ ადგილზე კი არ არის წარმოდგენილი სიცოცხლე, არამედ მთელი სამყარო წარმოადგენს და მოიცავს სიცოცხლეს“.

პლატონი კოსმიურ გონის შესახებ.

„რომელი ცოცხალი არსის ხატად და მსგავსად შექმნა შემოქმედმა მთელი სამყარო?“ – სვამს კითხვას პლატონი და თვითონვე პასუხობს: „წარმოვიდგინოთ იმნაირი ცოცხალი არსი, რომელიც ცალ-ცალკე და ერთობლივად მოიცავს ყველა ცოცხალ არსებას, როგორც თავის ნაწილს“ [40;30c].

ბ. ბრეგვაძის განმარტებით, პლატონი ამ „ცოცხალი არსის“ ქვეშ გულისხმობს იდეათა სამყაროს პირველნიმუშს, რომელიც სულთა სამყაროში „ტიმეოსის“ მიხედვით „ცოცხალ არსებებად“ გვევლინება, ხოლო მათი ერთობა ქმნის „გონებას“. ამიტომ თვით გონება აბსოლუტური სიცოცხლეა – „ყოვლად ცოცხალი არსი“, რომელსაც ნეოპლატონიკოსები „თვითცოცხალს“ უწოდებენ [40;39].

ეს ე.წ. „თვითცოცხალი“ არსი, ამჟამინდელი გაგებით, „კოსმიურ გონს“ უნდა შეესაბამებოდეს. ე. ი. პლატონის აზრით, შემოქმედმა მთელი გრძნობადკოსმოსური სამყარო შექმნა „კოსმიური გონის“ ხატად და მსგავსად. „მართლაცდა, როგორც ის მოიცავს გონით საწვდომ ყველა ცოცხალ არსს, ისე კოსმოსი მოიცავს ჩვენსა და ჩვენს მსგავს ყველა სხვა ხილულ არსებასაც“ (ასკვნის პლატონი) [40;30d].

სამყაროს ერთადერთობა პლატონის მიხედვით.

პლატონს შემოაქვს სამყაროს ერთადერთობის კოსმიური პრინციპი და გადაჭრით ამტკიცებს მას. მისი აზრით, სამყარო ერთია, რადგანაც ერთია პირველნიმუში (კოსმიური გონი), რომლის მიხედვითაც შეიქმნა იგი: „ცა (სამყარო) ერთია, რაკილა პირველნიმუშის მიხედვით არის შექმნილი“ [40; 31a].

პლატონი მატერიის შესახებ.

სამყაროს თვისებების ასახსნელად პლატონს ფუძემდებლური პირველნიმუშისა და მისი ასლის (დაბადებული და ხილული) ცნებების პარალელურად შემოაქვს „მესამე გვარის“ ცნება (ცნება მატერიისა), რომელსაც „მიმრქმელს“ უწოდებს [40; 49a].

ეს ის ცნებაა, რომელიც ჯერ თალესმა შემოიტანა ნყლის, ანაქსიმანდრემ –აპეირონის, ხოლო ანაქსიმენმა –ჰაერის სახით.

პლატონს მატერიის ცნება შემოაქვს ყოველგვარი თვისებისა და შინაარსისაგან დაცლილი რაობის სახით. ის „თავისი ბუნებით იმნაირია, რომ დაუყოვნებლივ იღებს ყოველგვარ ნაჭდევს თუ ანაბეჭდს, მაგრამ მოძრავი და ფორმაცვალებადია ყოველივე იმის ზემოქმედების შედეგად, რაც მასში შედის. რაკი ანაბეჭდი უთვალავ ფერად მოცემული სიმრავლის სახით ევლინება ჩვენს მზერას, ამიტომ ის, რაშიც

მთელი სიმრავლე აღიბეჭდება, ვერაფრით ვერ შეიძლება თავის დანიშნულების შესრულებას, პირნიმინდად განძარცვული რომ არ იყოს ყოველგვარი ფორმისგან, რომელიც მან საიდანაც უნდა მიიღოს. ამიტომ ვერ ვიტყვით, რომ ყოველივე დაბადებულისა და გრძნობადის დედა და მიმრქმელი – ესაა მიწა, ჰაერი, ცეცხლი ანდა წყალი; არც ის, რაც ამ საწყისთაგან იღებს დასაბამს, ანდა პირუკუ, რისგანაც დასაბამს იღებენ თვით ეს საწყისნი“.

პლატონისათვის მატერია – მიმრქმელი – „ძიძა“ აბსტრაქტული ცნებაა, რომლის არც შეგრძნება შეიძლება, არც წარმოდგენა, მაგრამ სამყაროს საფუძველია. მართლაც „ძიძა იმდენად, რამდენადაც ასაზრდოებს ყოველივე ქმნადსა და ცოცხალს“.

მატერიის ასეთი ცნება ზუსტად შეესაბამება ვაკუუმის ენერგიის ცნებას ამჟამინდელი გაგებით, რომელიც ნაწილობრივ გარდაიქმნა მატერიის ამა თუ იმ ფორმად, ხოლო უფორმოდ მისი არსებობის წარმოდგენა შეუძლებელია.

საგანთ საწყისნი პლატონის მიხედვით.

პლატონს სამყაროს მატერიალურ საფუძველად, ერთი მხრივ, „მიმრქმელი“ მიაჩნია, ხოლო, მეორე მხრივ, საგანთ საწყისნი (მიწა, წყალი, ჰაერი და ცეცხლი), რომელთა საფუძველს, მის თანახმად, სიმეტრიული ფორმის ატომები წარმოადგენენ და რომლებიც, თავის მხრივ, ორი სხვადასხვა ტიპის მართკუთხა სამკუთხედებისაგან შედგებიან. ე.ი. გამოდის, რომ უფორმო, უთვისებო პლატონისეული მატერია („მიმრქმელი“) ამ სამკუთხედების (ელემენტარული ნაწილაკების) ნივთიერ საფუძველს წარმოადგენენ. ამ მოსაზრებას კარგად შეესაბამება სამყარო წარმოშობის თანამედროვე დიდი აფეთქების თეორიით, რომლის მიხედვით სამყარო წარმოიშვა ჯერ ვაკუუმური ენერგიით სავსე დიდი სიმკვრივისა და უმცირესი ზომის ბუშტულაკის სახით, რომლის ნაწილის დანაწევრების შედეგად წარმოიქმნენ ის ელემენტარული ნაწილაკები, რომლებიც ამჟამინდელი სამყაროს ნივთიერი ნაწილის აგურაკებს წარმოადგენენ.

ამგვარად, პლატონის აზრით, საჭიროა განვაცალკევოთ სამი სხვადასხვა რაობა (გვარი): ის, რაც იბადება, იზრდება და

ვითარდება, ის, რაშიც იბადება, და ის, რის მსგავსადაც იბადება.

პირველს – რაც იბადება, პლატონი ადარებს შვილს, მეორეს – მიმრქმელს (ძიძას) – დედას, ხოლო მესამეს – პირველნიმუშს – მამას.

სამყაროს სული პლატონის მიხედვით.

პლატონის „ტიმეოსის“ მიხედვით „ღმერთმა უპირველესად და უხუცესად შექმნა სული, როგორც სხეულის მეუფე და მბრძანებელი, შექმნით კი შემდეგნაირად და შემდეგი ნაწილებით შექმნა იგი: დაუყოფელი და მინყვი იგივეობრივი არსისაგან (იგულისხმება კოსმიური გონი), ისევე, როგორც იმისაგან, რაც სხეულებში დაყოფას განიცდის (იგულისხმება პლატონისეული „სხვა“ – „მიმრქმელი“, ანუ მატერია – მასალა). „მან შერევის გზით შექმნა მესამე შუალედური სახე არსისა, რომელიც წილნაყარია როგორც იგივეობრივის (გონის), ისე „სხვის“ ბუნებასთანაც, და დაუყოფელსა და დაყოფადს შორის დაამკვიდრა იგი; მერე აიღო სამივე არსი და ერთ მთლიან იდეად შეაზავა ისინი, აიძულა რა შერევის მიმართ ურჩი ბუნება „სხვისა“ (მიმრქმელისა), შერწყმოდა იგივეობრივს“ [40;35b].

როგორც პლატონის მიერ ამ ფრაზაში ჩაქსოვილი აზრი, ისე მის მიერ „ტიმეოსში“ მოცემული გრძნობადკოსმოსური სამყაროს სულისა და სხეულის სტრუქტურა, ჩემი აზრით, მშვენივრად აქვს გაშიფრული ბატონ ბაჩანა ბრეგვაძეს თავის წიგნში „პლატონი“, კერძოდ, II თავში – „ტიმეოსის იდეურ-შინაარსობრივი სამყარო“. ამიტომ გრძნობადკოსმოსური სამყაროს პლატონისეული „სულისა“ და „სხეულის“ გარჩევისას ძირითადად ვიყენებ ბ. ბრეგვაძის ნაშრომს. პლატონის აზრით, სიცოცხლე ისევე განუყოფელია სამყაროსაგან, როგორც მოძრაობა მატერიისაგან... სამყაროს გრანდიოზული სხეული ცოცხალი ორგანიზმია, ხოლო მისი სიცოცხლის ერთადერთი მიზეზი არის სამყაროს სული. ამ თვალსაზრისით სამყარო, როგორც მაკროკოსმოსი, სხვა არა არის რა, თუ არა სულისა და სხეულის ერთობლიობისაგან შექმნილი ადამიანის, ანუ მიკროკოსმოსის, ზუსტი ანალოგი [40;163].

პლატონი „ტიმეოსში“ დაწვრილებით აგვიწერს სამყაროს სულისა და სხეულის შინაგან სტრუქტურას, რომელიც, მისი აზრით, მათემატიკურ, მუსიკალურ და პლასტიკურ ელემენტთა ორგანულ მთლიანობაზეა დაფუძნებული. რას წარმოადგენს გრძობადკოსმოსური სამყაროს სული?

„პლატონის მიხედვით, სამყაროს სული ერთგვარი შუალედური სანყისია იდეალურ სინამდვილესა და გრძობადკოსმოსურ სამყაროს შორის, კოსმიური გონების პირმშო, კოსმოსის მაცოცხლებელი და მაორგანიზებელი ძალა“ [40;169].

„სული გონების ხატებაა, მის გარეთ გამოვლენილი“, ე.ი. წარმოთქმული „სიტყვაა“ [40;172].

სამყაროს სულის შესაქმნელად დემიურგოსი ერთმანეთს უხამებს „იგივეობრივს“, როგორც უცვლელის სანყისს და „სხვას“ – მოძრაობისა და ცვალებადობის პრინციპს, რადგანაც სული სამყაროს მოძრაობის მიზეზად გვევლინება [40;171].

კოსმიური გონის მსგავსად, სულიწმინდა, უცვლელი და წარუვალია (კოსმოსური სამყაროს დროისა და სივრცის მიღმა არსებული). პლატონის აზრით, სული ისე იღვრება მატერიაში, როგორც მზის შუქი – სამყაროში, მაგრამ ერთიანი და განუყოფელი რჩება.

სამყაროს სულის პლატონისეული ჰარმონიული სტრუქტურა განისაზღვრება მუსიკალურ-მათემატიკური თანაფარდობითა და „ოქროს კვეთის“ კანონით, რომელსაც იცნობდნენ ჯერ კიდევ პითაგორელები, და სრულყოფილების მისაღწევად პრაქტიკაში ფართოდ იყენებდნენ ბერძენი ფერწერის, ქანდაკებისა და ხუროთმოძღვრების დიდოსტატები [40;191].

სამყაროს სხეული პლატონის მიხედვით.

„ტიმეოსის“ თანახმად სამყარო, უწინარეს ყოვლისა, ღვთაებრივ მიზეზთა ქმედითობის შედეგია: შემოქმედი – დემიურგოსი, ანუ კოსმიური გონება, იდეათა მიხედვით ქმნის სამყაროს, რომელიც იდეალური სინამდვილის ხატად და ასლად გვევლინება. სამყარო, როგორც იდეალური სიკეთისა და მშვენიერების სრულქმნილი ხატი, შექმნილი კოსმიური გონის მიერ, არ შეიძლება თავადაც სრულყოფილი და მშვენიერი არ

იყოს. „ამრიგად, უნდა ვაღიაროთ, რომ ეს ჩვენი კოსმოსი არის სულითა და გონიერებით მოსილი ცოცხალი არსი და რომ ის დაიბადა ჭეშმარიტად ღვთიური წინასწარხედვის წყალობით“ [40;51].

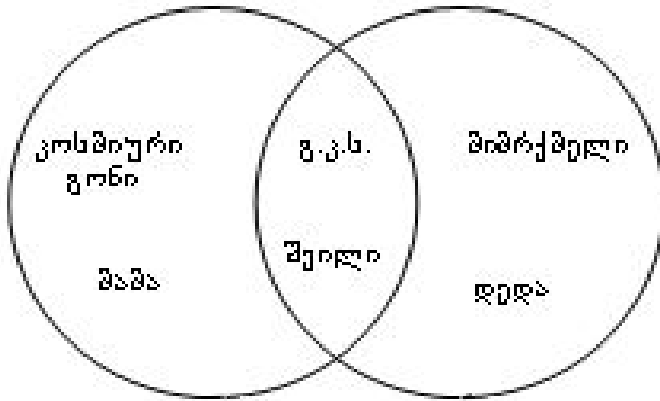
პლატონის მიხედვით, კოსმოსი წარმოადგენს ხელოვნების ქმნილებას. „სამყაროს გონი – დიდოსტატი შემოქმედი, ხელოვნების კანონების მიხედვით, წინასწარ აგებს კოსმოსს. ბუნების ჯადოქრულ ხიბლს, მის მომნუსხველ მშვენიერებას, სამყაროს მწყობრსა და დახვეწილ წესრიგს არქიტექტურულ, მუსიკალურ და პლასტიკურ სანყისთა ერთობლიობა განაპირობებს, ხოლო ყოველივე ამას მათემატიკის პრინციპზე დაფუძნებული ერთიანი გეგმა უდევს საფუძვლად“ [40;52].

თუ ასეა, „კოსმიურ გონს“ წინასწარ შემუშავებული უნდა ჰქონოდა სამყაროს შექმნის გეგმა, რომელიც უნდა ითვალისწინებდეს სამყაროს ევოლუციური განვითარების გეგმასაც. ყოველივე ეს, სამყაროს როგორც სტრუქტურის, ისე ევოლუციური განვითარების გეგმა, ინფორმაციული თვალსაზრისით, ჩანერილი უნდა ყოფილიყო სადღაც ენერგო-ინფორმაციული ველის მახსოვრობით ნაწილში.

ამრიგად, პლატონი, ერთი მხრივ, ინტუიციით გრძნობს, რომ გრძნობადკონკრეტული სამყარო, რომელიც მას ხელოვნების ნიმუშად წარმოუდგენია, უნდა შედგებოდეს ორი ურთიერთსაპირისპირო ფუნდამენტური სანყისისაგან: კოსმიური გონისა (ინფორმაციისა) და „მიმრქმელისაგან“ (მატერიისაგან). (ნახ.1.1).

კოსმიური გონი ასრულებს სამყაროს პირველნიმუშის – გეგმის როლს, ხოლო ყოველ თვისებრიობას მოკლებული მატერია – მასალის როლს.

მეორე მხრივ, პლატონის დაკვირვებული თვალი და ანალიზური გონი ამჩნევს, რომ სამყაროში არსებობს ოთხი ძირითადი ელემენტი: მინა, წყალი, აირი და ცეცხლი, რომლეთაც იგი საგანთა სანყისად (ანუ, ამჟამინდელი მეცნიერების შესაბამისად, ქიმიურ ელემენტებად) მიიჩნევს.



ნახ. 1.1

პლატონის აზრით, გრძნობადკოსმოსური სამყარო შექმნილია ოთხი ელემენტისაგან, რომლებიც თავისი თვისებრიობით გარკვეულ მათემატიკურ მიმდევრობას ქმნიან. ეს ელემენტებია: ცეცხლი, ჰაერი, წყალი და მიწა, რომელთა კიდურა წევრებია ცეცხლი და მიწა, ხოლო შუათანა – ჰაერი და წყალი. ცეცხლს, როგორც აქტიურ პირველ წევრს, შეესაბამება რიცხვი 1; მიწას, როგორც პასიურ ბოლო წევრს – რიცხვი 2. ამასთან, ცეცხლი (a), ჰაერი (b) და მიწა (d) ქმნიან ჰარმონიულ პროპორციას, სადაც

$$b=2ad/(a+d)=4/3.$$

თანამიმდევრობა ცეცხლი (a), წყალი(c) და მიწა (d) – არითმეტიკულ პროპორციას, სადაც

$$c=(a+d)/2=3/2,$$

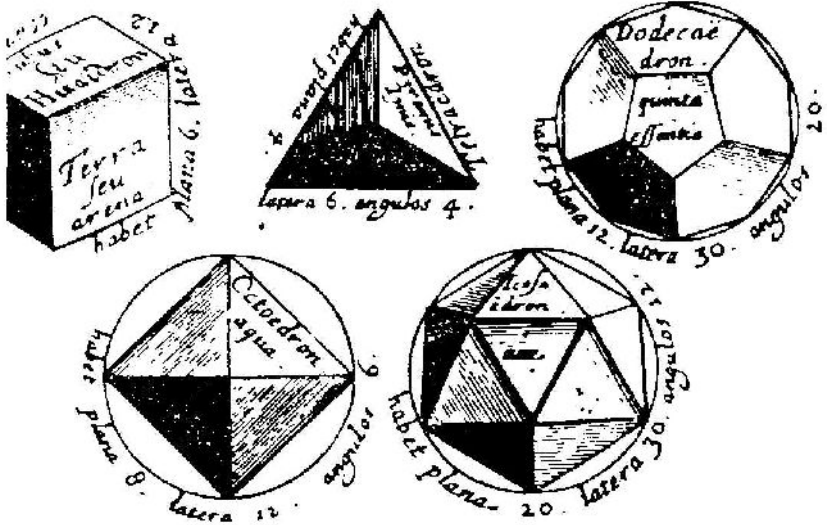
ხოლო თანამიმდევრობა ცეცხლი (a), ჰაერი (b), წყალი (c), მიწა (d)–გეომეტრიულ პროპორციას ორმაგი შუა წევრით:

$$a/b=c/d; 1:(4/3)=(3/2):2,$$

ე.ი. მიმდევრობას ცეცხლი (a), ჰაერი (b), წყალი (c), მიწა (d) შეესაბამება რიცხვითი მიმდევრობა:

$$1, (4/3), (3/2), 2.$$

პლატონი გრძნობადკოსმოსურ სამყაროს ქმნის ხელოვნების ორი სხვადასხვა დარგის – მუსიკისა და არქიტექტურის პირნციპების ერთდროული გამოყენებით [40;32].



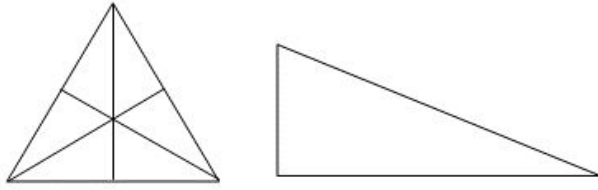
ნახ. 1.2

1. კუბი (ქვესნახნაგა) - მინა;
2. ტეტრაედრი (ოთხნახნაგა) - ცეცხლი;
3. დედოკაედრი (თორმეტნახნაგა) - კოსმოსი.
4. ოქტაედრი (რვანახნაგა) - ჰაერი;
5. იკოსაედრი (ოცნახნაგა) - წყალი;

სამყაროს შექმნის პლატონისეული არქიტექტურის განუყოფელ ნაწილად შეიძლება ჩავთვალოთ მისეული მოსაზრება „ელემენტარულ ნაწილაკთა“ და „ატომთა“ (გეომეტრიული ფორმების) მიკროსტრუქტურის შესახებ. მან გრძნობადკოსმოსური სამყაროს შემადგენელ ძირითად ელემენტებს მინას, წყალს, ჰაერსა და ცეცხლს შეუსაბამა წესიერი

მრავალნახნაგა სხეულები – კუბის, იკოსაედრის, ოქტაედრისა და ტეტრაედრის სახით. ცნობილია, რომ ტეტრაედრი – 4, ოქტაედრი – 8, იკოსაედრი კი 20 წესიერი ტოლგვერდა სამკუთხედებისაგან შედგებიან. კუბი შედგება 6 კვადრატისაგან, ხოლო დედოკაედრი შედგება 12 წესიერი ხუთკუთხედისაგან (ნახ.1.2).

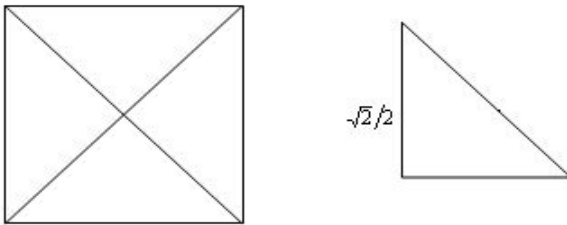
პლატონის აზრით, ზემოხსენებული მრავალნახნაგები შეიძლება მივიჩნიოთ იმ უმცირეს ნაწილაკებად – ატომებად, რომელთა საშუალებით აიგება ნებისმიერი ნივთიერი სხეული გრძნობადკოსმოსური სამყაროში. ატომისტიკის ფუძემდებლების ლევიკიპესა და დემოკრიტეს ატომები უცვლელნი, მარადიულნი, აბსოლუტურად მარტივნი და ერთმანეთზე დაუყვანადი პირველადი ნაწილაკებია, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდებიან მხოლოდ მასით, სიდიდითა და კონფიგურაციის უსასრულო მრავალფეროვნებით. ისინი მოკლებულნი არიან შინაგან სტრუქტურას. მაშინ, როდესაც გენიალური ინტუიციის საფუძველზე, პლატონმა შეძლო ჩამოეყალიბებინა ატომის გაცილებით უფრო დახვეწილი, ელეგანტური და მკაცრ მათემატიკურ პრიციპზე დაფუძნებული მოდელი. პლატონმა თითოეულ ფიზიკურ ელემენტს (ცეცხლი, ჰაერი, წყალი, მინა) წესიერ მრავალნახნაგა სხეულთა ესა თუ ის ტიპი შეუსაბამა, რასაც, უწინარეს ყოვლისა, გეომეტრიული სიმეტრიზმი უდევს საფუძვლად. ხოლო თვით ატომები შემადგენელი ნაწილების (სხვადასხვა ტიპის სამკუთხედების), ანუ თანამედროვე გაგებით, ელემენტარული ნაწილაკებისაგან შედგება. პლატონისათვის ნივთიერ საგანთა უმცირესი „საშენი აგურები“ ზემოხსენებული გეომეტრიული ფიგურები, ან მათი შემადგენელი წესიერი ნახნაგები კი არ არიან, არამედ – ორი სხვადასხვა ტიპის ელემენტარული მართკუთხა სამკუთხედი. წესიერი სამკუთხედი შედგება 6 ისეთი მართკუთხა სამკუთხედისაგან, რომლის ჰიპოტენუზა უდრის 1-ს, მცირე კათეტი – $1/2$ -ს, ხოლო დიდი კათეტი – $\sqrt{3/2}$ (ნახ.1.3).



ნახ. 1.3

ხოლო წესიერი ოთხკუთხედი – კვადრეტი შედგება 4 ტოლფერდა მართკუთხა სამკუთხედისაგან, 1-ის ტოლი ჰიპოტენუზითა და $\sqrt{2}/2$ ტოლი კათეტებით (ნახ. 1.4).

ამრიგად, ეს ორი ტიპის უმარტივესი მართკუთხა სამკუთხედი, პლატონისათვის სამყაროს შემადგენელი დასაბამი უმცირესი აგურაკებია. ამჟამინდელი მეცნიერული წარმოდგენით მათ შეიძლება შევუსაბამოთ α და d ე.წ. კვარკები, რომლებიც საყოველთაოდ ცნობილი ნაწილაკების – პროტონებისა და ნეიტრონების შემადგენელ ნაწილაკებს წარმოადგენენ. თუმცა, პლატონისეულ პირველად სამკუთხედებს მატერიალ ვერ მივიჩნევთ, ისინი მხოლოდ მის მათემატიკურ ფორმებად გვევლინებიან [60;48-49].



ნახ. 1.4

ვ. ჰაიზენბერგს მოეწონა პლატონის აზრი იმის შესახებ, რომ ელემენტარული ნაწილაკები მათემატიკური ფორმებია. იგი მიხვდა, რომ ბუნების მოვლენების მრავალფეროვანი და რთუ-

ლი ხლართის გახსნა შესძლებელია მათში მათემატიკური ფორმების აღმოჩენით. მისი აზრით, თანამედროვე კვანტური თეორიის მიხედვით, შეუძლებელია იმაში ეჭვის შეტანა, რომ ელემენტარული ნაწილაკები და მით უმეტეს კვარკები, საბოლოო ანგარიშით, აგრეთვე (თუმცა გაცილებით უფრო რთულ), აბსტრაქტული ბუნების მათემატიკურ ფორმებს წარმოადგენენ [2;208].

პლატონისეული ერთი ტიპის მრავალნახნაგიდან შეიძლება მიღებულ იქნეს სხვა ტიპის მრავალნახნაგები, რაც კარგად შეესაბამება ნივთიერებათა გარდაქმნისა და ცვალებადობის თანამედროვე ფიზიკო-ქიმიურ კონცეფციას, რომლის ავტორმაც ათასწლეულობით წინ გაუსწრო თავის ეპოქას და უახლესი დროის საბუნებისმეტყველო თვალსაზრისს მიუახლოვდა [15; 228].

პლატონი სამყაროს ფორმის შესახებ.

პლატონის მოსაზრებით, ღმერთის მიერ შექმნილ ცოცხალ არსს – სამყაროს „არ სჭირდება არც მზერის, არც სმენის, არც მონელების ორგანოები, არც ტანი და კიდურები. მან სამყაროს მისცა სფეროს ფორმა წრიული ბრუნვითა და პირწმინდა გლუვი ზედაპირით“ [40; 33C,d].

ხოლო პლატონისეული კოსმოსური სფეროს კარკასს სამგანზომილებიანი ჯვარი წარმოადგენს, რომლის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ღერძების მიმართულება შეესაბამება მოძრაობის 6 სხვადასხვა სახეს (წინ, უკან, მარჯვნივ, მარცხნივ, ზევით და ქვემოთ), ანუ სივრცის 6 სხვადასხვა მიმართულებას.

„ასე შეიქმნა წრიულად მბრუნავი ცარგვალი, ერთადერთი და ეული, მაგრამ თავისი სრულყოფილების წყალობით, თავისივე თავთან თანშეზრდილი, მეტის არაფრის მდომელი, თვითშემეცნებითა და თავისივე თავის სიყვარულით გულსაგსე და კმაყოფილი“ [40;34b].

ე. ი. პლატონისეული კოსმიური სამყარო თვითშემეცნებადი და თვითკმარია.

პლატონის მიხედვით, „რაც შეეხება დედამიწას, ჩვენს მარჩენალსა და ძიძას, თავისი ღერძის გარშემო ირგვლივ რომ ბრუნავს, რომელიც მთელ სამყაროზე გადის, ღმერთმა დღე-

ღამის მცველად და გამრიგედ შექმნა იგი, როგორც ცის წიაღში შობილ ღმერთთა შორის უპირველესი და უხუცესი ღვთაება“ [40;40b].

ე.ი. პლატონს ღრმა ინტუიციის გამოისობით სცოდნია, რომ დედამინა ბრუნავდა თავის ღერძის გარშემო, რომელიც მან სამყაროს ღერძად მიიჩნია.

პლატონი სამყაროს თვითკმარობის შესახებ.

პლატონის აზრით, „სამყაროს“ თავიდანვე უნდა ესაზრდოვა თავისი საკუთარი კვდომით, თავისთავად განეხორციელებინა ყოველგვარი ქმედება და თავიდანვე დაეთმინა ყოველგვარი ვნება, როგორც დაუნერა მისმა გამჩენმა, რომელიც თვლიდა, რომ თვითკმარისობა მრვალნილ სჯობდა ნაკლოვანებასა და უკმარისობას“ [40;35,d].

პლატონის აზრით, გრძნობადკოსმოსური სამყაროს „ყოველგვარი ქმედება“ (სტრუქტურულობის ზრდა) უნდა განხორციელდეს საკუთარი კვდომის, დესტრუქტურიზაციის, ქაოსურობისაკენ სწრაფვის ხარჯზე.

პლატონის ეს გენიალური მიგნება ბრწყინვალედ დასტურდება სამყაროს ამჟამინდელი მეცნიერული თეორიით. სამყარო, როგორც მთლიანი, ხასიათდება ენტროპიის ზრდის კანონით, მაგრამ მის რომელიმე ნაწილში, დედამინაზე ადგილი აქვს ევოლუციას, ენტროპიის შემცირებას, მხოლოდ იმის წყალობით, რომ მის დანარჩენ ნაწილში ადგილი აქვს ენტროპიის უპირატეს ზრდას, რაც განპირობებულია სამყაროს გაფართოებით. ექსპერიმენტული დაკვირვებანი ცხადყოფს, რომ ყოველი ახალი სტრუქტურა წარმოიქმნება ძველის თვითკვდომის საფუძველზე.

პლატონი სამყაროს თვითშემეცნებადობის შესახებ.

უაღრესად მნიშვნელოვანია ის, რომ პლატონი შემოქმედის მიერ შექმნილ გრძნობადკოსმოსურ სამყაროს (გკს) თვითშემეცნების მქონე ცოცხალ არსად მიიჩნევს. ე.ი. კოსმიური სამყარო არა მარტო ერთიანი სიცოცხლისუნარიანი არსებაა, არამედ თვითშემეცნების უნარის მქონე ცოცხალი არსებაც,

რაც იმას უნდა ნიშნავდეს, რომ გკს-ს თვითკვდომის საფუძველზე, თავის უნიკალური თვისებებით, თავის თავში წარმოშობს მოაზროვნე დამკვირვებელს.

მართლაც, გ.კ.ს.-ოს ერთ-ერთ ძირითად, სტრუქტურულად ყველაზე რთულ და ევოლუციურად ყველაზე მაღალგანვითარებულ ნაწილს, ადამიან-დამკვირვებელი წარმოადგენს. სწორედ ადამიანისა და კაცობრიობის საშუალებით უნდა ახდენდეს კოსმიური სამყარო თავისი თავის თვითშემეცნებასაც, მასში მიმდინარე პროცესების კორექციასაც და ევოლუციურ განვითარებასაც.

პლატონი წესრიგისა და ქაოსურობის შესახებ.

„სამყაროს შექმნა სხვა არა არის რა, თუ არა განუსაზღვრელისათვის განსაზღვრულობის მინიჭება და, ამრიგად, ქაოსური უსასრულობის კოსმიურ მწყობრ წესრიგად ქცევა. კოსმოსის შექმნას რომ შეუდგა, ღმერთმა, უწინარეს ყოვლისა, ეს ოთხი სანყისი (მინა, წყალი, ჰაერი, ცეცხლი) მოანწესრიგა იდეებისა და რიცხვების მეშვეობით“ [40; 232].

პლატონის ეს მოსაზრება სავსებით შეესაბამება ამჟამინდელ ოფიციალური მეცნიერების მოსაზრებებს.

პლატონის მიხედვით, სამყარო მწყობრი წესრიგისა და ქაოსური უწესრიგობის დიალექტიკურ ერთობას წარმოადგენს. წესრიგისა და უწესრიგობაც ორი სხვადასხვა მიზეზისგან იღებს დასაბამს. პირველი – იდეალურ, ხოლო მეორე მატერიალურ მიზეზთა შედეგს წარმოადგენს. ამასთან, იდეალური მიზეზნი პირველადნი არიან, ხოლო მატერიალური მეორეული. ამიტომ, პლატონის აზრით, „გონებისა და ცოდნისმოყვარეს მართებს, უწინარეს ყოვლისა, განიხილოს ის მიზეზები, რომელთა გონივრული ქმედების შედეგად გვევლინება სიკეთე და მშვენიერება და შემდეგ ისინი, რომელთა უთავბოლო ქმედებითაც დასაბამი ეძლევა ყოველგვარ შემთხვევითობასა და უწესრიგობას“.

„მაგრამ იდეალური მიზეზები დაფარულნი არიან, მატერიალური მიზეზები კი – ცხადი და ხილული. სწორედ ესაა პლატონის აზრით, საბედისწერო შეცდომის წყარო, ვინც სამყაროს მარტო მატერიალურ მიზეზთა ქმედების შედეგად

სახავს“, – სამართლიანად შენიშნავს ბატონი ბაჩანა ბრეგვაძე [40;233].

პლატონი დროის შესახებ. პლატონის მიხედვით დრო ვარსკვლავებისა და ცის (ე. ი. გრძნობადკოსმოსური სამყაროს) დაბადებასთან ერთად შეიქმნა. ეს ის დროა, რომელიც „დაბადებამ შეგრძნებით საგანთ არგუნა წილად“. „ამრიგად, დრო ცასთან ერთად დაიბადა, რათა ერთად დაბადებულნი ერთადვე დაშლილიყვნენ“ [40;38,b].

ასეთი გაგებით შემოტანილი დროის ცნება, რომელსაც სამყაროს დრო შეიძლება ვუწოდოთ, ხასიათდება დაბადებით, წარსულით, აწმყოთი, მომავლითა და დასასრულით.

სამყაროს დროის გარდა, პლატონს შემოტანილი აქვს მარადისობის ცნება, რომელიც ერთიანი და უსასრულოა და არ შედგება ცალკეული ნაწილებისაგან (წარსული, აწმყო და მომავალი). მარადისობა წარუვალს აწმყოა, რომელიც ხასიათდება ერთადერთი პრედიკატით – „არის“. მაშინ, როცა დრო ხასიათდება წარსულით, აწმყოთი და მომავლით.

პლატონის თვალსაზრისით, მოძრაობა, ცვალებადობა (ე.ი. პროცესის მიმდინარეობა) და დრო ერთმანეთის ტოლფასია (პლატონს არ გააჩნია დროის სხვა ზუსტი დეფინიცია).

ამიტომ პლატონს დროის ზომის განმსაზღვრელად მზე, მთვარე და ვარსკვლავები მიაჩნია, რომლებიც ციკლურად მოძრაობენ [40;38,b].

პლატონისეული სამყაროს დროის გაგება შეესაბამება კოსმოლოგიური დროის ამჟამინდელ ცნებას. ყოველ საგანს შეესაბამება ინდივიდუალური დრო, რომელიც ხასიათდება წარმოქმნის მომენტით, წარსულით, აწმყოთი, მომავლითა და გაქრობის (სიკვდილის) მომენტით. ხოლო პლატონისეული მარადისობა შეიძლება შევესაბამოთ 11-განზომილებიანი სივრცე-დროითი კონტინიუმის მარადიულობას (თავი 1.9).

პლატონი ადამიანებისა და ვარსკვლავების შესახებ. პლატონის მიხედვით, შემოქმედმა „ნაზავიდან გამოყო იმდენივე სული, რამდენიც არის ვარსკვლავი, და მთელს ცაზე ჩამოარიგა ისინი, ისე, რომ თითოეულ სულს თითო ვარსკვლავი ხვდა წილად“. შემოქმედმა „ბედისწერის კანონები გაანდო მათ,

მათვე დასაბამი უნდა მისცენ სულდგმულთა შორის ყველაზე ღვთისმოსავ ცოცხალ არსებათა – ადამიანთა მოდგმას“ [40;41d].

პლატონის მიხედვით, თითოეულ ვარსკვლავს შეესაბამება თითოეული სული, ხოლო თითოეულ სულს – თითოეული ადამიანი. ე.ი. არსებობს ცალსახა შესაბამისობა ადამიანებსა და ვარსკვლავებს შორის. ეს აზრი საინტერესოა იმ თვალსაზრისითაც, რომ, როგორც აღმოჩნდა, თითოეული ადამიანი თავისი მასითა და მოცულობით წარმოადგენს ნივთიერების უმცირესი ნაწილაკის – წყალბადის მოლეკულასა და რომელიმე შესაბამის ვარსკვლავის მასისა და მოცულობის საშუალო გეომეტრიულს.

დასკვნა: პლატონი, თავისი გენიალური ინტუიციისა და რაციონალური აზროვნების წყალობით, იდუმალებით მოსილი კოსმიური სამყაროს შესახებ, მივიდა ისეთ დასკვნებამდე, რომლებმაც დადასტურება პოვნის XX საუკუნის მეცნიერებაში. თუმცა ამჟამინდელი ოფიციალური მეცნიერება ჯერ არ მისულა პლატონისეული კოსმიური გონის აღიარებამდე, მაგრამ მისი გათვალისწინების გარეშე გაუგებარი რჩება ჩვენი უნიკალური კოსმოსური სამყაროს ბევრი უცნაური თვისება, სიცოცხლის წარმოშობა და ადამიანის ფუნქცია-დანიშნულება.

5. ატომისტური კონცეფცია

ბერძნული ფილოსოფიის მატერიალისტურმა მიმართულებამ გაგრძელება პოვა ძველი ატომისტების სწავლებაში.

მიჩნეულია, რომ ძველ ინდოეთში და ძველ ჩინეთში წარმოიშვა იდეა იმის შესახებ, რომ მატერია შედგება უამრავი უმცირესი ნაწილაკებისაგან, რომელთაც შემდგომში ბერძნებმა ატომები უწოდეს. ამ კონცეფციის ფუძემდებლებად ძველ საბერძნეთში ითვლებიან **ლევკიპე** (500-440 ძვ.წ.), **დემოკრიტე** (460-370ძვ.წ.) და **ეპიკურე** (341-270ძვ.წ.), რომლებიც სამყაროს საფუძლად აღიარებდნენ სიცარიელესა და ატომებს. ატომები მარადიულნი და მუდმივად მოძრავნი არიან. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ ფორმებით, სიდიდით, მდებარეობითა და წესრიგით. ისინი მარადიულად მოძრაობენ

უსასრულო, მაგრამ დაყოფად სიცარიელეში. ხოლო ყოველი არსებული სხეული არის ატომების მოძრაობის, ურთიერთდაჯახებითა და შეერთებით წარმოქმნილი შედეგი [12].

ისინი სამყაროს საფუძლად აღიარებდნენ სიცარიელესა და ატომებს. მათი თვალსაზრისით, ატომები არც წარმოიქმნებიან და არც ქრებიან. „ყველაფერი არც არაფრისაგან (არყოფისაგან) წარმოიქმნება და არც არაფერს უბრუნდება“.

დემოკრიტეს აზრით, ბუნებაში ბატონობს მკაცრი მიზეზობრივობა; „უმიზეზოდ არაფერი წარმოიქმნება. ყველაფერი წარმოიქმნება აუცილებლობის საფუძველზე“.

სამყარო შეიქმა აუცილებლობით. არსებობს ჩვენი სამყაროს მსგავსი სამყაროები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ატომებისაგან და იშლებიან ატომებად. დემოკრიტეს სწავლებამ განვითარება პოვა ეპიკურეს (341-270) ძვ.წ. ფილოსოფიაში.

ეპიკურეს მატერიალისტური მოძღვრება პოპულარული ენით გადმოსცა რომაელმა პოეტმა და ფილოსოფოსმა **ლუკრეციუს კარუსიმ** (29-55 ძვ.წ.) თავის შესანიშნავ პოემაში „საგანთა ბუნებისათვის“. ეს ქმნილება ადამიანს აოცებს გასაკვირი სითამამითა და პოეტური გენიის სიდიადით [27;1].

ბუნების უმნიშვნელო მოვლენების ზუსტი დაკვირვებით, მიღებული ინფორმაციის ღრმა ლოგიკური ანალიზისა და გენიალური ინტუიციის წყალობით ლუკრეციუსი (როგორც სხვა ძველი ბერძენი ფილოსოფოსები) მივიდა უაღრესად საინტერესო დასკვნებამდე ბუნების ფუნდამენტური თვისებების შესახებ. ლუკრეციუსს უდავო ჭეშმარიტებად მიაჩნდა დებულება:

„არარაისგან თვითონ ღმერთიც ვერაფერს შექმნის“ [27;7].

ლუკრეციუსს მიაჩნდა, რომ მატერია მარადიულია:

„მე დავამკიცე: არც რა იშვის არარაისგან

და დანაბადიც ვერ გარდიქმნას არარაობად“ [27; 10].

ლუკრეციუსმა მის გარშემო საგნებზე დაკვირვებით დააადგინა, რომ ისინი (დანა, გუთნის სახნისი, ქვა და სხვ.) თანდათან იშლებიან და მიილევნიან. მაგრამ ვერაფერს ამჩნევს, თუ რა ნაწილი სცილდებათ მათ. ამიტომ მას გამოაქვს დასკვნა,

რომ ნებისმიერი სხეული შედგება უმცირესი ნაწილაკებისაგან, რომელთაც პირველსაწყისებს, „თესლებს“ უწოდებს. ლუკრეციუსის აზრით ეს ნაწილები არ არიან უსასრულოდ მცირენი, წინააღმდეგ შემთხვევაში:

„და რომ ბუნებას რამ საზღვარი არ დაედგინა
საგანთ რღვევისთვის, მატერიის სხეული უკვე
ხანგრძლივი რღვევით მივიდოდა ისეთ დონემდე, რომ
დრო დანარჩენი მას ვერაგზით ვერ აღადგენდა“ [27; 18].

ლუკრეციუსის აზრით, საგნის უსასრულო მცირე ნაწილებად დაშლის შემთხვევაში, ამ ნაწილებისაგან ახალი საგანი სასრულ დროში ვეღარ აღდგებოდა, რაც სავსებით ლოგიკურია. საგანთ სანყისნი – ატომები განირჩევიან სიმსუბუქით, სიგლუვით, ხორკლიანობით, მაგრამ ისინი არ არიან უსასრულოდ მრავალფეროვანი და უსასრულოდ სხვადასხვა ზომის.

„... ნურც კი იფიქრებ, რომ საგანთ თესლნი
უსასრულოდ მრავალფეროვნებს,
ანდა სიდიდე იყოს მათი უზომ-უსაზღვრო“ [27;51]

ლუკრეციუსი დარწმუნებული იყო, რომ:

„საგანთა თესლი, დაფარული, შეურეველი,
მრავალ საგნისთვის უნდა იყოს მარად საერთო.“

ხოლო საგნის თვისება განპირობებულია მასში შემავალი ატომების თვისებრიობით, მათი ურთიერთგანლაგებითა და ურთიერთმოძრაობით[27; 28].

ლუკრეციუსის აზრით სამყარო უსასრულო და უსაზღვროა.

„ხამს ვაღიაროთ, რომ არ არის მსოფლიოს მიღმა
არცა ნაპირი, ზღვარი რამე, ან განაკიდე“ [27; 30].

ლუკრეციუსის აზრით, სამყაროს, საბოლოო ჯამში, ელის განადგურება, რადგანაც ის არაა ღმერთის მიერ შექმნილი, მისი აზრით სამყარო ოდესღაც იშვა და ოდესმე დაილუპება კიდევ, როგორც ყოველი ნაშობი.

„უნდა ვიცოდეთ, ცას და მინას სწორედ ასევე,
ოდეს ჰქონია შობის ჟამი, დალუპვაც ელის“ [27;154].

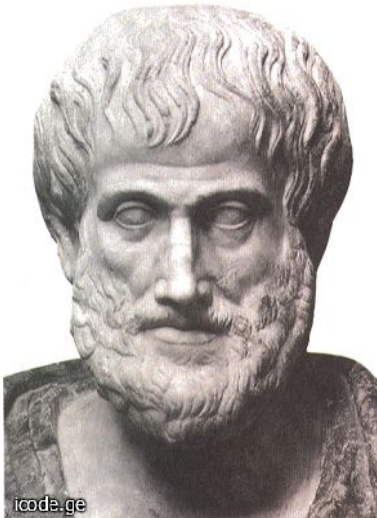
ლუკრეციუსის მიერ XXI საუკუნის წინ გამოთქმული ეს გენიალური ინტუიციური აზრი ზედმინევნით შეესაბამება

ამჟამინდელ მეცნიერულ თვალსაზრისის კოსმოსური სამყაროს წარმოშობისა და მომავლის შესახებ.

ჩემი აზრით, ლუკრეციუსის უმნიშვნელოვანეს ინტუიციურ მიგნებას წარმოადგენს მოსაზრება: „**არარაისგან თვითონ ღმერთიც ვერაფერს შექმნის**“, რაც აბსოლიტურ ჭეშმარიტებას წარმოადგენს.

6. არისტოტელს ნატურფილოსოფია

ძველი საბერძნეთის დიდმა ფილოსოფოსმა **არისტოტელემ** (384-322) ძვ.წ. თავის ფილოსოფიურ სისტემაში გააერთიანა იმ



დროის მთელი მეცნიერული ცოდნა. არისტოტელე 18 წლის ასაკში ჩავიდა ათენში სადაც 20 წლის განმავლობაში სწავლობდა პლატონის სკოლაში. მას ძალიან უყვარდა თავისი მასწავლებელი, თუმცა მისი საწინააღმდეგო თვალსაზრისიც კი შეიმუშავა. იგი ამბობდა: „მიყვარს პლატონი, მაგრამ კიდევ უფრო მეტად მიყვარს ჭეშმარიტება“.

მისი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაშრომებია „ფიზიკა“ და „მეტაფიზიკა“. „ფიზიკა“ მიძღვნილია სწავლებისადმი ბუნების შესახებ.

„**მეტაფიზიკაში**“ არისტოტელე განიხილავს სწავლებას ყოველივეს აბსოლუტური საფუძვლის შესახებ. არისტოტელეს მიხედვით, „**მეტაფიზიკა**“ არის ცოდნა ყოფის პირველადი და უცვლელი საწყისების შესახებ, და შესაბამისი აზროვნების მეთოდი [111;28].

არისტოტელეს აზრით, მატერიის შეერთება შესაბამის ფორმასთან არის მოძრაობის კონკრეტული სახე. იგი განასხვავებს მოძრეობის რამდენიმე ფორმას: გადანაცვლება სივრცეში, წარმოშობა, მოსპობა, ზრდა, კლება და თვისობრივი

ცვლილება. განა არისტოტელეს გენიალურ მიგნებას – მოძრაობის წარმოშობისა და მოსპობის სახეს – არ შეესაბამება, მე-20 საუკუნეში ექსპერიმენტულად დაფიქსირებული

ლი დიდი ენერჯის მქონე ელემენ-ტარულ ნაწილაკებს შორის მიმდი-ნარე პროცესები? განა ფიზიკურ ვაკუუმში არსებული ვირტუალური ნაწილაკები არ შეესაბამება რეალურად არსებულ ნაწილაკების ფორმებს? და განა ვირტუალურ ნაწილაკებთან ენერჯის მიერთებით არ იბადიან რეალური ნაწილაკები, რომლებიც მთელი ნივთიერი მატერიის საამშენებლო აგურაკებს წარმო-ადგენენ?

არისტოტელეს მიერ, ანუ 24 საუკუნით ადრე ნაწინასწარ-მეტყელები პროცესების არსებობა ბრწყინვალედ დადასტურდა მე-20 საუკუნეში ნაწილაკებს შორის მაღალ ენერჯიებზე მიმდინარე პროცესების სახით. როცა საწყისი ნაწილაკის კინეტიკური ენერჯის ნაწილი გარდაიქმნება ახლად დაბადებული რეალური ნაწილაკების უძრაობის მასად და ვირტუალურად არსებული ნაწილაკ-ანტინაწილაკების შესაბამისი ფორმების საფუძველზე წარმოიქმნებიან რეალური ნაწილაკ-ანტინაწილაკები.

არისტოტელეს მეცნიერულ აზროვნებას საფუძველად ედო სუფთა ჭვრეტა, ინტუიციური მიხვედრილობა და მისტიკური ზეშთაგონება. **ალ. აინშტაინის** აზრით, მოვლენაზე მხოლოდ ვიზუალური დაკვირვების შედეგად ინტუიციით გამოტანილმა დასკვნამ შეიძლება მიგვიყვანოს მცდარ იდეამდე. სწორედ ამის მაგალითს წარმოადგენს არისტორეტელეს მიერ გამოტანილი დასკვნა სხეულის მოძრაობის შესახებ, რომლის მიხედვით: მოძრავი სხული ჩერდება, როცა მასზე მოქმედი ძალის მოქმედება წყდება. სინამდვილეში ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ სხული განაგრძობს ინერციით მოძრაობას, რომელიც წყდება მასზე მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მიმართული ხახუნის ძალის მოქმედების შედეგად [138;14].

თავი 3 კლასიკური ფიზიკა

1. ფიზიკის სათავეებთან

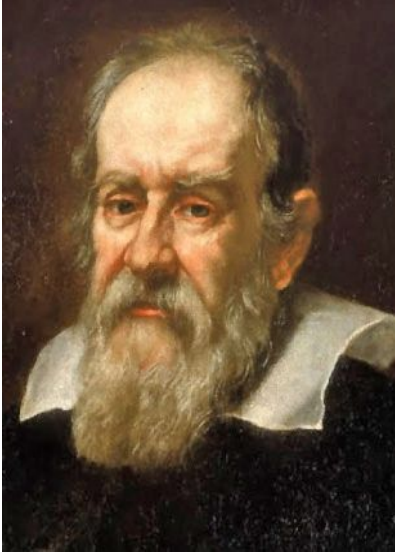
ბუნების მეცნიერების ფუნდამენტული დარგის – ფიზიკის ფესვები უნდა ვეძიოთ ძვ. წ. VI საუკუნის ბერძნულ ფილოსოფიასა და კულტურაში, როცა გამიჯნული არ იყო მეცნიერება, ფილოსოფია და რელიგია. იმ დროინდელი სიბრძნის მეტყველები ცდილობნენ დაედგინათ საგნების ჭეშმარიტი ბუნება, რომელსაც „ფიზიკს“ უწოდებდნენ. სწორედ ამ ბერძნული სიტყვიდან წარმოიქმნა ტერმინი ეპიკურეს „ფიზიკა“, რომელიც დასაწყისში ნიშნავდა საგნის ჭეშმარიტი სტრუქტურის დადგენას. ფიზიკაში შემეცნება წარმოადგენს სამ საფეხურიან მეცნიერულ გამოკვლევას.

პირველ ეტაპზე ადგილი აქვს ექსპერიმენტული მონაცემების (ემპირიული მასალის) დაგროვებას შესასწავლი მოვლენის შესახებ.

მეორე ეტაპი, როცა ხდება შემუშავება მათემატიკური მოდელისა, რომელიც მათემატიკურ სიმბოლოებს თანმიმდევრულად და ცალსახად უსადაგებს ერთმანეთს. მათემატიკური მოდელი ფაქტიურად წარმოადგენს თეორიას, რომლის გადამოწმებაც შემდეგ ხდება სხვა ექსპერიმენტებზე.

ადრე თუ გვიან, დგება მესამე ეტაპი, როცა ფიზიკოსებს უხდებათ თავისი მიღწევების გაცნობა არაფიზიკოსებისათვის, რაც ხდება ჩვეულებრივი სალაპარაკო ენის გამოყენებით. ანუ, საჭირო ხდება მათემატიკური სქემისა და მისი შედეგების ინტერპრეტაცია გარკვეული, არაფიზიკოსისათვის გასაგები, ვერბალური ენის გამოყენებით. სწორედ ასეთი ვერბალური ენის მოდელის შექმნაა მეცნიერული კვლევის მესამე ეტაპი, რომელიც გამოდგება მათი მეცნიერული მიღწევის გაგების კრიტერიუმადაც [84;12].

2. გალილეის მსოფლმხედველობა.



დიდი იტალიელი სწავლული გალილეო გალილეი (1564-1642) ჯერ სწავლობდა პიზას უნივერსიტეტში მედიცინის განხრით. შემდეგ იგი დაინტერესდა მათემატიკითა და მექანიკით. 1609 წელს მის მიერ კონსტრუირებულ იქნა ტელესკოპი, რომელიც იძლეოდა 30-ჯერადი გადიდების საშუალებას. გალილეი ეყრდნობოდა თავის ახალ ასტრონომიულ დაკვირვებებს, რომელთა მეშვეობით მან გააკეთა რამდენიმე მნიშვნელოვანი ასტრონომიული აღმოჩენა [111;67].

აინშტაინის აზრით, გალილეი არის გასაოცარი ნების, გონებისა და სიმამაცის მქონე კაცი, რაციონალური აზროვნების წარმომადგენელი, რომელსაც შეუძლია წინ აღუდგეს ყველას, ვინც ხალხის უმეცრებაზე დაყრდნობით და საეკლესიო სამოსით, ცდილობს შეინარჩუნოს თავისი მდგომარეობა [9;300].

არისტოტელე ამტკიცებდა, რომ შესაძლებელია სამყაროს მმართველი ყველა კანონის გამოყვანა მხოლოდ გონების ძალით და საჭირო არაა მათი შემონმება დამკვირვებელთა საშუალებით. ამიტომ გალილეიმდე არავის არ მოსვლია აზრად ცდის ჩატარება.

მეცნიერების წინაშე გალილეის უდიდეს დამსახურებად ითვლება ის, რომ მეცნიერების ისტორიაში მან პირველად დანერგა ექპერიმენტული მეთოდი ბუნების შემეცნებაში. რაც მთავარია მან მონახა ცდის შედეგიდან ჭეშმარიტი ცოდნის მიღების სწორი მეცნიერული მეთოდი [111;72].

აინშტაინის აზრით, გალილეის ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევა მდგომარეობს მის მიერ მეცნიერული აზროვნების სწორი მეთოდის აღმოჩენასა და გამოყენებაში.

გალილეის მიაჩნდა, რომ ცოდნის წყარო არის ცდა. მაგრამ ცდაზე ასეთი წარმოდგენა გალილეიამდეც არსებობდა. გალილეიმ მოახდინა აღმოჩენა, როლის შედეგად მივიდა დასკვნამდე, რომ ბუნების შემეცნება შედგება სამი პუნქტისაგან:

პირველი – უშუალო დაკვირვება, ანუ ცდა და ექპერიმენტი.

მეორე – ამ დაკვირვების შედეგების გამოყენებით, აზროვნების მეშვეობით აბსტრაქტული თეორიის აგება და ჰიპოთეზის შექმნა.

მესამე – ჰიპოთეზიდან ისეთი შედეგის მიღება, რომელიც შეიძლება შემონიშნოს იქნას ცდის საშუალებით. ცდაში დადებითი შედეგის მიღების შემთხვევაში ჰიპოთეზა იქცევა კანონად [111;74].

აინშტაინის აზრით, მოვლენაზე მხოლოდ ვიზუალური დაკვირვების შედეგად ინტუიციით გამოტანილმა დასკვნამ შეიძლება მიგვიყვანოს მცდარ იდეამდე. მარტივი ცდისეული ფაქტების დახვეწილი ინტერპრეტაციის წყალობით გალილეიმ დაადგინა შემდეგი დებულება: სხეული, რომელზეც არ მოქმედებს არვითარი გარეშე ძალა, უცვლელად ინარჩუნებს თავის სანყის სიჩქარეს; ხოლო თუ ის იცვლის სიჩქარეს, ცვლილება უნდა მიენეროს გარეშე მიზეზს [9;297].

თუ წარმოვიდგენთ, რომ მოძრავ სხეულზე მოქმედი ძალის მოხსნისას, მასზე მოქმედი მოძრაობის შემაფერხებელი ხახუნის ძალა ძალიან მცირეა, მაშინ მისი მოძრაობა უსასრულოდ გაგრძელდება. ამიტომ გალილეი მივიდა დასკვნამდე, რომ თავის თავად სიჩქარის არსებობა არ მიუთითებს იმაზე, მოქმედებს თუ არა სხეულზე გარე ძალები. გალილეის ეს სწორი დასკვნა გაცილებით გვიან ფორმირებულ იქნა ნიუტონის მიერ ინერციის კანონის სახით:

ყოველი სხეული ინარჩუნებს თავისი უძრაობის ან თანაბარსწორხაზოვანი მოზრაობის მდგომარეობას, თუ ის იძულებული არ არის შეცვალოს იგი გარე ძალების მოქმედების შედეგად.

როგორც ჩანს, ინერციის კანონი არ შეიძლება დადგინდეს უშუალოდ ექსპერიმენტის მეშვეობით. დაკვირვებიდან, გამომდინარე ის შეიძლება გამოყვანილ იქნას მხოლოდ აზროვნებისა და მიხვედრილობის მეშვეობით [138;17].

გალილეის წვლილი მეცნიერებაში მდგომარეობს მის მიერ ინტუიციური წარმოდგენის შეცვლაში ახალი – აზრობრივი, მეცნიერის მიერ მოფიქრებული წარმოდგენით. გალილეი, უფრო სწორედ ნიუტონი მიხვდა, რომ ძალის მოქმედება იწვევს სხეულის სიჩქარის ცვლილებას და არა თვით სიჩქარეს, როგორც ინტუიცია ცდაზე დაკვირვება გვიკარნახობს [138;17].

ადამიან-დამკვირვებელი ცდილობს გაიგოს – წარმოიდგინოს თუ როგორაა მოწყობილი სამყარო. ადამიანის ამ მისწრაფებას, ალ. აინშტაინი ადარებს იმ პიროვნებას, რომელიც ცდილობს გაარკვიოს დახურული საათის მუშაობის მექანიზმი. ის ხედავს ციფერბლატს, მოძრავ ისრებს, ესმის წიკ-წიკი, მაგრამ არ ძალუძს საათის კორპუსის გახსნა. მას, თავის ცოდნაზე დაფუძნებით და მიხვედრილობით, შეუძლია წარმოიდგინოს და დახატოს რაღაც მექანიზმის სურათი, რომელიც პასუხობს ყველივე იმას, რასაც ხედავს, მაგრამ ის არასოდეს იქნება დარწმუნებული იმაში, რომ მის მიერ დახატული სქემა ერთადერთია. რაც უფრო მეტი ცოდნა გააჩნია ადამიანს სამყაროს შესახებ, მით უფრო ახლო იქნება მის მიერ ასეთი მეთოდით დახატული სურათი ჭეშმარიტებასთან. მაგრამ, ალ. აინშტაინის აზრით, დამკვირვებელმეცნიერს შეუძლია დარწმუნებული იყოს ცოდნის იდეალური ზღვრის არსებობაში, და რომ კაცობრიობის გონიერება მიუახლოვდება ამ იდეალურ ზღვარს, რომელსაც ადამიანმა შეიძლება უწოდოს ობიექტური ჭეშმარიტება [138;36].

გალილეის ძირითად ამოცანას წარმოადგენდა ბუნების მოვლენების ობიექტური ახსნა.

გალილეის მიხედვით, ჭეშმარიტებას ახასიათებს ორმაგობა. მისი სწავლების მიხედვით, მეცნიერება და ღვთსმეტყველება იყოფა შემეცნების სხვადასხვა არეებად. ამასთან ღვთისმეტყველება არ ერევა მეცნიერების არეში და პირიქით,

მეცნიერება თავის დასკვნებს არ აძალებს ღვთისმეტყველებას. ჭეშმარიტების ორმაგობის შესახებ სწავლების არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მეცნიერება აფართოებს საზღვარს თავის მოქმედების არესა და იმ არეს შორის სადაც ბატონობს ეკლესიური დოგმა. გალილეიმ ბუნების მექანიკური ახსნის მეშვეობით მეცნიერულ აზროვნებაში შემოიტანა ობიექტური ჭეშმარიტებისაკენ უსასრულო მიახლოების იდეა [90;35].

შემეცნების უსასრულობითობა, გალილეის მოსაზრებით, განპირობებულია ბუნების უსასრულობით. ამ იდეამ გაამართლა, და ამჟამადაც წარმატებით გამოიყენება. თავის ცხოვრების ბოლო წლებში გალილეი მიუთითებდა თავისი წვლილის შესახებ უკიდვანო სამყაროს შემეცნების სფეროში. მართაც, მისმა ძირითადმა იდეებმა და მის მიერ ტელედესკოპის აღმოჩენამ მოახდინეს საფუძვლიანი შემობრუნება: მეცნიერების შემეცნების ობიექტად შეიქმნა უსასრულო ბუნება. მისი დაკვირვებითა და ცხადი დასაბუთებით შემეცნებადი სამყარო გაფართოვდა ასჯერ და ათასჯერ იმასთან შედარებით, როგორადაც მას მეცნიერები თვლიდნენ წინა საუკუნეების განმავლობაში [90;35].

მისთვის გაიხსნა კვლევის უსასრულო ველი. გალილეი თავის მრავლრიცხოვან მსმენელებს არწმუნებდა, რომ მეცნიერება ერთხელ და სამუდამოდ მტკიცედ დადგენილი დოგმების ერთობლიობა კი არ არის, არამედ უსასრულობისაკენ მსწრაფი ცოცხალი პროცესია [90;36].

მისი აზრით, ჩვენ ვფლობთ ჭეშმარიტების მხოლოდ მცირე ნაწილს და ბუნება ჩვენ წინ ხსნის უსასრულო არეს შემდეგი კვლევისათვის. იგი ლაპარაკობდა წყნარად, აუღელვებლად და სიხარულით. გალილეის აზრით, კაცობრიობის ცნობიერება, ცოდნის რაოდენობის თვალსაზრისით, ყოველთვის მოიცავს ჭეშმარიტების მხოლოდ მეტად მცირე ნაწილს, რადგანაც ბუნება უსასრულოა, ხოლო ადამიანის ცოდნა – სასრულო. ადამიანის გონება თუმცა ეუფლება ათასწაირ ჭეშმარიტ აზრს, მაგრამ ეს მაინც თითქმის ნულია აბსოლუტური ჭეშმარიტების უსასრულობასთან შედარებით [90;37].

შუა საუკუნეების მოაზროვნეთათვის ბუნების მონყობა წარმოადგენდა ღმერთისეულ საიდუმლოებას, რომელიც ხალხს ეუწყებოდა მხოლოდ გამოცხადებითა და ეკლესიის მამების კომენტარებით, რაც წარმოადგენდა საბოლოო პასუხებს მეცნიერების ყველა კითხვაზე. გალილეისათვის, პირიქით, მეცნიერებას უნდა გაეცა პასუხი ბუნების მოვლენებზე ემპირიული დაკვირვებითა და რაციონალური – ცნებითი აზროვნებით. ამაში მდგომარეობს ძირითადი საფუძველი იმ რეფორმისა, რომელიც მოახდინა გალილეიმ მეცნიერულ აზროვნებაში [90;41].

გალილეის მსოფლმხედველობის საფუძველს წარმოადგენს იდეა, რომელიც იყო და არის მეცნიერების იდეის ღერძი:

სამყაროში მიმდინარე პროცესების ერთობლიობა წარმოქმნის გარკვეულ ჰარმონიულ, მონესრიგებულ მთელს, გამსჭვალულს მიზეზშედეგობრიობით.

ეს იდეა განასხვავებს ნამდვილ მეცნიერებას მეცნიერებამდელი წარმოდგენებისაგან [90;54].

მეცნიერების განვითარების ისტორია წარმოადგენს ამ თვალსაზრისის ნაბიჯ-ნაბიჯ მტკიცებას შემდგომი მეცნიერული აღმოჩენებისა და თეორიული მტკიცებულებების მეშვეობით.

დასავლეთში მეცნიერების განვითარება განახლდა ალორძინების ეპოქაში, როცა არისტოტელესა და ეკლესიის გავლენა შესუსტდა და ხელახლა გაჩნდა ინტერესი ბუნების მიმართ. XV საუკუნის დასასრულს პირველად დაიწყო ბუნების ჭეშმარიტად მეცნიერული შესწავლა ექსპერიმენტების საშუალებით. პარალელურად გაიზარდა ინტერესი მათემატიკისადმი, რამაც გამოიწვია ექსპერიმენტზე დაფუძნებული მეცნიერული თეორიის ფორმულირება მათემატიკური ენით.

3. ნიუტონის ფიზიკა

გამოჩენილი ინგლისელი მათემატიკოსი, ფიზიკოსი, ალქიმიკოსი, ასტრონომი და ფილოსოფოსი **ისააკ ნიუტონი** (1643-1727)



დაიბადა სოფელ ვულსტრონში ფერმერის ოჯახში. 1661 წელს სტუდენტად ჩაირიცხა კემბრიჯის უნივერსიტეტში. ნიუტონმა თავისი მთავარი შრომა „ნატურფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“ გამოაქვეყნა 1687 წელს რომელშიც მან წარმოადგინა კლასიკური მექანიკისა და ციური სხეულების მოძრაობის კანონები. ნიუტონმა შეასრულა ისტორიული როლი ფიზიკის უნიფიკირებაში. მან თვის შრომებში

გააერთიანა ყველა დროის მიღწევა და საბოლოოდ ნატურფილოსოფიისგან გამოყო ფიზიკა, როგორც მეცნიერება [61;119].

მისი ინტელექტის მთელი ქმედების მიზანი ის იყო, რომ ჩვენთვის მისაწვდომოდ აქციოს ესა თუ ის „სასწაული“. მაგრამ როგორ ჩაისახა მის გონებაში ეს „სასწაული“? [9;296].

ინერციის კანონი. ნიუტონამდე დიდი ხნით ადრე ბევრი მძლავრი გონება ფიქრობდა, რომ შესაძლებელია მარტივი ფიზიკური ჰიპოთეზებიდან, დედუქციის შედეგად, პირნმინადად ლოგიკური გზით, დამაჯერებლად აგვესხნა ჩვენი გრძნობების მიერ აღქმული მოვლენები. ალ. აინშტაინის აზრით, ყველაზე მარტივი ცდისეული ფაქტების დახვეწილი ინტერპრეტაციის წყალობით გალილეიმ დაადგინა შემდეგი დებულება: სხეული, რომელზეც არ მოქმედებს არვითარი გარეშე ძალა, უცვლელად ინარჩუნებს თავის საწყის სიჩქარეს; ხოლო თუ ის იცვლის სიჩქარეს, ცვლილება უნდა მიენეროს გარეშე მიზეზს [9;297].

ნიუტონმა თავის მოძრაობის კანონებს საფუძვლად დაუდო გალილეის გაზომვები, რითაც დადგინა, რომ თუ სხეულზე არ მოქმედებს რაიმე ძალა ის იმოძრაებს სწორი ხაზის გასწვრივ რაღაც სიჩქარით. ამ მტკიცებიდან რაოდენობრივ შედეგების მისაღებად, უნინარეს ყოვლისა უნდა ჩამოყალიბდეს სიჩქარისა და აჩქარების ზუსტი მათემატიკური ინტერპრეტაცია, განზომილებების არმქონე (მათემატიკური ნერტილის) სხეულისათვის. ნიუტონს, როგორც ფიზიკოსს, ეს ესახებოდა მხოლოდ ახალი სახის შემეცნებითი ენის გამოგონებად, ენისა, რომელიც მას სჭირდებოდა მოძრაობის ზოგად კანონთა ჩამოსაყალიბებლად [9;297].

ნიუტონი ამტკიცებდა, რომ მისი კანონების ძირითად ნყაროს დაკვირვება და ექსპერიმენტი წარმოადგენს. მისი აზრით, ცდის მეშვეობით შეიძლება გამოყვანილ იქნას მატერიის, სივრცის, დროისა და მოძრაობის ძირითადი განსაზღვრებანი. ამან საშუალება მისცა ნიუტონს განესაზღვრა ძირითადი ფიზიკური სიდიდეების ცნებები:

ნიუტონმა შემოიტანა სხეულის **მასის** ცნება, რომელიც მან განსაზღვრა როგორც სხეულის შემცველი **მატერიის** ზომა.

ნიუტონმა შემოიტანა **მოძრაობის რაოდენობის** ცნება, როგორც მოძრავი სხეულის მასისა და სიჩქარის პროპორციული სიდიდე.

ნიუტონმა პირველმა შემოიღო **ძალის**, როგორც ფიზიკური სიდიდის განმარტება და დაადგინა მისი გაზომვის საშუალება. მან ძალა განსაზღვრა როგორც აღებული სხეულის ისეთი ქმედების ზომა, რომლის სხვა, უძრავ, ან თანაბარ-სწორხაზოვნად მოძრავ, სხეულზე მოქმედებით იცვლება მისი მდგომარეობა [111;128].

შემდეგ ნიუტონმა განსაზღვრა **აბსოლუტური სივრცისა და აბსოლუტური დროის** ცნებები. ნიუტონის მიხედვით, ასეობს ყველასგან დამოუკიდებელი აბსოლუტური დრო, ანუ ხანგრძლივობა, რომელიც მიედინება თანაბრად. და არსებობს აბსოლუტური სივრცე, რომელიც ყოველთვის ერთგვაროვანია და უძრავი. ნიუტონის აზრით „აბსოლუტური დრო“ და „აბსო-

ლუტური სივრცე“ მეტაფიზიკური ცნებებია და შეგრძნებას არ ექვემდებარებიან. ისინი არსებობენ ობიექტურად ადამიანის გონებისგან დამოუკიდებლად. ნიტონის მიხედვით აბსოლუტური დრო და სივრცე მატერიის სათავსოებია, და არა მატერიის ფორმები. ნიუტონის შეხედულება აბსოლუტური დროისა და სივრცის შესახებ უტყუარად ითვლებოდა აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამკვიდრებამდე [111;129].

მექანიკის ძირითადი დებულებების ჩამოყალიბების შემდეგ ნიუტონმა ჩამოაყალიბა მექანიკის ძირითადი კანონები, რომლებიც ცნობილია ნიუტონის კანონების სახელწოდებით:

პირველი კანონი: „ყოველი სხეული იმყოფება თავისი უძრაობის ან თანაბარსწორხაზვანი მოძრაობის მდგომარეობაში მანამდე, სანამ მას არ აიძლებს გარეშე მოქმედი ძალა შეცვალოს თავისი მდგომარეობა.“

მეორე კანონი: „სხეულის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება პროპორციულია მოქმედი ძალისა და მიმართულია იმ წრფის გასწვრივ რომლისაკენაც მიმართულია მოქმედი ძალა“.

მესამე კანონი: „ქმედება ყოველთვის ტოლია უკუქმედებისა, სხვანაირად ორი სხეულის ერთმანეთზე ქმედება ერთმანეთის ტოლია და მიმართულია ურთიერთსაწინააღმდეგოდ“ .

მისი აზრით მატერიალური სხეულები მოქმედებენ სიცარიელეში. ცარიელი სივრცე უძრავია და აბსოლუტური. ამ სივრცეში გადაადგილება აბსოლუტური მოძრაობაა.

ნიუტონის პირველი (ინერციის) კანონის მიხედვით სხეულის მდებარეობა სივრცეში დამოკიდებულია კოორდინატთა სისტემის შერჩევაზე. ალ. აინშტაინის თვალსაზრისით, ნიუტონის მიერ ჩამოყალიბებული ინერციის კანონი არის მხოლოდ იდეალიზირებული ექსპერიმენტის შედეგი, რომელიც ზუსტად ვერასოდეს ჩატარდება.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონის აღმოჩენა.

ზემოხსენებული მექანიკის ძირითადი კანონების გარდა, ნიუტონმა აღმოაჩინა გრავიტაციული მიზიდვის კანონი.

კეპლერის კანონებზე დაყრდნობით ნიუტონმა გამოიყვანა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი, რომლის მიხედვით ყოველი m_1 მასის მქონე სხეული ყოველ მეორე – m_2 მასის მქონ სხეულზე მოქმედებს ძალით, რომელიც პროპორციულია მათი მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილზე კვადრატისა:

$$F=G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

სადაც G პროპორციულობის კოეფიციენტს გრავიტაციულ მუდმივას უწოდებენ. ეს კანონი იძლევა დედამიწის, მთვარის, პლანეტებისა და ვარსკვლავების ორბიტების დიდი სიზუსტით დადგენის საშუალებას. ამრიგად, ნიუტონის მექანიკამ გამოყენება პოვა ციური მოძრაობის თეორიაში, რომელიც ეფუძნება მის მიერ აღმოჩენილ მსოფლიო მიზიდულობის კანონს [111;133].

ნიუტონისეული აბსოლუტური დრო – არის დრო, რომელიც დამოუკიდებელია იმისაგან, თუ რა სიჩქარით მოძრაობს სისტემა, რომელშიც ის იზომება. ნიუტონის მექანიკაში დროის მოძრაობისაგან დამოუკიდებლობის გარანტიას, ანუ ერთიანი სამყაროსეული დროის არსებობის გარანტიას, წარმოადგენს ურთიერთქმედების მყისიერად გავრცელება. ხოლო ქმედების მყისიერი გადაცემა წარმოადგენს 2 მოვლენის ერთდროულობის გარანტიას. რაც იმას ნიშნავს, რომ:

1) a ნარტილში არსებული A სხეული მოქმედებს b ნერტიში არსებულ B სხეულზე და

2) B სხეული განიცდის ამ მოქმედებას იმავე მომენტში [90;170].

ნიუტონმა დაადგინა, რომ ციური სხეულების მოძრაობა მიმდინარეობს ინერციის გავლენითა და მიზიდულობით, რომლებიც სხეულს აიძულებს იმოძრაოს ცენტრალური სხეულის ირგვლივ ელიფსურ ორბიტებზე. პლანეტის ცენტრისკინული აჩქარების გამომწვევი ძალა მიმართულია მზისკენ. ის უდრის მასისა და აჩქარების ნამრავლს. მეორე მხრივ სხეულის სიმძიმე მიმართული დედამიწის ცენტრისაკენ და აგრეთვე პროპორ-

ციულია მასისა. ნიუტონმა დაასკვნა, რომ აქ საქმე გვაქვს იგივეურობასთან. ეს იყო გენიალური იდეა რომელიც გამოისახა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის სახით. ნიუტონმა ციური სხეულების მოძრაობა გააიგივა სხეულის თავისუფალ ვარდნასთან დედამიწაზე. ეს იყო ასტრონომიისა და დედამიწისეული მექანიკის გაერთიანების დასრულება [90;173].

4. მაქსველის განტოლებები

შოტლანდიელი ფიზიკოსი **ჯეიმზ კლარკ მაქსველი** (1831 - 1879) მხოლოდ 14 წლის იყო, როდესაც ედინბურგის სამეფო საზოგადოების წინაშე გეომეტრიის შესახებ დაწერილი მისი ნაშრომის წარდგენა სთხოვეს, 24 წლისა კი აბერდინის უნივერსიტეტის პროფესორი გახდა. ათი წლის შემდეგ სამსახურს თავი დაანება და მაგნეტიზმისა და ელექტრობის შესახებ თეორიების შესაქმნელადაც მოიცალა. მაქსველმა, ფარადეის ველის ძალწიერების გათვალისწინებით გასაოცარი დასკვნა გააკეთა: სინათლე, სინამდვილეში ძალწირის გასწვრივ გავრცელებული უდიდესი სიჩქარის ტალღებია. ამ ტალღებს მან ელექტრომაგნიტური ტალღები დაარქვე და თავისი აზრის სისწორეც დაამტკიცა. მისი გამოთვლების თანახმად, არსებობდა სხვა სახის, სინათლის ტალღაზე უფრო გრძელი და მოკლე ელექტრომაგნიტური ტალღებიც. მაქსველის სიცოცხლეში მათი აღმოჩენა არ მოხერხდა, მაგრამ ახლა ვიცით, რომ რადიოტალღები, ინფრანითელე სხივები, ულტრაიისფერი სხივები, რენტგენის X-სხივები და X –სხივები ელექტრომაგნიტური ტალღების ოჯახს მიეკუთვნება. მაქსველის ეს აღმოჩენა მისმიერვე აღმოჩენილი ელექტრომაგნიტური ველის განტოლებებიდან გამომდინარეობს. მაქსველის მიერ აღმოჩენის გაკეთებამდე ცნობილი იყო ბიო-სავარისა და ამპერის კანონი, რომლის მიხედვით გამტარობის ელექტრო დენი თავის გარშემო წარმოქმნის გრიგალურ მაგნიტურ ველს, რაც გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{4f}{c} \mathbf{j} \quad (1)$$

სადაც rot H - გამოხატავს მაგნიტური ველის დაძაბულობის გრიგალისებურ ცვლილებას, ხოლო \mathbf{j} – დენის სიმკვრივეა.

ცნობილი იყო აგრეთვე ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი, რომლის მიხედვით დროში ცვლადი მაგნიტური ველი $d\mathbf{B}/dt$ წარმოქმნის გრიგალურ ელექტრულ ველს rot E , რაც გამოიხატება მაქსველის პირველი განტოლებით:

$$\text{rot E} = -\frac{1}{c} d\mathbf{B}/dt \quad (2)$$

სადაც \mathbf{E} - ელექტრული ველის დაძაბულობაა, ხოლო \mathbf{B} – მაგნიტური ველის ინდუქცია.

დაისვა კითხვა: შეიძლება თუ არა ცვლადმა ელექტრულმა ველმა წარმოქმნას გრიგალური მაგნიტური ველი? რაც მათემატიკურად გამოიხატებოდა შემდეგი გამოსახულებით:

$$\text{rot H} = \frac{1}{c} d\mathbf{D}/dt \quad (3)$$

სადაც \mathbf{D} ელექტრული ველის ინდუქციაა. ხაზგასამელია, რომ მაქსველისათვის ცნობილი ფარადეის ექსპერიმენტები და სხვა ექსპერიმენტული მონაცემები მას საშუალებას არ აძლევდა დაეშვა, რომ ცვლადი ელექტრული ველი წარმოშობს მაგნიტურ ველს, მაგრამ მაინც დაენერა განტოლება (3). ამიტომ თანაფარდობა (3) წარმოადგენდა მხოლოდ მათემატიკურ აბსტრაქციას, მაშინ, როცა (1) და (2) თანაფარდობა ექსპერიმენტულადაც დასტურდებოდა. მაქსველის **გენიალობა** იმაში მდგომარეობს, რომ მიუხედავად ექსპერიმენტული ფაქტების არ არსებობისა, მან შესაძლებლად მიიჩნია გრიგალური მაგნიტური ველის წარმოშობა ელექტრული ველის ცვლილებით. მაქსველს დიდი გამარჯვება მოუტანა მისმა მეთოდმა – მიეცა ფიზიკური აზრი ველის თეორიის მათემატიკური აბსტრაქციებისათვის [90;318].

დიდი გერმანელი ფიზიკოსის მაქს ბორნის (1882-1970)წწ აზრით, მაქსველის მიერ ველის დროში ცვლადი განტოლებების შემოღება წარმოადგენს არა ანალიტიკურ (გონივრულ)

წინასწარმეტყველებას, არამედ **ინტუიციურ წინასწარმეტყველებას** [93;480].

როცა მან განაზოგადა ელექტრული დენის ცნება და შემოიტანა წანაცვლების დენის ცნება, რომელიც იზომება ელექტრული ველის **D** ინდუქციის დროის მიხედვით წარმოებულით. მან დაუშვა, რომ წანაცვლების დენს ისეთივე ფიზიკური აზრი აქვს, როგორც გამტარობის დენს. ანუ, წანაცვლების დენიც ქმნის გრიგალურ მაგნიტურ ველს, ისევე როგორც გამტარობის დენი. შესაბამისად ეს ორი დენი იჯამება და ერთად ქმნიან გრიგალურ მაგნიტურ ველს, რაც გამოიხატება შედეგი ფორმულით:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{4f}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{d\mathbf{D}}{dt} \quad (4)$$

ეს არის მაქსველის მეორე განტოლება, რომელიც მის პირველ განტოლებასთან (3) ერთად, გამოხატავს იმას, რომ მაგნიტური ველის ყოველგვარი ცვლილებისას აღიგნება წანაცვლების დენი დიალექტრიკებში და გამტარობის დენი გამტარებში. ამით მან ფიზიკური აზრი მისცა (3) თანაფარდობას. მაქსველის ეს გენიალურ მიგნება წარმოდგენს სინათლის ელექტრომაგნიტური თეორიის, ტალღური განტოლებისა და ახლოქმედების პრინციპს რადიკალური დასაბუთების საწყის პუნქტს. მეთოდი, რომელმაც მაქსველი მიიყვანა თავის გენიალურ აღმოჩენამდე, ხასიათდება ფიზიკური სიდიდეების მათემატიკური მახასიათებლებისა და მათემატიკური სიმბოლოების ფიზიკური ინტერპრეტაციის სინთეზით [90;318].

ამაში გამოიხატება მაქსველის **ინტუიციური აზროვნების** განსაკუთრებულობა, რომლითაც უდიდესი წვლილი შეიტანა მეცნიერების **ინდუქციურ** განვითარებაში.

მაქსველმა თავისი განტოლებების შედეგად აღმოაჩინა განტოლებების სისტემა, რომელიც ერთის მხრივ აერთიანებს ელექტრულ და მაგნიტურ ველებს ერთიანი ელექტრომაგნიტური ველის სახით, ხოლო მეორე მხრივ ხიდი გასდო ელექ-

ტრომაგნიტური ველის თეორიასა და სინათლის თეორიას შორის. აღმოჩნდა, რომ სინათლე წარმოადგენს სწრაფად ცვლად ელექტრომაგნიტურ ველს. რაც შემდგომში ექსპერიმენტულად ჰერნის ჰერცის მიერ იქნა დამტკიცებული.

თავი 4 ახალი ფიზიკა

1 ნივთიერი სამყაროს სამშენებლო „აგურაკები“

მენდელეევის პერიოდული სისტემა. სამყაროში არსებული ყოველი ნივთიერი სხეული შედგება სხვადასხვა სახის ნივთიერებებისაგან. ნივთიერებები შედგებიან შესაბამისი მოლეკულებისაგან. ყოველ ნივთიერებას გააჩნია შესაბამისი სახის მოლეკულა, რომლის დაშლისას ნივთიერება კარგავს თავის ქიმიურ თვისებებს. ნებისმიერი ნივთიერების შემადგენელი მოლეკულები თავის მხრივ შედგებიან ქიმიური ელემენტებისაგან (ატომებისაგან) ქიმიური ელემენტის ძირითადი მახასიათებელია მასა. ელემენტების დასახასიათებლად ქიმიკაში



იყენებრბენ არა აბსოლუტურ, არამედ ფარდობით მასას. ფარდობითი მასის ერთეულად მიღებულია ელემენტ ნახშირბადის C^{12} -ს მასის $1/12$ ნაწილი. მოცემული ელემენტის შესაბამის ყოველ ატომს გააჩნია ერთნაირი მასა. XIX საუკუნის შუახანებში აღმოჩენილ იქნა ქიმიური ელემენტების დიდი რაოდენობა და, შესაბამისად დაისვა ამ ელემენტების ურთიერთკავშირის არსებობის საკითხი. პირველად სახელგანთქმულმა რუსმა ქიმიკოსმა **დიმიტრი**

მენდელეევა (1834-1907) შეძლო აღმოეჩინა კანონი, რომელიც ერთიან სისტემადაც აკავშირებს ყველა ქიმიურ ელემენტს. მაქს ბორნის აზრით, მენდელეევის მიერ ქიმიურ ელემენტთა

პერიოდული სისტემის დადგენა მიეწერება მის გენიალურ ანალიტიკურ წინასწარმეტყველებას [115;480].

იმისთვის, რომ სწორედ შევაფასოთ დ. მენდელეევის წინასწარმეტყველება უნდა გავითვალისწინოთ ზოგიერთი ფაქტები. მენდელეევის მიერ პირველი ცხრილი გამოქვეყნებულ იქნა 1869 წელს. ამ დროს ცნობილი იყო მხოლოდ 63 ელემენტი. აღმოჩნდა, რომ სიტემაში მათი განთავსებისას, დამაჯერებლად მხოლოდ 35 ელემენტი შეიძლება განლაგებულიყო, მათი მასების ზრდისა და ქიმიური თვისებების მიხედვით. მენდელეევი იძულებული იყო შეეცვალა ან ატომური წონა, ან მიმდევრობის რიგითობა. მაგალითად იგი თვლიდა, რომ ცერიუმის Ce ატომის ატომური წონა იყო 92, თუმცა მენდელეევი მას მიაწერა ატომური წონა 138 (თანამედროვე მნიშვნელობა არის 140); თორიუმისა და ურანის ატომური წონები, იმდროინდელი მონაცემების მიხედვით, იყო 116 და 120. მენდელეევი მათ მიაწერა 232 და 240 და ისე განალაგა სისტემაში. გარდა ამისა მენდელეევი სისტემაში ზოგიერთი ადგილი დატოვა ცარიელი და მიუთითა, რომ ეს ადგილები უნდა დაიკავოს ჯერ კიდევ აღმოუჩენელმა ელემენტებმა, რომელთა ქიმიური თვისებები მან წინასწარ აღწერა. მალე მისი მოსაზრებები ექსპერიმენტულად დადასტურდა [128;43].

ძირითადი ფაქტი, რომელსაც თავისი სისტემის აგებისას **დ. მენდელეევი** ეყრდნობოდა, იმაში მდგომარეობდა, რომ თუ ელემენტებს განალაგებდა ატომური წონის ზრდის მიხედვით, ელემენტები ანალოგიური ქიმიური თვისებებით პერიოდულად მეორდებოდა. აქედან გამომდინარე მან მოახერხა აეგო „ელემენტების ბუნებრივი სისტემა“, რომელიც ჭეშმარიტი აღმოჩნდა, მოიხედავად იმისა, რომ როგორც შემდეგ გაირკვა, მასა არ შეიძლება ჩაითვალოს ატომის ინდივიდუალური თვისებების მუდმივად და ცალსახად განმსაზღვრელ თვისებად. აღმოჩნდა, რომ არსებობენ ქიმიური ელემენტები, რომლებიც ქიმიური თვისებების მიხედვით ერთნაირად იქცევიან, მიხედვად იმისა რომ მათ განსხვავებული ატომური წონა გააჩნიათ. ასეთ ნივთიერებებს იზოტოპები უწოდეს, რადგანაც ისინი, ქიმიური

თვისებებიდან გამომდინარე სისტემის ერთსა იმავე უჯრედში არიან მოთავსებული [128;44].

არსებობენ აგრეთვე ერთნაირი ატომური წონის მქონე ატომები, რომლებსაც გააჩნიათ სხვადასხვა ქიმიური თვისებები, ე.წ. იზობარები. მიუხედავად ამ ფაქტებისა, მემდელეევის მიერ შექმნილი ქიმიური ელემენტების პერიოდული სისტემა ჭეშმარიტია და იგი განიხილება როგორც ბუნების ფუნდამენტული კანონი [128; 45].

აღმოჩნდა, რომ ქიმიური ელემენტის ატომური წონა სინამდვილეში არ წარმოადგენს ატომის არსებით მახასიათებელს. ელემენტის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს ადგილის ნომერი მენდელეევის პერიოდულ სიტემაში, რომელსაც ატომური ნომერი ეწოდება. ელემენტის ატომური ნომრის სიღრმისეული მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ სინამდვილეში ის უბრალო რიგითი ნომერი კი არ არის, არამედ ის არის ატომის ერთ-ერთი ძირითადი ფიზიკური მუდმივა. როგორც შემდეგში გაირკვა ატომური ნომერი განსაზღვრავს მასში არსებული დადებითად დამუხტული პროტონების რიცხვს და მის გარშემო მოძრავ უარყოფითად დამუხტული ელექტრონების რიცხვს. ხოლო ატომის ქიმიური თვისებები განისაზღვრება სწორედ ელექტრონების განლაგებით ატომ-გულის გარშემო.

აღმოჩნდა, რომ თითოეული ელემენტი შედგება გარკვეული სახის ატომისაგან. ატომების აგებულობა და ურთიერთკავშირი ცხადყოფს ეკონომიურობასა და განსაკუთრებულ ორგანიზებულობას, რაც აისახება მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში.

ელემენტები ემორჩილებიან ბუნებრივი დანომრვის წესრიგს, რაც დაფუძნებულია ატომების აგებულობაზე. როცა ელემენტები პერიოდულ სისტემაში დაწყობილია მწკრივებად და სვეტებად, ერთ სვეტში განლაგებული ელემენტებს შორის შეიმჩნევა გასაოცარი ქიმიური მსგავსებები და კავშირები.

რაც შეეხება მენდელეევის მიერ ელემენტთა პერიოდული სისტემის აგებას, ამბობენ, რომ მას იგი **დაესიზმრა**. მენდელეევმა თავისი სისტემა შექმნა ქიმიური ელემენტების თვისე-

ბების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზისა (ანალიტიკური) და ერთიანი კანონზომიერების ინტუიციური მიგნების (სინთეტიკური) საფუძველზე.

რაც შეეხება ახალი ელემენტებისა და მათი ქიმიური თვისებების წინასწარმეტყველებას, როგორც მ. ბორნი აღნიშავს, მენდელეევი მივიდა **ანალიზური აზროვნების** საფუძველზე [78;480].

2. რადიოაქტივობა

1896 წელს **ანრი ბეკერელი** ფლუორესენციის უნარის მქონე ნივთიერებების თვალსაზრისით სწავლობდა ურანის მარილებს. მას აინტერესებდა სინათლის მოქმედების შედეგად გამოასხივებდნენ თუ არა ურანის მარილები, იმ დროს კარგად ცნობილ, ე. წ. რენდგენის X-სხივებს. ბეკერელმა **სრულიად შემთხვევით** აღმოაჩინა, რომ ურანის მარილები თვითნებურად, ყოველგვარი წინასწარი დასხივების გარეშე, ასხივებენ განსაკუთრებული თვისებების მქონე სხივებს. მეცნიერების განვითარების იტორიაში ხშირად ხდება, რომ მეცნიერი ეძებს ერთ მოვლენას და აღმოაჩენს ახალ, სრულიად სხვა მოვლენას. ბეკერელმა დაადგინა, რომ ამ გამოსხივების წყაროს წარმოადგენდნენ ურანის ატომები. ურანის გამოსხივებას უწოდეს **რადიაქტიული**, ხოლო თვით მოვლენას – **რადიოაქტივობა**. ეს მოვლენა ცალსხად ადასტრებს, რომ ატომები რთული სტრუქტურის მქონე ობიექტებს წარმოადგენენ. შემდგომ ამ მოვლენის შესწავლით მრავალი მეცნიერი დაინტერესდა.

ბეკერელის, რეზერფორდის, პიერ კიურის, მარია სკლადოვსკაია-კიურისა და სხათა მიერ ჩატარებული ცდებით დადგენილი იქნა, რომ – რადიოაქტიული გამოსხივება, მაგნიტურ ველში გავლისას, იყოფა სამი სახის Γ , S და X გამოსხივებად. აღმოჩნდა, რომ Γ - სხივები წარმოადგენენ დადებითად დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს; S - სხივები დიდი საჩქაროთ მოძრავ უარყოფითად დამუხტული ელექტრონების ნაკადს; ხოლო X - სხივები ნეიტრალურ, დიდი ენერგიის მქონე ელექტრომაგნიტური ტალღების (სხივების) ნაკადს. შემდეგში აღმოჩენილ

იქნა, რომ რადიოაქტიობის უნარი გააჩნიათ სხვა ელემენტებსაც – თორიუმი, პოლონიუმი, რადონი და სხვა.

1908 წელს საბოლოოდ დადგინდა, რომ Γ -ნაწილაკები წარმოადგენენ ორჯერ იონიზირებული, დიდი სიჩქარით მოძრავ ჰელიუმის ბირთვებს, S -სხივები – ელექტრონებს, ხოლო X -სხივები – დიდი ენერჯის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას. რეზერფორდმა რადიოაქტიული Γ ნაწილაკები გამოიყენა ატომების დაყუმბარებისათვის მათი სტრუქტურის შესასწავლად.

3 ატომის შემადგენელი ნაწილაკები

ბირთვული ფიზიკის ერა დაიწყო 1932 წელს, როცა გაირკვა ატომბირთვის სტრუქტურა. ამ პერიოდამდე ნივთიერი მატერიის სტრუქტურის შესახებ დადგენილი იყო:

1. ყველა ნივთიერება შედგება ატომებისაგან – ნეიტრალური ნაწილაკებისაგან ზომით 10^{-8} -სმ. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში თითოეული ატომი ხასიათდება Z რიგითი ნომრით და A ფარდობითი ატომური მასით. ატომის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ელექტრონული გარსი, რომელიც შეიცავს Z რაოდენობის ელექტრონს.

2. ატომის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს დადებითად დამუხტული ბირთვი ზომით 10^{-13} -სმ და მუხტით Ze . ბირთვის მასა დაახლოებით A რაოდენობის წყალბადის მასის ტოლია[99;78].

აღმოჩნდა, რომ სამყარო – ატომური ნაწილაკების დონეზე – ცხადყოფს საოცარ ჰარმონიასა და წესრიგს. რამ განაპირობა ნივთიერი სამყაროს საამშენებლო მასალის ასეთი წესრიგი, ჰარმონია და მრავალფეროვნება. შემდგომში აღმოჩნდა, რომ ყოველივე ეს განპირობებულია ე.წ. პაულის პრინციპით, რომელსაც ემორჩილებიან ატომების შემადგენელი ელექტრონები.

მაშინ როცა სამყაროში ბატონობს მინიმალური ქმედების პრინციპი (ეკონომიურობის პრინციპი) და პოტენციური ენერჯის მინიმუმისაკენ სწრაფვის პრინციპი (მდგრადობის პრინცი-

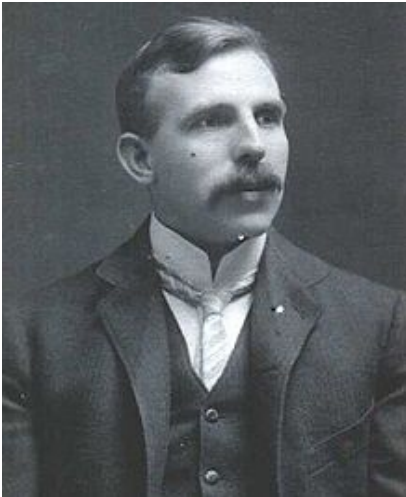
პი), თურმე ნახევარსპინიანი ნაწილაკებისაგან (ელექტრონებისაგან) შემდგარ სისტემაში ადგილი აქვს აკრძალვის პრინციპს, რომელიც მაქს პაულიმ აღმოაჩინა, რისთვისაც ნობელის პრემია დაიმსახურა.

პაულის პრინციპი შედეგია იმისა, რომ ნაწილაკეთა სისტემის მდგომარეობის ამსახველი ტალღური ფუნქცია ანტისიმეტრიულია იგივეური ნაწილაკების ურთიერთგადასმის მიმართ.

მაშინ, როცა ბუნებაში, მასში ჰარმონიული წესრიგისათვის ბატონობს სიმეტრიულობა, ბუნებაში არსებული მრავალფეროვანი სტრუქტურების ასაგებად, აუცილებელი ყოფილა ანტისიმეტრიულობაც. მაგრამ ისმის კითხვა თუ რით არის განპირობებული ანტისიმეტრიულობის აუცილებლობა და ე. ი. პაულის პრინციპი. ჩემი აზრით პაულის პრინციპი განპირობებულია ე. წ. „პაულის ძალებით“ [წიგნი II; გვ. 48].

საბოლოო ჯამში ეს ყველაფერი აუცილებელი და საკმარისია მთელი კოსმიური სამყაროს, როგორც ცოცხალი და განვითარებადი მთელის არსებობისა.

4. რეზერვორდის ცდა



ექსპერიმენტულად დადგენილი იქნა, რომ ატომის შემადგენლობაში შედიან უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები – ელექტრონები. ხოლო რადგან ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია, ამიტომ იგი უნდა შეიცავდეს ელექტრონების ჯამური მუხტის ტოლ დადებით მუხტსაც. ამასთან, რადგანაც ელექტრონის მასა გაცილებით ნაკლებია ატომის მასაზე, დადადებითი მუხტის მატარებელი ნაწილაკების მასა უნდა შეადგენდეს თითქმის მთელი

ატომის მასას. ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ ატომის ზომა დაახლოებით $\sim 10^{-8}$ სმ-ს ტოლია. ატომის აგებულების პირველი მოდელი შეიმუშავა ჯოზეფ ტომსონმა. ამ მოდელის მიხედვით ატომი წარმოადგენს მცირე ზომის სფეროს. მის შიგნით თანაბრადაა განაწილებული დადებითი მუხტი, რომელშიც დაბორიანებენ ელექტრონები.

ატომის სტრუქტურით დაინტერესდა გამოჩენილი ფიზიკოსი **ერნსტ რეზერფორდი** (1871-1937). მისი სახელი დაკავშირებულია ატომური და ბირთვული ფიზიკის განვითარებასთან. რადიოაქტიული ნივთიერებების მიერ გამოსხივებული α ნაწილაკების თვისებების გამოკვლევის მიზნით იგი სწავლობდა α ნაწილაკების გაფანტვას სვადასხა სახის მეტალის თხელ ფირფიტაზე. აღმოჩნდა, რომ α ნაწილაკების პარალელური კონა, ნივთიერების თხელი ფირფიტის გავლის შემდეგ, ცვლის თავის მიმართულებას, ანუ იფანტება. გაფანტვის კუთხეების შესწავლამ უჩვენა, რომ ძალიან ხშირად ადგილი აქვს α ნაწილაკების გადახრას 2° - 3° -ით, რაც შეესაბამება შემთხვევითი მოვლენების საშუალო სტატისტიკურ გადახრას. მაგრამ რეზერფორდის თანამშრომლებმა **ხ. გეიგერმა** და **ე. მარსდენმა** აღმოაჩინეს, რომ α ნაწილაკების მცირე რაოდენობა გაიფანტნენ ძალიან დიდი - 90° -დე კუთხით, და 180° -ზეც კი. ასეთი შედეგი წარმოადგენდა უალრესად არაჩეულებრივ მოვლენას, რადგანაც სავსებით ეწინააღმდეგებოდა მაშინდელ თეორიულ წარმოდგენას (ტომსონის მოდელი) ატომის აგებულების შესახებ. ცდის შედეგებმა რეზერფორდი მიიყვანა ატომის აგებულების, ტომსონის მოდელისაგან განსხვავებულ, **ახლებურ მოდელამდე**, რომლის მიხედვით ატომის მთელი დადებითი მუხტი კონცენტრირებულია მის ცენტრში. მასზე, კულონის კანონის თანახმად, განიბნევიან დადებითად დამუხტული α ნაწილაკები. რეზერფორდმა გამოიყვანა გაფანტვის კუთხის გამოსათვლელი ფორმულა:

$$ctg(\theta / 2) = m_r \cdot v^2 / (2Ze^2)$$

სადაც b სამიზნე მანძილია, m_r – α ნაწილაკის მასა, Ze – ცემტრალური მუხტი, ხოლო e – ელემენტარული მუხტი. რეზერფორდის ახალმა თეორიამ და მის მიერ გამოყვანილმა ფორმულამ მრავალი შემოწმების შემდეგ გაუძლეს დროის გამოცდას.

მალე რეზერფორდისა და ბორის მიერ შემუშავებულ იქნა ატომის ელექტრონული გარსის აღნაგობის საფუძვლები.

რეზერფორდის მოდელმა შესაძლებელი გახადა ახსნილიყო მენდელეევის პერიუდული სისტემის აზრი.

ატომის აგებულების რეზერფორდის თეორიის ბაზაზე განვითარდა ბირთვული ფიზიკა.

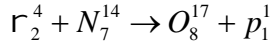
5. ბირთვის შემადგენლობა. პროტონის აღმოჩენა

ცხადი გახდა, რომ ელემენტების ბირთვები არ წარმოადგენენ ნივთიერი სამყაროს აგურაკებს.

მეცნიერთა შორის გაჩნდა აზრი, რომ ყოველი ელემენტის ბირთვი შედგება ყველაზე მსუბუქი ატომის – წყალბადის ბირთვისაგან, რომელიც წარმოგვიდგება დადებითად დამუხტულ ელემენტალურ ნაწილაკად – პროტონად. მაგრამ აღმოჩნდება, რომ ბირთვის მასა უფრო სწრაფად იზრდება ვიდრე მუხტი, რის გამოც დაუშვებს, რომ ბირთვებში არსებობენ ელექტრონებიც, რომლებიც აკომპისირებენ პროტონებით შექმნილი მუხტის ნაწილს. ეს ელექტრონები ბირთვში უნდა ასრულებდნენ „ცემენტის როლს“, ისინი ამცირებენ პროტონებს შორის განზიდვის ელექტრულ ძალებს. ამის გარეშე შეუძლებელი იყო ახსნილიყო ბირთვების მდგრადობა [104;366].

რეზერფორდმა 1919 წელს აზოტის ბირთვების α ნაწილაკებით დაყუმბარებისას აღმოაჩინა, რომ α ნაწილაკები ქრება და წარმოიქმნება ჩქარი პროტონები. ამ პროცესის ასახნელად რეზერფორმა წამოაყენა ახალი ჰიპოთეზა: α ნაწილაკებით დაყუმბარებისას ადგილა აქვს პროტონების დაბადებას და ერთი სახის ქიმიური ელემენტის გარდაქმნას მეორე სახის ელემენტად. თავისი გამბედაობით იმ დროისთვის ეს იყო რევოლუციური ჰიპოთეზა.

რეზერვორდის ჰიპოტეზით, ამ დროს აზოტის ატომი გარდაიქმნებოდა ჟანგბადის ატომად შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



ეს იყო ადამიანის ნებით ხელოვნურად გამოწვეული პრველი ბირთვული რეაქცია. ეს იყო გამაოგნებელი აღმოჩენა, რომელიც საფუძვლად დაედა ახალ – მეცნიერულ აღქმას. რეალურად შესაძლებელი გახდა ერთი სახის ელემენტის გარდაქმნა სხვა სახის ელემენტად [104;366].

ამ შედეგებს პირველად მეცნიერები ეჭვით შეხვდნენ, მაგრამ შემდეგ იგი დადასტურდა მრავალი ანალოგიური რეაქციის აღმოჩენით.

6. ფოტონები და დე ბროილის ტალღები

ფოტონები. 14 დეკემბერს ახალი ფიზიკის ფუძემდებელმა გერმანელმა ფიზიკოს-თეორეტიკოსმა მაქს პლანკმა გამოაქვეყნა თანამედროვე ფიზიკის მარად უჭკნობი თეორია კვანტთა ჰიპოთეზის შესახებ [35; 300].

პლანკი ცდილობდა გამოეყვანა აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრის ამსახველი თეორიული ფორმულა. სხვადასხვა მეცნიერები ამ ფორმულის გამოყვანისას უშვებდნენ, რომ ნივთიერი სხეული შედგება რხევადი ოსცილატორებისაგან, რომლებიც სხივურ ენერგიას გამოასხივებენ და შთანთქამენ უწყვეტი ნაკადის სახით. მაგრამ უშედეგოდ: მათ მიერ გამოყვანილი ფორმულები არ შეესაბამებოდა ექსპერიმენტულ მონაცემებს. მ. პლანკს დაებადა მეტად გაბედული იდეა, რომ სხეულში არსებული ოსცილატორები ენერგიას ასხივებენ და შთანთქამენ არა უწყვეტი ნაკადის სახით, არამედ წყვეტილად – ნახტომისებურად ენერგიის გარკვეული ულუფების სახით. ამ ულუფებს მან კვანტები უწოდა. პლანკის ამ იდეას მრავალმა მეცნიერმა უნდობლობა გამოუცხადა. მაგრამ პლანკმა ამ დაშვებით შეძლო მიეღო თეორიული ფორმულა, რომელიც იძლევა ენერგიის განაწილების კანონს აბსოლუტური შავი სხეულისათვის, ნებისმიერი ტემპერა-

ტურისათვის. მან აგრეთვე დაადგინა რომ ატომის ან მოლეკულის მიერ გამოსხივებული კვანტის ენერგია V რხევის სიხშირის ϵ -ს პროპორციულია:

$$V = h\epsilon$$

სადაც პროპორციულობის კოეფიციენტი h ცნობილია პლანკის მუდმივის სახელწოდებით, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა თვით პლანკმა გამოითვალა: $h = 6.54 \cdot 10^{-27}$ ერგ.წამ. h მუდმივას ქმედების კვანტი უწოდეს.

ასე დაიწყო კვანტების ერა ფიზიკაში.

1905 წელს ალ. აინშტაინმა კვანტთა ჰიპოთეზა სინათლეზეც განაზოგადა. მისი აზრით სინათლის ნაკადიც შედგება c სიჩქარით მოძრავი ცალკეული კვანტებისაგან, რომელთაც მან ფოტონები უწოდა. ალ. აინშტაინმა ფოტონების ჰიპოთეზის დახმარებით იმავე წელს ახსნა ე.წ. ფოტოელექტრული ეფექტის მანამდე ყოვლად აუხსნელი მოვლენა. ფოტოეფექტი ეწოდება მოვლენას, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: ელექტრონების აღმოჩენის შემდეგ გაირკვა, რომ ზოგიერთი მეტალის სინათლით განათების შედეგად ზედაპირიდან ამოიტყორცნება ელექტრონების ნაკადი. ამ მოვლენას ფოტოეფექტი ეწოდა. მან უდიდესი როლი შეასრულა წარმოდგენების დაზუსტებისათვის სინათლის ბუნებაზე.

ფოტოეფექტის ძირითადი კანონზომიერებების ახსნა შეუძლებელი გახდა სინათლის ტალღურ თეორიაზე დაყრდნობით, რომლის მიხედვით სინათლე წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ ტალღას. ფოტოეფექტი მოასწავებდა სინათლის ტალღური თეორიის კატასტროფას. იგი თეორიულად ახსნა ალ. აინშტაინმა თამამი ჰიპოთეზით, რომლის მიხედვით სინათლე წარმოადგენს არა უწყვეტ ნაკადს, არმედ ფოტონების ერთობლიობას. მან ფოტოეფექტი ახსნა მის მიერ სპეციალურად მოფიქრებული ფორმულის მეშვეობით:

$$E_j = h\epsilon + W_0$$

რომელიც ცნობილია აინშტაინის ფორმულის სახელწოდებით. მასში $h\epsilon$ ელექტრონის მიერ შთანთქმული ფოტონის ენერგიაა,

E_3 გამოტყორცნილი ელექტრონის კინეტიკური ენერგია, ხოლო W_0 ელექტრონის მეტელიდან გამოსვლის მუშაობა.

1921 წელს ალ. აინშტაინს მიენიჭა ნობელის პრემია ფოტოეფექტის მოვლენის ახსნისათვის.

6. ფოტონები და დე ბროილის ტალღები.

1923-1926 წლებში **ლუი დე ბროილის** შრომით საფუძველი ჩაეყარა ფიზიკის ახალ დარგს – კვანტურ, ანუ ტალღურ მექანიკას, რომელშიც გამოყენებულ იქნა პლანკის მუდმივა.

მან გამოაქვეყნა თავისი ახალი წარმოდგენა დისკრეტული ნაწილაკის მოძრაობასა და ტალღურ პროცესებს შორის კავშირების სახით. მისი მოსაზრებით, ნაწილაკი ფლობს ტალღურ თვისებებს. მისი აზრით, მექანიკური მოძრაობა v სიჩქარით შეესაბამება ტალღის გავრცელებას u ფაზური სიჩქარით. ხოლო მათ შორის კავშირი მოიცემა შემდეგი ფორმულით:

$$u = c^2/v.$$

აინშტაინის ფარდობითობის პრინციპის თანახმად, ენერგიისა და მასის გადაადგილების სიჩქარე ყოველთვის შემოსაზღვრულია c სიჩქარით.

ცხადია, რომ რადგანაც $v < c$, ამიტომ u ყოველთვის მეტია c -ზე. როგორ შეიძლება აიხსნას ტალღის მოძრაობა c -ზე მეტი სიჩქარით.

დე ბროილის აზრით ერთსადაიმავე არეში რანდენიმე სხვადასხვა სიხშირის ტალღის არსებობის შემთხვევაში, ადგილი აქვს რხევების შეჯამებას. იქ სადაც სხვადასხვა სიხშირის ფაზები ერთმანეთს ემთხვევა წარმოიქმნება ჯგუფური რხევები დიდი ამპლიტუდით – „ტალღური ჯგუფი“, რომელიც ვრცელდება c -ზე ნაკლები v სიჩქარით. ანუ v არის ჯგუფური სიჩქარე [90;419].

ბრტყელი ტალღის ფაზური სიჩქარე u გამოითვლება ფორმულით:

$$u = v/k$$

სადაც ν სიხშირეა, ხოლო k – ტალღური რიცხვი, რომელიც ტალღის სიგრძესთან λ დაკავშირებულია შემდეგნაირად

$$k = 1/\lambda.$$

მექანიკაში თავისუფალი ნაწილაკის მოძრაობას შეესაბამება „ქმედების ტალღის“ გავრცელება, რომლის ფაზური სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$u = E/p$$

სადაც E ნაწილაკის ენერგია, ხოლო p მისი იმპულსია. რომლებიც მიიღება ν და k სიდიდეების გამრავლებით ნებისმიერ, ქმედების განზომილების მქონე h სიდიდეზე:

$$E = h\nu; p = hk;$$

დე ბროილმა გამოთქვა გენიალური მოსაზრება იმის შესახებ. რომ ეს h მუდმივა იგივეა რაც პლანკის h ქმედების კვანტი. ეს აზრი წარმოადგენს დე ბროილის **უმაღლეს ინტუიციურ მიგნებას** [90;417].

ამრიგად, დე ბროილის მიხედვით თავისუფლად მოძრავი ნაწილაკის სრული ენერგია E გამოითვლება შესაბამისი დე ბროილის ტალღის სიხშირით ν , ხოლო იმპულსი \vec{P} – ტალღური ვექტორით \vec{k} .

$$E = h\nu;$$

$$\vec{p} = h\vec{k}$$

აღბათ დამეთანხმებით, რომ დე ბროილის ეს ფორმულები წარმოადგენენ **ულამაზეს** მათემატიკურ თანაფარდობებს ნაწილაკის მახასიათებლებსა და ტალღის მახასიათებლებს შორის.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $k = 1/\lambda$, სადაც λ ტალღის სიგრძეა. მაშინ

$$\} = \frac{p}{k} = \frac{m\hat{\nu}}{k}$$

ხოლო, თუ გავიხსენებთ, რომ რელატივისტურ მექანიკაში $E = mc^2$, მაშინ:

$$\epsilon = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$$

ამრიგად, დე ბროილის თეორიამ დაუკავშირა რელატივისტური ენერგია კვანტურ ენერგიას.

დე ბროილი ელექტრონების მექანიკას განიხილავს ოპტიკა-მექანიკის ანალოგიის თვალსზრისით. მისი თეორიით, თუ ელექტრონი თანაბრად მოძრაობს ორბიტის გარშემო, მაშინ შესაძლებელია მხოლოდ ისეთი ორბიტები, რომლებზეც თავსდება დე ბროილის ტალღის სიგრძის მთელი რიცხვები. აქედან გამომდინარეობს წყალბადის ატომის ორბიტების ბორისეული დაქვანტვა [90;419].

დირაკის აზრით, დე ბროილის თეორია, რომელიც კავშირს ამყარებს ტალღასა და ნაწილაკს შორის, არის უაღრესად მწყობრი და ლამაზი თეორია [78;15].

დე ბროილის თეორია დადასტურდა ექსპერიმენტულად, ელექტრონების დიფრაქციის აღმოჩენითა და შესაბამისი ტალღის სიგრძის გაზომვით.

7. ატომის პლანეტარული მოდელი. ბორის პოსტულატები

გამოსხივების სპექტრები. გამოსხივების სპექტრი ეწოდება გახურებული სხეულის მიერ გამოსხივებული სინათლის ინტენსივობის განაწილებას მისი სიხშირის მიხედვით. კლასიკური ელექტროდინამიკის მიხედვით ატომში აჩქარებით მოძრავი ელექტრონი განუწყვეტლივ უნდა ასხივებდეს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს (სინათლეს), რის გამოც მისი ენერგია განუწყვეტლივ უნდა მცირდებოდეს. ამიტომ მის მიერ გამოსხივებული სინათლის სიხშირის მიხედვით განაწილება (სპექტრი) უწყვეტი უნდა იყოს. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ ატომურ მდგომარეობაში მყოფი გახურებული ნივთიერების სპექტრები ხაზოვანი სახისაა. ცდების საფუძველზე დადგინდა, რომ ატომთა გამოსხივების ხაზოვან სპექტრში ცალკეული ხაზების შესაბამისი ტალღის სიხშირეები ემორჩილებიან გარკვეულ

კანონზომიერებებს, რომელთა ერთობლიობას სერიებს უწოდებენ.

მაგალითად, ატომური წყალბადის მიერ გამოსხივებული სპექტრების შესწავლისას დადგენილ იქნა, რომ გამოსხივების სპექტრების სერიების სისშირეები კარგად აღინერება ე.წ. განზოგადებული **ი. ბალმერის** ფორმულით:

$$v_{nk} = R_H(1/k^2 - 1/n^2)$$

სადაც $k=1,2,3,4,5$; ხოლო $n=k+1, k+2, \dots$; ხოლო R_H წარმოადგენს ე.წ. **რიდბერგის** მუდმივას, რომლის ექსპერიმენტული მნიშვნელობა ტოლია:

$$R_H = 109677,581 \text{ სმ}^{-1}.$$

ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზიდან გამოჩნდა, რომ ატომის მოდელს კლასიკური მექანიკისა და კლასიკური ელექტროდინამიკის ფარგლებში არ შეუძლია ატომთა გამოსხივების სპექტრების კანონზომიერებათა დამაკმაყოფილებელი ახსნა. ამ მდგომარეობიდან გამოსავალი მონახა ცნობილმა დანიელმა მეცნიერმა **ნილს ბორმა** (1885-1962).



ბორის თეორია. ფიზიკის განვითარებაში ჭეშმარიტი გარდატეხა მოხდა 1913 წელს **ნილს ბორის** შრომების გამოსვლის შემდეგ, რომლებიც ეხებოდა ატომებისა და მოლეკულების სტრუქტურას. რეზერფორდის მიხედვით ატომში უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები მოძრაობენ დადებითად დამუხტული ბირთვის გარშემო. XX საუკუნის პირველი ნახევრის ფიზიკური თეორიების წარმოდგენები კლასიკური პოზიციიდან ძირფესვიანად ფასდებოდა როგორც „**გიჟური**“ [90;7].

თუმცა ის საკმაოდ „გიჟური“ აღმოჩნდა, რომ ჭეშმარიტი აღმჩენილიყო. ბორის თეორიის ამოსავალ წერტილად თვლიან იმ ფაქტის აღიარებას, რომ რეზერფორდის ატომის მოდელი კლასიკური ფიზიკის ფარგლებში ვერ ხსნის ატომის მდგრადობას. ნ. ბორმა უარყო კლასიკური ფიზიკის კანონები და წარმოადგინა ახალი ჰიპოთეზა, რო-მელიც ცნობილია **ბორის პოსტულატების** სახელწოდებით. ბორის მიხედვით, ატომში ელექტრონები იმყოფებიან გარკვეულ სტატიკურ ენერგეტიკულ მდგომარეობებში. სტატიკურ მდგომარეობაში ყოფნისას ელექტრონი, კლასიკური ელექტროდინამიკის კანონების საწინააღმდეგოდ, არ ასხივებს არავითარ სინათლეს. ელექტრონების ეს პარადოქსალური თვისებები 10 წლის შემდეგ ახსნილ იქნა ელექტრონის ტალღური თვისებებით [90;409].

ატომის დისკრეტული სპექტრის ასახსნელად ნილს ბორმა წამოაყენა შემდეგი პოსტულატები:

ა. არსებობს ატომის სტაბილური ე.წ. სტაციონალური მდგომარეობები, რომელთა ენერგიები ლეზულობენ მხოლოდ დისკრეტულ მნიშვნელობებს E_1, E_2, E_3, \dots ამასთან ერთი სტაციონალური მდგომარეობიდან მეორეში გადასლა წარმოებს ნახტომისებურად.

ბ. ამ დროს გამოსხივდება გარკვეული სიხშირის ელექტრო-მაგნიტური ველის ენერგეტიკული პორციები – ე.წ. კვანტები, რომელთა ენერგია განისაზღვრება ატომის ენერგეტიკული დონეების სხვაობით:

$$h\nu = E_n - E_k$$

სადაც ϵ გამოსხივებული ტალღის სიხშირეა, h პლანკის უნივერსალური მოდმივაა, ხოლო $h\epsilon$ წარმოადგენს გამოსხი-ვებული სინათლის ენერგიას. ეს არის ბორის სიხშირის პირობა[90;410].

ამრიგად, ნილს ბორის მიერ გამოქვეყნებული ატომის აღნაგობის თეორიაში პლანკის მოდმივა ცენტრალურ როლს ასრულებს [38;301].

ამ პოსტულატების მიხედვით, ატომი სინათლეს ახივებს მხოლოდ შედარებით მაღალი ენერგეტიკული E_n მდგომარეობიდან დაბალ ენერგეტიკულ E_k მდგომარეოაში გადასვლისას.

ხოლო მიღებული სინათლის სიშირე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\epsilon_{nk} = (E_n - E_k)/h$$

ატომებში ელექტრონების ენერჯის გამოსათვლელად ბორმა გამოიყენა შესაბამისობის პრინცი, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ კლასიკური კანონზომიერებები წარმოადგენენ კვანტური კანონზომიერებების ზღვრულ შემთხვევას [90;411].

ამ პრინციპზე დაყრდნობით, წყალბადის მაგვარი ატომებისათვის, ანუ სისტემისათვის, რომელიც შედგება Z რაოდენობის დადებითი ელემენტარული მუხტის მქონე ბირთვისა და მის გარშემო მბრუნავი ერთი ელექტრონისაგან, ბორმა გამოიყვანა n -ურ ორბიტაზე მბრუნავი ელექტრონის E_n ენერჯის გამოსათვლელი ფორმულა:

$$E_n = -2f^2 mZ^2 e^4 / (h^2 n^2)$$

სადაც m ელექტრონის მასაა, e – ელემენტარული მუხტი, h – პლანკის მუდმივა.

ამიტომ ბორის თეორიის მიხედვით n -ური მდგომარეობიდან k -ურ მდგომარეობაში გადასვლისას გამოსხივებული სინათლის ν_{nk} სიხშირე გამოითვლება ფორმულით:

$$\epsilon_{nk} = 2f^2 mZ^2 e^4 / (h^3 c) (1/k^2 - 1/n^2)$$

წყალბადის ატომისათვის $Z=1$ და მივიღებთ ე.წ. ბალმერის განზოგადებულ ფორმოლას:

$$\nu_{nk} = R_{\infty} (1/k^2 - 1/n^2)$$

სადაც

$$R_{\infty} = 2f^2 m e^4 / (h^3 c) \quad (1)$$

ეს გამოსახულება არის n . ბორის მიერ თეორიულად გამოყვანილი რიდბერგის მოდმივის გამოსახულება ატომური ფიზიკის უნივერსალური მუდმივების (m, e, h და c) მეშვეობით. თუ გავითვალისწინებთ ამ მუდმივების რიცვით მნიშვნელო-

ბებს, მაშინ ფორმულა (1)-ით თეორიულად გამთვლილი რიდბერგის მუდმივის სიდიდე ტოლი იქნება: $R_{\infty} = 109737,303 \text{ სმ}^{-1}$.

რაც იმაზე მეტყველებს, რომ რიდბერგის მუდმივის თეორიული მნიშვნელობა მცირედ განხვავდება მისი ექსპერიმენტული მნიშვნელობისაგან. შემდგომი ეს განხვავება ბორის მიერ ახსნილ იქნა, იმ აზრით, რომ ფორმულა (1)-ში გათვალისწინებული უნდა ყოფილიყო ელექტრონისა და ბირთვის ურთიერთფარდობითი მოძრაობა, რის გამოც ელექტრონის მასა უნდა შეიცვალოს მისი ფარდობითი მასით:

$$m_{\text{ფ}} = m M_{\text{H}} / (m + M_{\text{H}})$$

სადაც M_{H} წყალბადის ბირთვის მასაა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $m/M_{\text{H}} = 1/1836$, მაშინ:

$$R_{\infty} = R_{\text{H}}(1 + m/M_{\text{H}}) = 109677,581(1 + 1/186.5) = 109736,807 \text{ სმ}^{-1},$$

რაც დიდი სიზუსტით (10^{-5}) თანხვდა უშუალოდ (1) ფორმულით გამოთვლილ რიდბერგის მუდმივის მნიშვნელობას [128;339].

ბორის თეორიის ასეთმა ექსპერიმენტულმა დადასტურებამ უზარმაზარი შთაბეჭდილება მოახდინა ფიზიკურ სამყაროზე და უზომოდ აამაღლა ბორის ავტორიტეტი, რასაც უალრესად დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა რეზერფორდი-ბორის ატომის პლანეტარული მოდელის განვითარებისათვის. 1922 წელს აღიარებულ იქნა ბორის თეორია და მიენიჭა ნობელის პრემია [112;169].

8. ბირთვის პროტონ-ნეიტრონული მოდელი

მეცნიერებს უტყუარად მიაჩნდათ ატომბირთვის პროტონ-ელექტრონული მოდელი. მაგრამ ცდებით დამტკიცდა, რომ პროტონები და ელექტრონები წარმოადგენენ მინიატურულ მაგნიტებს, რომელთაგან ელექტრონები ფლობენ 2000 ჯერ მეტ მაგნიტიზმს, ვიდრე მასზე გაცილებით მძიმე პროტონები. ბირთვის ჯამური მაგნიტიზმი შეესაბამებოდა პროტონის მაგნიტიზმს. ამიტომ გაუგებარი იყო თუ როგორ აბათილებდა პროტონების სუსტი მანიტიზმი ელექტრონების ძლიერ მაგნიტიზმს. ამრიგად მიკროსამყარომ მეცნიერები შეიყვანა ბნელ ჩიხში. ამ ჩიხიდან გამოსავალი მოიძვნა მას შემდეგ, როცა **ჯ. ჩედვიკმა** 1932 წელს ღმოაჩინა ნეიტრალური ნაწილაკი,

რომლის მასა ახლოსაა პროტონის მასასთან და მაგნიტიზმთან. მას **ნეიტრონი** უწოდეს [128;370].

ნეიტრონის აღმოჩენა საკმარისი აღმოჩნდა იმისთვის, რომ საბჭოთა მეცნიერმა **დimitრი ივანენკომ** და გერმანელმა მეცნიერმა **ვერნერ ჰაიზენბერგმა** წამოაყენეს ატომის ბირთვის პროტონ-ნეიტრონული მოდელი, რომლის მიხედვით იგი შედგება მხოლოდ პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან. წყალბადის ბირთვი შედგება მხოლოდ 1 პროტონისაგან, ჰელიუმისა – 2 პროტონის და 2 ნეიტრონისაგან და ა.შ. მენდელეევის ცხრილის შესაბამისად. ბირთვის ახალი – პროტონ-ნეიტრონული მოდელი ხსნიდა ძველი მოდელის სიძნელეებს, მაგრამ გაუგებარი იყო როგორ გამოიტყორცნებოდა ელექტრონი ბირთვიდან, როცა ის მასში არ არსებობდა [104;371].

ბირთვის დაშლისას ელექტრონის გამოტყორცნის დროს, ექსპერიმენტულად დადგენილ იქნა, რომ ადგილი აქვს ენერგიის დანაკარგს, რაც ეწინააღმდეგებოდა ენერგიის შენახვის კანონს. ინგლისელი ფიზიკოს-თეორეტიკოს **ვოლფგანგ პაულის** წინადადებით, დაშლის დროს ელექტრონთან ერთად გამოიტყორცნება უცნობი ნაწილაკი, რომელსაც თან მიაქვს დაკარგული ენერგია. პაულის წინადადებით, ის უნდა იყოს ნეიტრალური ნაწილაკი, რომლიც მოძრაობს თითქმის **C** სიჩქარით და გარდა **β** დაშლისა სხვა არავითარ პროცესში არ ლეზულობს მონაწილეობას. მეცნიერებს ეჭვი ეპარებოდათ მისი არსებობაში, მაგრამ შეუძლებლად მიაჩნდათ ენერგიის შენახვის კანონის დარღვევაც. ამიტომ ფიზიკოსები შეეგუენ მას და შეიყვანეს ელემენტარული ნაწილაკების სიაში. იტალიელმა ფიზიკოსმა **ენრიკო ფერმიმ** ის მონათლა **ნეიტრინოს** სახელწოდებით.

ვ. ჰაიზენბერგმა, ნეიტრინოს მეშვეობით, შეძლო ბირთვების დაშლის ახსნა. მისი ჰოპოთეზის მიხედვით რადიოაქტიული ბირთვში არსებული ნეიტრონი გარდაიქმნება პროტონად, ელექტრონად და ნეიტრინოდ. პროტონი რჩება ბირთვში ხოლო ელექტრონი და ნეიტრინო გამოიტყორცნებიან ბირთვიდან ისე, როგორც ხდება ნეიტრონის დაშლის დროს. თუმცა ეს იმას არ ნიშნავს, რომ ნეიტრონი შედგება პროტონისა, ელექტრონისა და ნეიტრინოსაგან. ამ მოდელში ყველაფერი რიგზე მაინც არ იყო.

გაუგებარი რჩებოდა თუ რა ასრულებდა შემაკავშირებელ როლს ბირთვის ნეიტრონ-პროტონულ მოდელში. მასში არ არსებობდა პროტონებისა და ნეიტრონების შემაკავშირებელი „ცემენტის როლის“ შემსრულებელი შესაბამისი ნაწილაკები.

იმ დროს ცნობილი გრავიტაციული და ელექტრომაგნიტური ძალები დადებითად დამუხტულ პროტონებსა და ნეიტრალურ ნეიტრონებს ვერ დააკავშირებდნენ ბირთვის უმცირესი ზომის ფარგლებში [104;375].

მეცნიერების წინაშე დაისვა საკითხი თუ როგორ ნაწილაკებს უნდა შეესრულებინათ შემაკავშირებელი როლი ბირთვში ნეიტრონებსა და პროტონებს შორის. საჭირო იყო ჯერ თეორიული გამოთვლების ჩატარება და შემდეგ მისი ექსპერიმენტზე შემოწმება. ამ მიმართულებით გადამწყვეტი ნაბიჯი გადადგა გამოჩენილმა იაპონელმა ფიზიკოს-თეორეტიკოსმა **ხიდეკი იუკავამ**. მან მიზნად დაისახა გაეგო თუ რა სახის ნაწილაკებით უნდა მომხდარიყო გაცვლა ბირთვულ ნაწილაკებს შორის ისე, რომ არ დარღვეულიყო ენერჯის შენახვის კანონი. მან 1834 ნელს დაწერა განტოლება ბირთვული ნაწილაკებისათვის, რომლის საშუალებით განსაზღვრულ იქნა იმ ძალების ბუნება, რომლებიც ამაგრებენ ბირთვებს. განტოლებამ, თავისი აბსტრაქტულ მატემატიკურ ფორმაში, გააერთიანა ფარდობი-თობის თეორია და კვანტური მექანიკა. იუკავამ მას დაუსვა სავსებით „გიჟური“, მოგრამ ლოგიკური კითხვა: ბუნებაში ხომ არ არსებობს ისეთი ველი, რომელიც მოქმედებს ბირთვში არსებულ პროტონ-ნეიტრონებზე ბირთვის ზომის ფარგლებში, ამაგრებს მას, ხოლო მის გარეთ ნულდება. განტოლებამ უპასუხა – კი, ასეთი ველი შეიძლება არსებობდეს თუ მისი გადამტანი ნაწილაკების მასა მიახლოებით 200 ელექტრონის მასის ტოლი იქნება.

იუკავას მიხედვით, ბირთვში არსებულ ნეიტრონებსა და პროტონებს შორის ურთიერთქმედების პოტენციალს აქვს შემდეგი სახე:

$$u = \frac{\text{const}}{r} e^{-r/R}$$

სადაც R არის სიგრძის განზომილების მქონე მუდმივა. იგი მიღებულია ძლიერი ურთიერთქმედების რადიუსად და ცდით განისაზღვრება. როგორც ცდა გვიჩვენებს $R \cong 10^{-13}$ სმ.

თავისი განტოლების ამოხსნით გახარებულმა იუკავამ გამოაცხადა, რომ ბირთვის მდგრადობიდან გამომდინარე, მასში უნდა არსებობდეს განსაკუთრებული სახის ველი – **ბირთვული ძალების ველი**, რომელიც ერთმანეთთან აბამს ბირთვულ ნაწილაკებს. მაშინ უნდა არსებობდეს ამ ველთან დაკავშირებული ელემენტარული ნაწილაკები, ბირთვული ურთიერთქმედების გადამტანების სახით, რომელთა მასები (200–300) m_e ელექტრონის მასის რიგისაა. ექსპერიმენტატორებმა უნდა ეძებონ ასეთი ნაწილაკები, გამოაცხადა იუკავამ.

ექსპერიმენტატორებმა დაიწყეს შესაბამისი ნაწილაკების გამაღებელი ძებნა. მართლაც, ბედნიერმა **ანდერსონმა**, კოსმოსური სხივების შესწავლისას აღმოჩინა ნაწილაკი, რომლის მასა 207 ელექტრონის მასის ტოლი აღმოჩნდა. ამ აღმოჩენამ **შეაზანზარა** მეცნიერული სამყარო. მეცნიერები ეძებდნენ იუკავას მიერ ნაწინასწამეტყველებ ნაწილაკს და აღმოაჩინეს კიდევ, რომელსაც მათ **მეზონი** – ნაწილაკი საშუალო მასით უწოდეს.

ფიზიკოსებმა ბირთვი წარმოიდგინეს როგორც მეზონების ღრუბელის ნაფლეთი, რომლის შიგნით დაბორიალობდნენ ნეიტრონები და პროტონები. ისინი ერთმანეთზე მოქმედებენ ამ მეზომების გაცვლის მეშვეობით. ფიზიკაში დადგა პერიოდი როცა ყველაფერი გასაგები გახდა. მაგრამ იგი მოკლე გამოდგა. გაირკვა, რომ ანდერსონის მიერ აღმოჩენილ მეზონებს არაფერი საერთო არ გააჩნიათ იუკავას ბირთვულ ნაწილაკებთან. აღმოჩნდა, რომ მეზონებს გააჩნიათ ისეთივე სპინი, როგორსაც ავლენენ ბირთვის შემადგენელი ნაწილაკები – პროტონ-ნეიტრონები. მეზონებს, მათთან ურთიერთქმედებისას უნდა გაეცვალათ სპინიც, რაც ექსპერიმენტზე არ დაიკვირვებოდა. ამიტომ ისინი ვერ შეასრულებდნენ ბირთვული ძალების შესაბამისი ნაწილაკების როლს. თუმცა ფიზიკოსებს მაინც სჯეროდათ იუკავას განტოლების სისწორისა.

1947 წელს დიდი ძალისხმევით შედეგად მართლაც აღმოაჩინეს იუკავას მეზონები. ამ წარმატებას მიაღწია ვ. **პაულმა**, რომელმაც შეიმუშავა ახალი ზემგრძნობიარე მეთოდიკა. იუკავას მეზონები, რომლებსაც პაულმა f (primary – პირველი) მეზონები უწოდა, 3 სხვადასხვა სახისა აღმოჩნდა: დადებითად დამუხტული – π^+ , უარყოფითად დამუხტული – f^- და ნეიტრალური π^0 -მეზონები. აღმოჩნდა, რომ იუკავას მეზონები ბირთვის გარეთ მალე იშლებიან და ძალიან ცოტა ხანს არსებობენ [104;378].

ამრიგად ექსპერიმენტმა იუკავს „ცემენტი“ აქცია მტკიცე **ბეტონად**, ხოლო ბირთვის პროტონ-ნეიტრონული მოდელი – **რეალურად**.

ბირთვული რეაქციების გამოკვლევებმა მეცნიერები მიიყვანა მრავალი სხვადასხვა ნაწილაკების აღმოჩენამდე. ამ მხრივ განსაუთრებით უხვი გამოდგა მძლავრი ამაჩქარებლებით ჩატარებული ექსპერიმენტები.

შეიქმნა რამდენიმე მძლავრი ფიზიკური ცენტრი.

9. შრედინგერის განტოლება. ალბათობის ტალღები

დე ბროილის თეორიამ მეცნიერები მიიყვანა მატერიის კორპუსკულარული და ტალღური წარმოდგენების შერწყმამდე. დირაკის აზრით, შრედინგერზე დიდი შთაბეჭდილება მოახდინა ფარდობითობის სპეციალური თეორიის სილამაზემ. ავსტრიელი ფიზიკოს-თეორეტიკოსმა **ერვინ შრედინგერმა** (1887-1961) 1920 წელს დე ბროილის ჰიპოთეზაზე დაყრდნობითა და ფარდობითობის სპეციალური თეორიის გამოყენებით, მრავალი მათემატიკური წინააღმდეგობის გადალახვის შემდეგ, **ინტიუციური** მიგნების შედეგად, გამოიყვანა შემდეგი რელატივისტური ტალღური განტოლება თავისუფალი ელექტრონისათვის:

$$\{1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 - \partial^2 / \partial x^2 - \partial^2 / \partial y^2 - \partial^2 / \partial z^2 - (mc/\hbar)^2\} \Psi = 0.$$

რომელიც ცნობილია კლეინ-გორდონის განტოლების სახელ-



ნოდებით. ამ რელატივისტურმა განტოლებამ შრედინგერი ვერ მიიყვანა მისთვის მოსალოდნელ წარმატებამდე, რადგანაც კარგად არ ეთანხმებოდა ექსპერიმენტულ მონაცემებს. ეს განტოლება ზუსტად ასახვს სპინის არმქონე ნაწილაკის ქცევას. ელექტრონის შემთხვევაში კი საჭირო იყო შესწორება სპინის გათვალისწინებით. იმ დროს კი ელექტრონის სპინი ცნობილი არ იყო. ამიტომ შრედინგერს არ ეყო გამბედაობა, რომ გამოექვეყნებინა მის მიერ

მიღებული განტოლება თავისუფალი ელექტრონისათვის. შედეგად **ო. კლეინმა** და **ვ. გორდონმა**, რომელთაც ეყოთ გამბედაობა, გამოაქვეყნეს იგივე განტოლება, რის გამოც მას ეწოდება კლაინ-გორდონის განტოლება. ის გამოიყენება ნულოვანი სპინის მქონე რელატივისტური ნაწილაკისათვის, რომელიც იმ დროს არ იყო ცნობილი [78;35].

შრედინგერმა გადაწყვიტა თავისი განტოლების შესწორება არარელატივისტურ მიახლებაში, რომელიც 1926 წელს გამოქვეყნდა.

კლასიკურ ფიზიკაში მოძრაობის ძირითადი განტოლებები საშუალებას იძლევიან განისაზღვროს სისტემის მდგომარეობა დროის ნებისმიერ მომენტში, თუ ცნობილია მისი მდგომარეობა რომელიმე ერთ მომენტში.

ტალღური პროცესი განისაზღვრება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით:

$$\partial^2 \Psi / \partial t^2 = u^2 (\partial^2 \Psi / \partial x^2 + \partial^2 \Psi / \partial y^2 + \partial^2 \Psi / \partial z^2).$$

ეს განტოლება აღწერს Ψ სიდიდის რხევას, რომელიც ვრცელდება u ფაზური სიჩქარით. თუ ნაწილაკს მოძრაობას

განვიხილავთ, როგორც ბრტყელი დე ბროისეული ტალღის გავცელებას, და გავითვალისწინებთ, რომ ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია გამოითვლება, როგორც სრული E ენერგიისა და პოტენციალური U ენერგიის სხვაობა, ეს ტალღური განტოლება იღებს შემდეგ შემდეგ სახეს:

$$(\partial^2 \Psi / \partial x^2 + \partial^2 \Psi / \partial y^2 + \partial^2 \Psi / \partial z^2) + \frac{8\pi^2 m f^2}{h^2} (E - U) \Psi = 0.$$

ეს არის განტოლება ნაწილაკისათვის, რომელიც ცნობილია შრედინგერის განტოლების სახელწოდებით. იგი გამოხატავს დე ბროილის განზოგადებულ ჰიპოთეზას ნივთიერების ტალღური ბუნების შესახებ [123;44].

ამ დიფერენციალურ განტოლებას გააჩნია დისკრეტული ამოხსნები, რომელთაც საკუთარი ფუნქციები ეწოდება, ხოლო ენერგიის იმ დისკრეტულ მნიშვნელობებს, რომლისათვისაც განტოლებას ამოხსნა გააჩნია, ეწოდება განტოლების საკუთარი მნიშვნელობები [90;427].

შრედინგერის თეორია შეიძლება ჩაითვალოს მიკროსამყაროს **ახალი მექანიკის** დასაწყისად, რადგანაც იგი შეიცავს ამ მექანიკის ძირითად განტოლებას.

უნდა ვიფიქროთ, რომ ყოველი დიდი ფიზიკოსი, და მათ შორის შრედინგერიც, შინაგანად გრძნობს მოვლენებს და ძალუძს მათი მათემატიკური ინტერპრეტაცია. და პირიქით, იგი გრძნობს მათემატიკური ფორმულის სილამაზეს და შეუძლია მისი ფიზიკური ინტერპრეტაცია. მას **ინტიუციური** მიგნების შედეგად, შეუძლია მათემატიკურ ფორმულაში ფიზიკური პროცესის – ფიზიკური აზრის დანახვა.

შრედინგერისათვის შეუზღუდავი იყო მოძრაობის კლასიკური კონცეფციის ავტორიტეტი და ცდილობდა Ψ ფუნქცია წარმოედგინა ცხადი და გაზომვადი სიდიდის სახით. ის ცდილობდა მისთვის მიეცა მარტივი ახსნა. მისი აზრით, კვანტური პროცესები შეიძლება აიხსნას „ადამიანური მიდგომით“. მრავალი ფიზიკოსი იაზიარებდა შრედინგერის ამ მოსაზრებას. ნ. ბორი კი მრავალჯერ ცდილობდა შრედინგერის გადარწმუნებას, მაგრამ უშედეგოდ. ამ წინააღმდეგობიდან

გამოსავალი მოინახა მაქს ბორნის მიერ ატომური დაჯახებების შესწავლისას. როცა დადგინდა იქნა, რომ \mathbb{E} ფუნქციის ამპლიტუდის კვადრეტი გამოხატავს ნანოლაკის არსებობის ალბათობას შესაბამის მდგომარეობაში. მაგრამ შრედინგერი, მ. ლაუე და მ. პლანკი მაინც არ იზიარებდნენ, რომ „ელექტრონს შეეძლო რწყილისავით“ ხტომა [123;49].

ალბათობის ტელეები. შრედინგერის Ψ ფუნქცია არის სივრცული კოორდინატების უწყვეტი ფუნქცია. ერთი ნანოლაკის შემთხვევაში იგი არის 3 კოორდინატის ფუნქცია. მაქს ბორნის მიხედვით, ამ ფუნქციის კვადრეტი განსაზღვრავს ნანოლაკის არსებობის ალბათობას აღებულ წერტილში.

აღმოჩნდა, რომ კვანტური მექანიკის მიხედვით, ნებისმიერ λ ფიზიკურ სიდიდეს შეესაბამება \hat{L} ოპერატორი, რომლის მოქმედებით შესაბამის Ψ ტალღურ ფუნქციაზე მიიღება შემდეგი კვანტური განტოლება:

$$\hat{L}\Psi_n = \lambda_n \Psi_n$$

სადაც λ_n ცალსახად განსაზღვრული სიდიდეებია, რომლებიც შეესაბამება ტალღური ფუნქციის Ψ_n მდგომარეობას. λ_n -ს ეწოდება \hat{L} ოპერატორის საკუთარი მნიშვნელობები, ხოლო Ψ_n -ს საკუთარი ფუნქციები. \mathbb{E}_n^2 გამოსახავს ალბათობას იმისა, რომ სისტემა იმყოფება Ψ_n -ს შესაბამის მდგომარეობაში, ხოლო სიდიდე $\lambda_n = \lambda_n$ [90;439].

ხომ დამეთანხმებით, რომ კვანტური მექანიკის ეს განტოლება მიეკუთვნება ულამაზეს განტოლებათა რიცხვს.

10. ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი

კვანტური მექანიკის კოპენჰაგენურ ინტერპრეტაციას საფუძვლად დაედო გერმანელი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი ვერნერ ჰაიზენბერგის (1887-1961) პრინციპი, რომელიც ამჟღავნებს მიკროსამყაროს კანონზომიერებების სპეციფიკურობას და მის არსებით განსხვავებას მაკროსამყაროსაგან [2;141].

ნებისმიერი გაზომვის ოპერაცია მოითხოვს გასაზომი ობიექტისა და საზომი ხელსაწყოს არსებობას. პირველი მათგანი გაზომვის პროცესის ობიექტურ მხარეს წარმოადგენს, მეორე კი – სუბიექტურს. მიკროსამყაროში გაზომვას აუცილებლად თან სდევს „შეშფოთება“. ცდაში ყოველთვის საქმე გვაქვს „შეშფოთებულ“ მდგომარეობასთან. თვით სანყისი ობიექტური, ანუ შეუშფოთებელი მდგომარეობა ცდაში პრინციპულად არასოდეს გვეძლევა [2;143].

შეშფოთებას ინვევს დამკვირვებელი თავისი ხელსაწყოებით. ე.ი. ცდის შედეგი მიკროსამყაროში აუცილებლად ობიექტურ-სუბიექტურია.

ჰაიზენბერგის განუზღვრელობათა თანაფარდობის აღმოჩენამ გასაგები გახადა ის თუ რატომაა შეუძლებელი ერთ შემთხვევაში ნაწილაკის მარტო კოორდინატის გაზომვა, ხოლო მეორე შემთხვევაში – მარტო იმპულსისა. ან რატომაა, რომ სინათლე ხან ტალღისებურად მოქმედებს და ხან კორპუსკულურად.

სისტემისათვის დამახასიათებელი ორი L და M სიდიდე შეიძლება გაიზომოს ერთდროულად ნებისმიერი სიზუსტით, თუ მათი შესაბამისი ოპერატორები \hat{L} და \hat{M} ფლობენ ერთსა იმავე საკუთარ ფუნქციებს, ანუ თუ ერთდროულად სრულდება შემდეგი ტოლობები:

$$\hat{L} \mathbb{E}_n = L_n \mathbb{E}_n \text{ და } \hat{M} \mathbb{E}_n = M_n \mathbb{E}_n$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ როგორც L -ს, ისე M სიდიდეს ერთსა და იმავე \mathbb{E}_n მდგომარეომაში ექნებათ განსაზღვრული L_n და M_n მნიშვნელობები. აღმოჩნდა, რომ ეს შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ \hat{L} და \hat{M} ოპერატორები ურთიერთკომუტატურია:

$$\hat{L} \hat{M} - \hat{M} \hat{L} = 0.$$

ფიზიკაში არსებობენ ნაწილაკისათვის დამახასიათებელი ისეთი დინამიკური სიდიდეები, რომელთა შესაბამისი ოპერატორები არაკომუტატურია. ასეთებია მაგალითად კოორდინატი

x და იმპულსის მდგენელი p_x . მათი შესაბამისი ოპერატორები აკმაყოფილებენ პირობას:

$$\hat{x}\hat{p}_x - \hat{p}_x\hat{x} = h/2\pi i$$

ჰაიზენბერგის ჩვენებით, ამ თანაფარდობას აზრი აქვს მაშინ, თუ კოორდინატის განუზღვრელობა Δx და იმპულსის განუზღვრელობა Δp_x აკმაყოფილებენ პირობას:

$$\Delta x \Delta p_x \geq h/2\pi$$

ანალოგიურ ურთირთიმართებაში არიან ერთმანეთთან დრო და ენერგია:

$$\Delta t \Delta E \geq h/2\pi$$

ჰაიზენგერგის ამ განუზღვრელობის შინაარსი მდგომარეობს შემდეგში: თუ იზრდება კოორდინატის გაზომვის სიზუსტე, შესაბამისად მცირდება იმპულსის გაზომვის სიზუსტე და პირიქით. ჰაიზენბერგის აზრით, განუზღვრელობის პრინციპი განპირობებულია იმით, რომ ერთი სიდიდის გაზომვის პროცესში გამზომი ხელსაწყო გავლანას ახდენს მეორე გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობაზე. მაკროსამყაროში ხელსაწყოს მოქმედებით გამონვეული გასაზომი სიდიდის ცვლილება ძალიან მცირეა და შეიძლება უგულებელყოფილ იქნას იგი. მიკრო სამყაროში კი ამ ცვლილების უგულებელყოფა შეუძლებელია. რაც უფრო ზუსტად გავზომავთ ნაწილაკის კოორდინატს, გამზომი ხელსაწყო მით მეტად იმოქმედებს ნაწილაკის იმპულსზე და შეცვლის მას.

ჰაიზენბერგის დასკვნით, ატომური პროცესებისათვის ყველა კლასიკური ცნება შეიძლება ერთდროულად განისზღვროს განუზღვრელობის თანაფერდობით მოცემული პირობების გათვალისწინებით.

განუზღვრელობის თანაფარდობაში ნილს ბორმა ყურადღება მიაქცია იმ ფაქტს, რომ დაკვირვებისას განუზღვრელობა უშუალოდ დაკავშირებულია სხვადასვა პროცესის ერთდროულად დაკვირვებასთან, რომელთაგან ერთი მათგანი დაკავშირებულია კორპუსკულარულ თვისებასთან, ხოლო მეორე – ტალღურთან. ნ. ბორი თვლის, რომ განუზღვრელობის პრინციპი

შედეგია უფრო ზოგადი – დამატებითობის პრინციპისა, რომლის თანახმად შეუძლებელია ერთ ექსპერიმენტში დაკვირვებულ იქნას მატერიის როგორც კორპუსკულარული, ისე ტალღური თვისებები. ბორის დაშვებით, ყოველი ექსპერიმენტი აღმოაჩენს ელექტრონის ან ტალღურ, ან კორპუსკულარულ თვისებას და არა ორივეს ერთდროულად. ამიტომ მატერიის კორპუსკულარული და ტალღური თვისება ერთმანეთის ურთირთედამატებით თვისებად უნდა ჩაითვალოს [90;447].

მაქს ბორნმა დამატებითობის პრინციპის გაგების მიზნით, ყურადღება მიაქცია იმ ფაქტს, რომ ნაწილაკი ერთდროულად ხასიათდება ერთის მხრივ იმპულსურ-ენერგეტიკული – კორპუსკულარული თვისებით, ხოლო მეორე მხრივ ტალღური თვისებებით – სიხშირისა და ტალღის სიგრძის სახით, რომელთა შორის კავშირები მოიცემა დე ბროილის ცნობილი ფორმულების საშუალებით. ნაწილაკი განიხილება როგორც ნერტილი, ლოკალიზებული დროსა და სივრცეში. მაგრამ ამ ნერტილის ენერგია და იმპულსი გამოიხატება ტალღური პროცესისათვის დამახასიათებელი სიდიდეებით, რომლებიც უსასრულოდ ვრცელდება დროსა და სივრცეში. ტალღური პროცესის შემოსაზღვრულობით დროსა და სივრცეში ირღვევა მისი თვისება. ამიტომ ტალღური პროცესის ლოკალიზება დროსა და სივრცეში მოქმედებს იმ თვისებებზე, რომლის მეშვეობით განისაზღვრება მისი იმპულსი და ენერგია [90;448].

11. დამატებითობის პრინციპი

სიტყვა დამატებითობა, ისე როგორც დუალიზმი, გამოიყენება სხვადასხვა ცნებების წყვილის მიმართ: „კორპუსკულა – ტალღა“, „კოორდინატი – იმპულსი“, „დრო – ენერგია“; მათი გაზომვისათვის საჭირო აპარატების მიმართ, და ბოლოს, ფილოსოფიისა და ლოგიკის მეთოდების მიმართ [65;457].

სინათლისა და ნაწილაკის ორმაგი და ურთიერთ გამომრიცხავი – ტალღური და კორპუსკულარი თვისების ექსპერიმენტულ აღმოჩენაზე დაყრდნობით ბორმა ჩამოაყალიბა

დამატებითობის პრინციპი, რომელსაც მიანიჭა ფილოსოფიური და ზოგად-საკაცობრიო მსოფლმხედველობრივი მნიშვნელობა.

ზოგ ცდაში სინათლე თავს ამჟღავნებს ტალღის სახით, ზოგში კი კორპუსკულის სახით. ნ. ბორის აზრით, ეს იმას კი არ ნიშნავს, რომ მას აქვს ან ტალღური ბუნება, ან – კორპუსკულარული, არამედ ტალღურ-კორპუსკულარული. ორივე თვისება თანაბარ მნიშვნელოვანია, რაც უნდა გამოიხატოს დამატებითობის პრინციპით. ანუ ნაწილაკის ბუნების ზუსტი აღწერისათვის აუცილებელია ცდის ჩატარება ორ, სხვადასვა პირობებში, სხვადასხვა ხელსაწყოებით და ორივე შედეგისათვის თანაბარი მნიშვნელობის მინიჭება [2;194].

ენერჯისა და დროის გასაზომდაც, ისევე, როგორც კოორდინატისა და იმპულსის გასაზომად, საჭიროა სხვადასხვა ხელსაწყოები.

დროისა და კოორდინატის გასაზომად საჭიროა საათი და უძრავი ბადე. ენერჯისა და იმპულსის გასაზომად საჭიროა მოძრავი ხელსაწყო. ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ეს ორი პირობა ერთმანეთს გამორიცხავს ბუნების იმ კანონების თანახმად, რომლის შესწავლასაც ვაპირებთ. ნ. ბორი ორ ასეთ ცნებას და მათი გაზომვისათვის საჭირო ექსპერიმენტულ აპარატს ურთიერთდამატებითს უწოდებს. მისი აზრით, ისინი ავსებენ ერთმანეთს.

მ. ბორნის აზრით, კვანტურ ფოზიკაში დაკვირვების შედეგი დამოკიდებულია ექსპერიმენტის პირობებზე. ხელსაწყოთი დანახული (დაპროექტებული) სურათი ფარობითია და დამოკიდებულია ხელსაწყოთი თვისებებზე. თუმცა ის, რასაც მკვლევარი აწყდება ხელსაწყოში თვით რეალობას კი არ წარმოადგენს, არამედ რეალობის პროექციას (ჩრდილს) ხელსაწყოზე, რომლის შედეგი დამოკიდებულია თვით ხელსაწყოზეც. მთავარი შედეგი იმაში მდგომარეობს, რომ ექსპერიმენტში გაზომილი გარკვეული სიდიდე, რომელიც განიხილება როგორც საგნის თვისება, სინამდვილეში არის პროექციის თვისება.

მ. ბორნის აზრით, დამატებითობა არის მნიშვნელოვანი პრინციპი, რადგანაც ის ბევრ რამეს ხსნის ფიზიკის მიღმაც. ის

ეხება ისეთ ცნებათა წყვილებს როგორცაა მატერია და სიცოცხლე, სხეული და სული, თავისუფლება და აუცილებლობა და მისთ.

ბიოლოგიაში ცოცხალი ნივთიერება ისწავლება ფიზიკო-ქიმიური თვისებებით, მაგრამ თვით სიცოცხლე აღინერება ისეთი ცნებებით როგორცაა მიზანი, ნება, სიხარული, მწუხარება და სხვა მისთ. თუ ჩვენ მოვინადინებთ თავის ტვინში მიმდინარე ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შესწავლას, მაშინ ჩვენ მას დავაზიანებთ და ვეღარ შევისწავლით ფსიქიკურ პროცესებს [65;431].

როგორც მ. ბორნი, ისე ნ. ბორი ფიქრობდა რომ ადამიანის **სხეული და სული** ურთიერთ დამატებით ცნებებს წარმოადგენენ და ერთმანეთზე არ დაიყვანება. ისინი უნდა შევისწავლოთ სხვადასხვა მეთოდით და განვიხილოთ როგორც ერთი მთელის სხვა და სხვა ასპექტი [8;434].

ნ. ბორს დამატებითობის პრინციპი მიაჩნია ცოდნის ერთიანობისა და სისრულის გარანტიად [2;195].

ნილს ბორს უთქვამს: „მხოლოდ სისავსეს მოაქვს სიცხადე“ [60;310].

სწორედ ამ პრინციპის შესაბამისია კოსმიური სამყაროს შემეცნება თეოსოფიური მიდგომით, რომელიც მე გამოვიყენე. [წიგნი II).

ჰეიზენბერგის აზრით, ჭეშმარიტი უნდა იყოს ის უნივერსალური დებულება, რომლის თანახმად, ადამიანების მიერ სამყაროს შემეცნებისას, ხშირად ყველაზე შორს მიღებული შედეგები მიიღწევა 2 სხვადასხვა აზროვნების სისტემის ურთიერთქმედებისას.

მიუხედავად ამისა, ერ. შრედინგერი, ალ. აინშტაინთან, მ. პლამკთან, ლუი დე ბროილთან და მ. ლაუესთან ერთად, წინააღმდეგი იყო კვანტური მექანიკის ალბათური ინტერპრეტაციისა. ისინი იცავდნენ კლასიკური ფიზიკის პრინციპებს და არ იზიარებდნენ დამატებითობის, განუზღვრელობის პრინციპებსა და ტალღური ფუნქციის ალბათურ ინტერპრეტაციას [123].

11. დირაკის განტოლება

გამოჩენილი ინგლისელი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი ადრიანე



დირაკის (1902-1984) რელატივისტური ტალღური განტოლება წარმოადგენს მის თავში მოულოდნელად მოსული რაღაც იდეის (მიგნების) შედეგს. მან ვერ ახსნა თუ როგორ მოხდა ეს. ამიტომ მან თავისი შრომის ასეთი წარმატება დაუმსახურებლად მიიჩნია. რაც მის თავმდაბლობაზე მეტყველებს. ჩემი აზრით, ეს წარმატება მისი გონიერებისა და ინტუიციური აზროვნების უნარის გენიალობის შედეგად უნდა მივიჩნიოთ. დირაკს აინტერესებდა აეგო რელატივისტური თეორიის დამაკმაყოფილებელი განტოლება თავისუფალი ელექტრონისათვის.

თუ გავითვალისწინებთ აინშტაინის რელატივისტურ განტოლებას:

$$E^2/c^2 = m^2c^2 + p^2$$

და გადავალთ კვანტურ მექანიკაზე, რისთვისაც საჭიროა ენერგია E და იმპულსი p შევცვლოთ მათი შესაბამისი ოპერატორებით:

$$\hat{p} = -i \hbar (\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2)$$

$$\hat{E} = -i \hbar (\partial/\partial t)$$

და ვიმოქმედოთ ტალღურ ფუნქციაზე მივიღებთ კლეინ-გორდონის განტოლებას (თავი 1.24).

$$\{1/c^2 \partial^2/\partial t^2 - \partial^2/\partial x^2 - \partial^2/\partial y^2 - \partial^2/\partial z^2 - (mc/\hbar)^2\} \Psi = 0.$$

დირაკი დარწმუნებული იყო კვანტური მექანიკის ზოგად ფიზიკურ ინტერპრეტაციაში. ამიტომ ის ფიქრობდა, რომ მიღებული ტალღური განტოლიბა უნდა იყოს წრფივი $\partial\Psi/\partial t$ ოპერატორის მიმართ. კლაინ-გორდონის განტოლებაში კი

მონანილეობს მისი კვადრატული ფორმა. საჭირო იყო კვადრატული ფორმის წრფივ ფორმაზე დაყვანა. დირაკი რამდენიმე თვის განმავლობაში ცდილობდა ამ ამოცანის ამოხსნას, მაგრამ უშედეგოდ. და აი პასუხი წარმოიშვა სავესებით მოულოდნელად, რომელიც მისი აზრით, არის „დაუმსახურებელი“ წარმატების ერთ-ერთი მაგალითი. ამოხსნის იდეა მას თავში მოუვიდა, როცა ის ერთობოდა მათემატიკური ფორმულებით: მან მიაგნო მეთოდს, რომლის მეშვეობით კვადრატული ფესვი 4 ნევრის კვადრატთან ჩაინერებოდა წრფივი გამოსახულებების ჯამის სახით. ამისთვის საჭირო იყო ისეთი 4 მატრიცის გამოყენება, რომლებიც თითოეული შედგებოდა 4 სვეტისა და 4 რიგისაგან. შედეგად მან მიიღე შემდეგი სახის ტალღური განტოლება:

$$\{i\hbar(\partial/\partial t - \alpha_1\partial/\partial x - \alpha_2\partial/\partial y - \alpha_3\partial/\partial z - \alpha_4mc)\} \Psi = 0.$$

სადაც Ψ ტალღური ფუნქცია შედგება 4 კომპონენტისაგან, რომელთაგან თითოეული ცალკე-ცალკე აკმაყოფილებს ტალღურ განტოლებას. ხოლო r_i მატრიცები დროსა და კორდინატებს არ შეიცავენ, მოქმედებენ Ψ -ს კომპონენტებზე და აკმაყოფილებენ შემდეგ პირობას:

$$r_i r_k + r_k r_i = 2\delta_{ik}$$

ამ გამოსახულებას **დირაკის პირობებს** უწოდებენ, რომელთა დაკმაყოფილება მხოლოდ მეოთხე, და არა მეორე, რანგის მატრიცებით შეიძლება. ამ მატრიცებს სპინური მატრიცები ეწოდებათ [57;470].

დირაკის განტოლება ერთის მხრივ რელატივისტურია, ხოლო მეორე მხრივ შესაბამისობაშია კვანტური მექანიკის ძირითად კანონებთან. ამიტომ ის გამოდგება ელექტრონის მოძრაობის აღსაწერად. ამ განტოლების საშუალებით დირაკმა აღმოაჩინა, რომ ელექტრონს გააჩნია $1/2$ -ს ტოლი სპინი და მაგნიტური მომენტი, რომლებიც თანხვედრა ექსპერიმენტულ მონაცემებს. ეს შედეგი დირაკისთვის მოულოდნელი სიურპრიზი აღმოჩნდა [75;135].

დირაკის განტოლებას გააჩნია 4 ამოხსნა. 2 შეესაბამება ელექტრონის სპინის 2 დამოუკიდებელ სხვადასხვა მდგომა-

რეობას. მაგრამ მეოთხე რიგის r_i მატრიცები იძლევიან კიდევ 2 დამატებით ამოხსნას უარყოფითი ენერგიით, რომელთა უკუგდება არ შეიძლება.

ამრიგად, წარმოიქმნა პრობლემა: როგორ უნდა გავიგოთ ელექტრონის მოძრაობა უარყოფითი ენერგიით?

აინშტაინის რელატივისტური თეორიის თანახმად, კვანტური მექანიკის გათვალისწინებით, p იმპულსის მქონე ნაწილაკის ენერგია გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$E = \pm \sqrt{(m_0^2 c^4 + c^2 p^2)}$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ ელექტრონის ენერგიამ შეიძლება მიიღოს როგორც დადებითი $+mc^2$ -დან უსასრულობამდე, ისე უარყოფითი $-mc^2$ -დან მინუს უსასრულობამდე მნიშვნელობები.

კვანტური მექანიკის თანახმად ელექტრონს დადებითი ენერგიის მდგომარეობიდან შეუძლია გადახტეს უარყოფითი ენერგიის მდგომარეობაში. ფიზიკური თვალსაზრისით ექსპერიმენტზე არასოდეს დაიკვირვება უარყოფითი ენერგია. საჭირო იყო ამ ფაქტის შესაბამისი ფიზიკური ინტერპრეტაცია [78;90].

13. ახალი წარმოდგენა ვაკუუმის შესახებ

კვანტურ მექანიკაში წარმოიშობა დინამიკური ცვლადები რომელთა მნიშვნელობანი იცვლებიან ნახტომისებურად. ამიტომ ნაწილაკის ენერგია შეიძლება შეიცვალოს დადებითი მნიშვნელობიდან უარყოფითისაკენ. რის გამოც აზრი ეძლევა ენერგიის უარყოფითი დონეების არსებობას და აუცილებელი ხდება ასეთი მდგომარეობის ფიზიკური ინტერპრეტაცია [78;136].

ადრე ვაკუუმი განიხილებოდა როგორც სივრცის სავსებით ცარიელი ნაწილი, ანუ არე, სადაც არაფერი არ არის მოთავსებული. დირაკი ვაკუუმს განიხილავს როგორც სივრცის არეს ენერგიების მინიმალური შესაძლებლობებით. ამისთვის საჭიროა, რომ შევსებული იყოს უარყოფითი ენერგიის მქონე ყოველი ენერგეტიკული დონე.

პაულის პრინციპის თანახმად ნებისმიერ კვანტურ მდგომარეობაში შეიძლება არსებობდეს მხოლოდ 1 ელექტრონი, ეს მოსაზრება ცნობილია როგორც პაულის აკრძალვის პრინციპი. ერთსა და იმავე მდგომარეობაში არ შეიძლება არსებოდეს 2 ელექტრონი.

შეიძლება დაუშვათ, რომ ვაკუუმში არსებობენ უარყოფითი ენერგიის მქონე ელექტრონები, რომლებიც ავსებენ ყველა უარყოფით დონეს. ვაკუუმში ყველა დადებითი ენერგიის მქონე დონე თავისუფალია [78;90].

ხვრელების გაჩენა ვაკუუმში. კვანტური ფიზიკა უშვებს ნახტომისებურ გადასვლებს. რადგანაც ყოველი სისტემა ცდილობს გადავიდეს მინიმალური ენერგის მცგომარეობაში, ამიტომ ნებისმიერედ მცირე გარე ველის მოქმედებით ყველა ნორმალური ელექტრონი სწრაფად უნდა გადავიდეს უარყოფითი ენერგიის არეში. 1930 წელს დირაკმა დაუშვა, რომ ელექტონების მიერ ყველა უარყოფითი ენერგიის მდომარეობა დაკავებულია, რის გამოც პაულის პრინციპით მათზე გადასვლა აკრძალულია. უარყოფითი მდგომარეობის ელექტრონის არსებობა („ხვრელი“ ვაკუუმში) გამოვლინდება როგორც დადებითი ენერგიისა და მუხტის მქონე ნაწილაკი [99;88].

თუ უარყოფითი ენერგიის დონეზე მყოფ ელექტრონს გადაეცემა $2mc^2$ -ზე მეტ ენერგიას იგი გადახტება დადებითი ენერგიის დონეზე. ამ შემთხვევაში შეუვსებელი უარყოფითი ენერგიის დონე შეიძლება განვიხილოთ როგორც „ცარიალი ადგილი“, რომელსაც დირაკი განიხილავს როგორც „ხვრელს“ ვაკუუმში.

ამასთან ელექტრონი და „ხვრელი“ შეიძლება შეერთდნენ, რომლის დროსაც მათი ენერგია გარდაიქმნება ენერგიის სხვა (ელექტრომაგნიტურ) ფორმად. ასეთ პროცესს ანიჰილაციას უწოდებენ. დირაკი ასეთ ხვრელს განიხილავს როგორც ახალი ტიპის ნაწილაკს დადებითი ენერგიითა და დადებითი მუხტით. ელექტრულ ველში ხვრელი იმოძრავებს როგორც ნაწილაკი დადებითი ენერგიითა და დადებითი მუხტით [78;31].

დირაკის აზრით, ამ ახალი ნაწილაკის მასა, თეორიის ენერჯის მიმართ სიმეტრიულობის გამო, ელექტრონის მასის ტოლი უნდა იყოს. მიუხედავად ამისა, რადგანაც მაშინ არსებობდა მხოლოდ 2 ნაწილაკი – დადებითად დამუხტული პროტონი და უარყოფითად დამუხტული ელექტრონი, იმდროინდელი მეცნიერება არ მოითხოვდა სხვა დამუხტული ნაწილაკის არსებობას. ამიტომ დირაკმა ჩათვაკლა, რომ ხვრელი შეესაბამება პროტონს. ის თვლიდა, რომ თუ არსებობდა სხვა სახის დადებითად დამუხტული ნაწილაკი, ის უკვე აღმოჩენილი იქნებოდა [78;32].

თუმცა დირაკი მიხვდა, რომ ეს იყო დიდი შეცდომა. რადგანაც მას არ ეყო გამბედაობა ელიარებინა, რომ ამ ახალი ნაწილაკის მასა იყო ელექტრონის მასის ტოლი [78;136].

იმ დროს გაბატონებული იყო იდეა, რომ არსებობდა ორგვარი – დადებითი და უარყოფითი მუხტი, ამასთან ერთის მატარებელი იყო პროტონი და მეორესი – ელექტრონი. ამიტომ ყველაფერი რიგზე იყო და საჭირო არ იყო მესამე სახის დამუხტული ნაწილაკის არსებობა. როცა ექსპერიმენტატორები აკვირდებოდნენ დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობის კვალს მაგნიტურ ველში მოთავსებულ ვილსონის კამერით, ტრეკს რომელსაც დადებითად დამუხტული ახალი ნაწილაკი – პოზიტრონი ტოვებდა, ექსპერიმენტატორები აღიქვამდნენ როგორც საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრავ ელექტრონს [78;137].

ამის გამო მათ არ შეეძლოთ აღმოეჩინათ ელექტრონის მასის მქონე დადებითად დამუხტული ნაწილაკი, სანამ იგი არ აღმოაჩინა ანდერსონმა. ანდერსონს ჰქონდა მხოლოდ ერთი ფოტო სურათი ისეთი დადებითი კვალისა, რომელიც კვეთდა ტყვიის ფირფიტას, რომლის ერთ მხარეს კვალი გამრუდებული იყო უფრო მეტად, ვიდრე მეორეში. ფირფიტის გავლისას, ცხადია ნაწილაკი კარგავს ენერჯიას, რის გამოც მისი კვალის სიმრუდე მცირდება. ამიტომ დაკვირვებით ცალსახად განისაზღვრება მისი მოძრაობის მიმართულება, რაც შეესაბამებოდა დადებითად დამუხტული ნაწილაკის მიმართულებას. ტრეკის იონიზაციის გათვალისწინებით დადგინდა, რომ ეს იყო

დადებითად დამუხტული ანტიელექტრონის – პოზიტრონის კვალი. ამრიგად ანდერსონმა 1 ფოტოფირფიტით დაამტკიცა პოზიტრონის არსებობა [78;92].

ეს იმას ნიშნავს, ნებისმიერი ხვრელი უარყოფითი ენერგიით შეესაბამება ანტინაწილაკს. ეს დებულება სამართლიანია ნებისმიერი ნაწილაკსათვის: პროტონისათვის (ანტიპროტონი), ნეიტრონისათვის (ანტინეიტრონი). ყველა ეს ნაწილაკი დაიკვირვება ექსპერიმენტზე. ამრიგად მეცნიერებაში დამკვიდრდა ანტიმატერიის კონცეფცია.

14. ანტინივთიერება

ანტინივთიერების პირველი ელემენტი იყო ანტიელექტრონი. იგივე არგუმენტები მისაღები იყო ყველა ნახევარსპინიანი ნაწილაკისათვის, რომლებიც ემორჩილებოდნენ პაულის პრინციპს. ასეთებია პროტონები და ნეიტრონები. ამიტომ უნდა არსებობდნენ ამ ნაწილაკების შესაბამისი ანტინაწილაკებიც. ყოველთვის შეიძლება დაიბადოს ნაწილაკ-ანტინაწილაკის წყვილი.

მიმდინარეობს აგრეთვე საწინააღმდეგო პროცესიც. თუ არსებობს ანტინაწილაკი, ანუ შესაბამისი ხვრელი, ყოველთვის არსებობს ნაწილაკი, რომელიც მას შეუერთდება ისე, რომ წყვილი ანიჰილაციას განიცდის და მათი ენერგია გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგიად. ექსპერიმენტზე დაიკვირვება ანტიპროტონების, ანტინეიტრონებისა და ანტინეიტრონების დაბადება. ბოზონებისათვის, რომლებიც არ ემორჩილებიან პაულის პრინციპს, აგრეთვე არსებობს ანტინაწილაკები, თუ ისინი დამუხტულები არიან. თუ გვექნებოდა ანტინივთიერების ნაჭერი და მოვათავსებდით მას ჩვეულებრივი მატერიის გვერძე, მოხდებოდა ანიჰილაცია – აფეთქება უზარმაზარი ენერგიის გამოყოფით [78;94].

დაკვირვებით დადგენილია, რომ სამყარო შედგება მხოლოდ ნივთიერებისაგან. მასში მხოლოდ შეიძლება დაიბადოს და გაქრეს ნაწილაკ-ანტინაწილაკების წყვილები. როგორ აიხსნება

ეს ფაქტი. ამის შესახებ მოგიტხრობთ სამყაროს წარმოშობის ეტაპების განხილვისას.

15. ფარდობითობის სპეციალური თეორია

რელატივისტური და კვანტური იდეების საწყის საფუძველს ელექტროდინამიკის განვითარება წარმოადგენდა. აინშტაინის თვალსაზრისით, მეცნიერული ჭეშმარიტება – ის არის, რაც შეესაბამება შემეცნებისაგან დამოუკიდებლად არსებულ ყოფას [90;332].

აინშტაინის მიხედვით მეცნიერული შემეცნების ძირითად გზას წარმოადგენს – დაკვირვებადი მოვლენებიდან, მათგან უშუალოდ არ გამომდინარე დასკვნებამდე, და შემდეგ ამ ახალი დასკვნების ხელახლა დაკვირვებამდე [90;334].

აინშტაინის აზრით, მეცნიერული თეორიის ფიზიკური შინაარსი გარანტირებული ხდება მისი ექსპერიმენტთან თანხმობის შემთხვევაში. (ეს არის მისი „გარეგანი სამართლიანობა“). თეორიის ბუნებრიობის კრიტერიმად კი აინშტაინი მის „შინაგან სრულყოფილებას“ მიიჩნევდა [90;335].

თეორიის ზემოხსენებული აინშტაინისეული კრიტერიუმები, გამომდანიანობენ აინშტაინის რწმენიდან იმის შესახებ, რომ სამყაროს შენობა მონოცილია უნივერსალურად, ჰარმონიულად და სამყაროში მიმდინარე მოვლენებს შორის არსებობენ უნივერსალური კავშირები. სამყაროს ჰარმონიულობა გამოიხატება მიზეზშედეგობრივი კავშირებით, რომლებიც **არსად და არასდროს ირღვევა**. ამიტომ სამყაროს სურათი არაა განპირობებული ისეთი ემპირიული მუდმივებით, როლებიც შემოგვაქვს შემდგომი დაფუძნების გარეშე. იდეურად ყოველი მუდმივა უნდა გამოდიოდეს თეორიული წარმოდგენებიდან. აინშტაინის თვალსაზრისით, ისეთი მუდმივები, რომელთა რიცხვითი მნიშვნელობის მცირე ცვლილება იწვევს სამყაროს (თეორიის) დანგრევას, უნდა ექვემდებარებოდნენ თეორიულ გამოთვლებს [90;336].

სინათლის სიჩქარის მუდმივობა.

აღმოჩნდა, რომ სივრცეში სინათლე ვრცელდება ყოველთვის მუდმივი c სიჩქარით. როცა ჩვენ მას ვზომავთ ერთმანეთის მიმართ სხვადასხვა სიჩქარით მოძრავი სხეულების (ათვლის სისტემების) მიმართ ჩვენ ვლებულობთ ერთსა და იმავე $c = 3 \cdot 10^{10}$ სმ/წმ მნიშვნელობას. აქედან გამომდინარე, აინშტაინი მივიდა დასკვნამდე, რომ ერთდროულობა ფარდობითია. მოვლენები, რომლებიც ერთდროულია ერთ ათვლის სისტემაში, არ იქნება ერთდროული სხვა ათვლის სისტემაში. აინშტაინი ერთდროულობის ფარდობითობას გამოხატავს თეზისის სახით: საათები რომლებიც სინქრონულია ერთ ათვის სისტემაში, შეუძლებელია იყოს სინქრონული სხვა, მის მიმართ მოძრავ, ათვლის სისტემაში. მან განიხილა უძრავი XYZ სისტემა და მის მიმართ $\hat{}\hat{}\hat{}$ სიჩქრით X -ის გასწვრივ მოძრავი $X'Y'Z'$ სისტემა. ორივე სისტემაში გამოიყენება ერთნაირი საათები და მასშტაბები. უძრავ სისტემაში დრო აღინიშნება t ასოთი, მოძრავში – t' -ით. $X'Y'Z'$ მართკუთხა სისტემის ღერძები პერალელურია XYZ სიტემის ღერძებისა. რომელიღაც ნერტილის კოორდინატები XYZ სისტემაში აღნიშნა x,y,z -ით, ხოლო $X'Y'Z'$ სისტემაში – x',y',z' -ით. უძრავ სისტემაში. ერთი და იგივე მოვლენის კოორდინატები უძრავში იყოს x,y,z და t , ხოლო მოძრავში – x',y',z' და t' . საჭიროა ვიცოდეთ, როგორ კავშირშია ერთმანეთთან ნარტილის კოორდინატები და დრო, სინათლის სიჩქარის მუდმივობის გათვალისწინებით, ორ სხვადასახა ათვლის ინერციულ სისტემაში. აინშტაინმა სინათლის სიჩქარის მუდმივობის ფაქტზე დაყრდნობით წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომ სინათლის სიჩქარე ინვარიანტულია ნებისმიერი ათვლის სოსტემის მიმართ. გარდა ამისა აინშტაინმა წამოაყენა მეორე პოსტულატიც, რომ ფიზიკის ყველა კანონი, ელექტროდინამიკის ჩათვლით, ინვარიანტულია ათვლის ნებისმიერი ინერციული სისტემის მიმართ. ამ ორი პოსტულატის ერთობლობა წარმოადგენ აინშტაინის ფარდობითობის პრონციპს, რომელზე დაყრდნობითაც მან ჩამოაყალიბა ახალი – რელატივისტური მექანიკა. ამ დებულებას უნდა დაემატოს მტკიცება,

რომ ინერციულ სისტემაში სივრცე არის იზოტროპული და ერთგვაროვანი, ხოლო დრო – ერთგვაროვანი [57;46].

ამ მოსაზრებებზე დაყრდნობით, აინშტაინმა გამოიყვანა ფორმულები, რომლებიც აკავშირებს ნერტილის კოორდინატებსა და დროს უძრავ სისტემაში იმავე ნერტილის კოორდინატებსა და დროსთან მოძრავ სისტემაში:

$$x = (x' + v t') / \sqrt{1 - v^2 / c^2}, \quad y = y', \quad z = z',$$

$$t = (t' + (v/c^2)x') / \sqrt{1 - v^2 / c^2} \quad (5)$$

ფორმულებს (5)-ს უწოდებენ ლორენცის გარდაქმნის ფორმულებს, რადგანაც ეს ფორმულები აინშტაინამდე, 1904 წელს, გამოყვანილი იყო ჰენდრიკ ანტონი ლორენცის მიერ „ეთერის“ თეორიაზე დაყრდნობით [57;57].

თუ მოძრავი სისტემა უძრავის მიმართ მოძრაობს v_0 სიჩქარით, მოძრავ სისტემაში ნაწილაკი მოძრაობს v' სიჩქარით, ხოლო უძრავში – v სიჩქარით, მაშინ სიჩქარეთა შეკრების კლასიკური მექანიკის კანონის მიხედვით:

$$v = v' + v_0 \quad (6)$$

როგორც ცნობილია, რელატივისტური მოძრაობის შემთხვევაში (6) ფორმულა ეწინააღმდეგება ექსპერიმენტს. ლორენცის გარდაქმნების ფორმულების გამყენებით სიჩქარეთა შეკრების ფორმულას, როცა v' და v_0 ურთიერთ პარალელურია, აქვს შემდეგი სახე:

$$v = (v' + v_0) / [1 + (v'v_0)/c^2] \quad (7)$$

როცა $v' = v_0 = c$, (7)-ს თანახმად, $v = c$, რაც შესაბამისობაშია ექსპერიმენტთან [57;57].

აღსანიშნავია ლორენცის ფორმულები გამოიყვანა არა ელექტროდინამიკიდან, არამედ ზოგადი მოსაზრებებიდან. მისი თვალსაზრისით სინათლის სიჩქარის მუდმივობა გამომდინარეობს სივრცისა და დროის ზოგადი მახასიათებლებიდან [90;345].

ერთი ინერციული სისტემიდან მეორე ინერციულ სისტემაში გადასვლისას რაიმე ფიზიკური სიდიდის უცვლელობას **ინვარიანტობა** ეწოდება.

ლორენცის გარდაქმნების მიმართ, ერთი ინერციული სისტემიდან მეორე ინერციულ სისტემაში გადასვლისას, არაინვარიანტულია ერთდროულობა, დროითი ინტერვალი t და სივრცითი ინტერვალი r . აინშტაინმა შემიტანა საკუთარი დროის ინტერვალის \dagger -ს ცნება, რომელიც შემდეგნაირადაა დაკავშირებული დროით ინტერვალთან და სივრცით ინტერვალთან:

$$\dagger^2 = t^2 - r^2/c^2 \quad (8)$$

აქ r არის მანძილი იმ $A_1(x_1, y_1, z_1)$ და $A_2(x_2, y_2, z_2)$ წერტილებს შორის სადაც მოხდა 2 მოვლენა. \dagger არის საკუთარი დროის ინტერვალი ორ მოვლენას შორის. t არის დროის ხანგრძლიობა ორ მოვლენას შორის, რომელიც არ არის ინვარიანტული ლორენცის გარდაქმნების მიმართ, ისევე როგორც სივრცითი r მანძილი იმ ორ წერტილს შორის.

იგი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

(9)

$$r^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \quad \text{თუ მოვლენა 1}$$

მდგომარეობს სინათლის გამოსხივებაში A_1 -დან, ხოლო მოვლენა 2 მდგომარეობს მის მოხვედრაში A_2 -ში, მაშინ t თანხვსება r/c და ამ შემთხვევაში $\dagger = 0$ ნებისმიერ ინერციულ სისტემაში.

ნებისმიერ სხვა შემთხვევაში, როცა $t > r/c$

$$\dagger^2 = t^2 - r^2/c^2 > 0$$

შესაბამისად \dagger - ნამდვილი სიდიდეა.

თუ A_2 -ში მოვლენა მოხდა უფრო ადრე, სანამ სხივი A_1 -დან A_2 -ში მივიდოდა, ანუ $t < r/c$; მაშინ:

$$\dagger^2 = t^2 - r^2/c^2 < 0$$

და \ddot{x} წარმოსახვითია. ინვარიანტული სიდიდეა აგრეთვე სივრცული ინტერვალი s^2 , რომელიც შემდეგნაირად განიმარტება:

$$s^2 = r^2 - c^2 t^2,$$

ანუ სივრცული ინტერვალი არის მოვლენებს შორის r მანძილის კვადრატს გამოკლებული იმ მანძილის კვადრატით რომლის გავლაც შეეძლო სინათლეს იმ დროში, რომლითაც ჩამორჩება ეს ორი მოვლენა ერთიმეორეს [90;348].

აინშტაინმა \ddot{x} -ს უწოდა საკუთარი დროის ინტერვალი, გამომდინარე შემდეგი მოსაზრებიდან. გაჩერებულ – უძრავ ($r=0$) მატარებელში მყოფი საათისათვის $\ddot{x} = t$; ანუ უძრავი საათი აითვლის საკუთარ დროს. თუ მატარებლის სიჩქარე c -ზე მეტია, მაშინ მის მიერ გავლილი მანძილი ct -ზე მეტია და s^2 იქნება ნამდვილი, ხოლო \ddot{x} წარმოსახვითი.

მოვლენები, რომელთაგანაც მეორე მოხდა უფრო ადრე, სანამ სინათლე მივიდოდა A_1 -დან A_2 -მდე, დაშორებუნი არიან მანძილისმაგვარი ინტერვალით ($s > 0$). ისინი ერთმანეთთან მიზეზშედეგობრივად ვერ იქნებიან დაკავშირებულნი.

მოვლენები, რომელთა შორის გასული დრო მეტია იმ დროზე, რომელიც სჭირდება სინათლეს, რომ მივიდეს A_1 -დან A_2 -მდე, დაშორებულნი არიან დროისმაგვარი ინტერვალით ($\ddot{x} > 0$). ასეთ მოვლენები ერთმანეთთან შეიძლება დაკავშირებული იყოს მიზეზშედეგობრივად. ხშირად იხმარება ინტერვალი უსასრულო ახლოს მყოფ მოვლენებს შორის. ასეთ შემთხვევაში დროითი ინტერვალი შემდეგნაირად განიმარტება:

$$d\ddot{x}^2 = dt^2 - dr^2/c^2$$

ხოლო სივრცითი ინტერვალი – შემდეგნაირად: $ds^2 = dr^2 - c^2 dt^2$.

16. სივრცე და მისი განზომილება

მეცნიერული თვალსაზრისით დროისა და სივრცის შესახებ ოდითგანვე წარმოიქმნა და განვითარდა ორი სხვადასხვა ურთიერთსაპირისპირო კონცეფცია:

ერთი კონცეფციის მიხედვით სივრცე და დრო არსებობს აპრიორულად, მატერიალური საგნებისაგან დამოუკიდებლად. ამ

წარმოდგენით სივრცე წარმოადგენს უსასრულო ცარიელ „სათავსს“.

მეორე კონცეფციის თვალსაზრისით სივრცე და დრო არ არსებობს მატერიალური საგნების გარეშე და ისინი განხილულ უნდა იქნენ მხოლოდ მატერიასთან მჭიდრო კავშირში.

პირველი კონცეფცია წარმოიქმნა ძველ საბერძნეთში ატომისტური (დემოკრიტე, ლევკიპე, ეპიკურე) კონცეფციის სახით, რომლის მიხედვით სივრცე წარმოადგენს უცვლელი ფორმისა და სიდიდის, სხვადასხვა სახის ატომების არსებობისა და მოძრაობისათვის განკუთვნილ, უსასრულო, ცარიელ „სათავსს“. ეს კონცეფცია შემდგომში განვითარებულ იქნა ნიუტონის მიერ, რომელმაც აბსოლუტურ ცარიელ სივრცესთან ერთად პირველად შემოიტანა აბსოლუტური „ცარიელი“ დროის ცნებაც, როგორც მოვლენათა „სათავსი“ [75;170].

ჩვენი წარმოდგენა დროსა და სივრცეზე დიდ გავლენას ახდენს კოსმოლოგიურ მსოფლმხედველობაზე. მეცნიერების ისტორიაში ერთ-ერთ რევოლუციურ ნაბიჯად ითვლება ამ წარმოდგენების მნიშვნელოვანი ცვლილება ფარდობითობის თეორიის გამოისობით.

აღმოჩნდა რომ სივრცის ცნება მჭიდროდაა დაკავშირებული მის განზომილებასთან. ამიტომ ჯერ განვიხილოთ რა არის განზომილება.

სივრცის განზომილება.

ჯერ კიდევ 300 წლის წინ ჩვენ წელთაღრიცხვამდე ევკლიდემ შემდეგნაირად განმარტა წერტილის, წრფის, სიბრტყისა და მოცულობის ცნებები:

წერტილი – ეს ისაა, რასაც არ გააჩნია გრძივობა.

ხაზი – სიგრძე, რასაც არ გააჩნია სიგანე.

სიბრტყე – ეს ისაა, რასაც გააჩნია სიგრძე და სიგანე.

მოცულობა – ეს ისაა, რასაც გააჩნია სიგრძეც, სიგანეც და სიღრმეც.

ევკლიდის განმარტებით, წრფის საზვრები წერტილებია, სიბრტყისა – წრფეები, ხოლო სივრცისა – სიბრტყეები.

ანუ, უგანზომილებო ობიექტი არის წერტილი. ერთ განზომილებიანი ობიექტია წრფე, რომლის საწყისი და ბოლო – წერტილებია. ორგანზომილებიანია სიბრტყე, რომლის საზღვრები – წრფეებია. სამგანზომილებიანია მოცულობა, რომლის საზღვრები სიბრტყეებია.

თუ ანალოგიურად გავაგრძელებთ, 4-განზომილებიანი არის ისეთი ობიექტი, რომლის საზღვრები 3-განზომილებიანი მოცულობებია და ა.შ. ფიზიკურად მისი თვალსაჩინოდ წარმოდნა შეუძლებელია, მაგრამ მათემატიკურად მისი ფომულირება სავსაბით შესაძლებელია.

უფრო გასაგები და თვალსაჩინოა მეორე სქემა, რომელიც ეყრდნობა სისტემაში წერტილის ადგილმდებარეობის განსაზღვრას. წრფეზე, ერთი ათვლის წერტილის მიმართ მეორე წერტილის ადგილმდებარეობის ცალსახად განსაზღვრისათვის საჭიროა 1 რიცხვი, სიბრტყეზე – 2 რიცხვი, სივრცეში – 3 რიცხვი. ანუ იმისთვის, რომ ჩვენ სივრცეში ცალსახად განისაზღვროს წერტილის მდგომარეობა საჭიროა 3 ურთიერთდამოუკიდებელი რიცხვი. ამ მიზეზის გამო ასეთ სივრცეს ეწოდება სამგანზომილებიანი. მაგრამ რომელიმე ობიექტთან ჩვენი შეხვედრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ არა მარტო სივრცული კოორდინატები, არამედ შეხვედრის დროც. ამ გაგებით დროს ანიჭებენ მეოთხე კოორდინატის როლს. ფარდობითობის თეორიამ აღმოაჩინა, რომ სივრცე დროსთან, ამიტომ განიხილავენ სივრცე-დროის ერთობას – სივრცე-დროით კონტინიუმს.

განზომილებების ერთ-ერთი ასპექტი შეეხება ურთიერთმართობ მიმართულებებს, რომლებიც არსებობენ მოცემულ სივრცეში. სიბრტყეზე, რომელიმე წერტილში, შეიძლება მხოლოდ ორი ურთიერთმართობი წრფის გატარება. 3-განზომილებიან სივრცეში კი – 3 ურთიერთმართობი წრფის გატარება. ოთხგანზომილებია სივრცეში შეიძლება 4 ურთიერთმართობი წრფის გატარება და ა. შ.

წრფეზე წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება ერთი x კოორდინატით, ხოლო l მანძილი კოორდინატთა სათავიდან მოცემულ წერტილამდე x -ს ტოლია.

სიბრტყეზე წერტილის ადგილმდებარეობა განისაზღვრება 2 კოორდინატით (x_1, x_2) , ხოლო l მანძილი კოორდინატთა სათავიდან მოცემულ წერტილამდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$l = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$$

სივრცეში წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება 3 კოორდინატით (x_1, x_2, x_3) , ხოლო l მანძილი – ფორმულით:

$$l = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2};$$

ოთხგანზომილებიან სივრცეში შეიძლება შემოტანილ იქნას 4-განზომილებიანი საკოორდინატო სისტემა 4 ურთიერთმართობი წრფის მეშვეობით, სადაც წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება 4 კოორდინატით (x_1, x_2, x_3, x_4) ; ხოლო l მანძილი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$l = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^4 x_n^2}$$

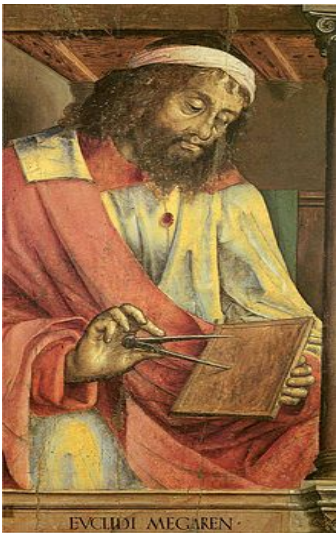
ყველასთვის ცნობილია, რომ ჩვენი სამყარო სივრცე სამგანზომილებიანია. მაგრამ ისმის კითხვა: რატომ სამი. როგორც არ უნდა იყოს განზომილება სინამდვილეში, ეჭვგარეშეა, რომ ჩვენს ალქმისათვის მისაწვდომია მხოლოდ 3-განზომილება [75;170].

1917 წელს ნიდერლანდურმა ფიზიკოსმა **პაულ ერენფესტმა** (1880-1933) უჩვენა, რომ მხოლოდ 3-განზომილებიან სივრცეშია შესაძლებელი მდგრადი ორბიტების არსებობა, რის გამოც სხვა განზომილების მქონე სივრცეში არ იქნებოდა არც მდგრადი მზის სისტემა და არც მდგრადი ატომები. მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ მხოლად 3-განზომილებიან სივრცეშია შესაძლებელი სიცოცხლის მაღალი ფორმების არსებობა. მაგრამ ეს იმას არ ნიშნავს, რომ არ შეიძლება არსებობდეს სივრცე განზომილებათა სხვა რიცხვით [75;171].

ევკლიდეს გეომეტრია.

ალ. აინშტაინის თვალსაზრისით, სივრცის ცნება დაკავშირებულია სხეულების ურთიერთ განლაგებასთან. სხეულის ცნება მას მიაჩნია პირველად ცნებად, ხოლო მათი ურთიერთ განლაგების შესწავლა – გეომეტრიის პრობლემად. მეცნი-ერული აზროვნების მიხედვით სხეულები და სივრცე ცალცალკე არსებობენ. ასეთი შეხედულების თანახმად თავისთავად არსებობენ ისეთი ცნებები, როგორცაა წერტილი, მონაკვეთი, წრფე და სიბრტყე.

ევკლიდე ალექსანდრიელის (ძვ.წ. 325-365) გეომეტრიაში



უმნიშვნელოვანეს ცნებას წარმოადგენს „მონაკვეთი“, რომლის მეშვეობით ხორციელდება სხეულთა ურთიერთგანლაგების დახასიათება. სივრცის ყოველი წერტილს, რომელიც შეიძლება მიჩნეულ იქნეს ათვლის წერტილად, შეიძლება შეესაბამოს სამი რიცხვი (კოორდინატი): x, y, z ისეთნაირად, რომ წერტილთა ყველა 2 წყვილისათვის $A(x_1, y_1, z_1)$ და $B(x_2, y_2, z_2)$ სრულდება პითაგორას თეორემა:

$$L = AB = \{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2\}^{1/2}.$$

სადაც L უმოკლესი მანძილია ამ 2 წერტილს შორის. ამის საფუძველზე

ლოგიკურად იგება ევკლიდეს გეომეტრის ყველა ცნება და თეორემა [137;237].

ევკლიდის გეომეტრიაში თეორემები მტკიცდება დედუქციური მეთოდით, აქსიომებზე დაყრდნობით, რომელთა სამართლიანობა მიღებულია მტკიცების გარაშე, ინტუიციითა და რწმენით. ბერძნები თვლიდნენ, რომ მათი მათემატიკური თეორემები გამოხატავდნენ აბსოლუტურ ჭეშმარიტებას. გეომეტრიას მიიჩნევდნენ ლოგიკურისა და მშვენიერების სრულყოფილ ნაერთად, ანუ ღმერთისეულად. მთელი 20 საუკუნის განმავ-

ლობაში ითვლებოდა, რომ ევკლიდის გეომეტრია ასახავს სივრცის ჭეშმარიტ არსს. მხოლოდ აინშტაინმა თავისი ფარდობითობის თეორიით, შეძლო დაერწმუნებინა მეცნიერები და ფილოსოფოსები იმაში, რომ ევკლიდის გეომეტრიის კანონები ადამიანის ინტელექტუალური მოღვაწეობის ნაყოფია, და არა ბუნების ჭეშმარიტი თვისებები [84;12;4].

ორ უახლოეს მოვლენას ახასიათებენ სივრცითი გაზომვადი ინტერვალი 2 უსასრულოდ ახლოს მყოფი წერტილისათვის – ds , რომელიც განისაზღვრება პითაგორას თეორემით:

$$ds^2=dx^2+dy^2+dz^2$$

ევკლიდის გეომეტრიაში L და ds სიდიდეები ინვარიანტულია კოორდინატთა სისტემის შერჩევის მიმართ.

კლასიკური ფიზიკა გამოდიოდა აბსოლუტური 3 განზომილებიანი ერთგვაროვანი და იზოტროპული სივრციდან, რომელიც აღინერება ევკლიდის გეომეტრიით და დამოუკიდებელია მასში არსებული მატერიალური ობიექტებისა და დროისაგან. დრო აბსოლუტური და ერთგვაროვანია, მიედინება თანაბრად და დამოუკიდებელია მატერიისა და სივრცისაგან. ეს წარმოდგენები დასავლეთში მიჩნეული იყო მეცნიერული მსოფლმხედველობისა და ფილოსოფიის ძირითად შემადგენელ ნაწილებად.

17. ოთხგანზომილებიანი სამყარო

კლასიკურ ფიზიკის მიხედვით, თუ 2 სხეული ერთმანეთისაკენ მოძრაობს v_1 და v_2 სიჩქარეებით, ისინი ერთი მეორეს უახლოვდებიან $v=(v_1+v_2)$ სიჩქარით. ცდებმა აჩვენა, რომ სინათლის სხივი ყველა ინერციულ სიტემაში მოძრაობს ერთნაირი c სიჩქარით, ხოლო ერთმანეთისაკენ მოძრავი სინათლის 2 სხივი ერთმანეთს უახლოვდებიან არა $2c$, არამედ ისევ c სიჩქარით. ეს პარადოქსი დაკავშირებულია სინათლის გავრცელების უცნაურ თვისებებთან, რომელიც ახსნილ იქნა ალ. აინშტაინის ფარდობითობის სპეცილური თეორიით.

ამ თეორიის მიხედვით სივრცე და დრო ურთიერთ დამოუკიდებელნი კი არ არიან, არამედ წარმოადგენენ ერთი და იგივე სივრცე-დროითი კონტინიუმის 2 სხვა და სხვა მხარეს. ამიტომ შეიძლება ვიფიქროთ, რომ დროითი და სივრცითი კოორდინა-

ტების ერთობლიობა ჰქმნის 4-განზომილებიან სივრცე-დროს. ალ. აინშტაინის მიერ კლასიკური შრომების გამოქვეყნების შემდეგ ფარდობითობის სპეციალური თეორიის განვითარებისათვის განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა გერმანელი მათემატიკოსის **გერმანე მინკოვსკის** (1864-1909) წნ



მიერ გამოქვეყნებულ შრომას – „სივრცე და დრო“ (1908), რამაც საშუალება გახადა აინშტაინის ფარდობითობის თეორია ჩამოყალიბებულიყო გეომეტრიული თანაფარდობების ფორმით 4-განზომილებიან სივრცე-დროში.

მინკოვსკიმ დაინახა მსგავსება ევკლიდის სამგანზომილებიან სივრცეში 2 უახლოეს წერტილს შორის მანძილის გამოსათვლელ შემდეგ ფორმულასა

$$dr^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

და ლორენცის ინვარიანტულ

თანაფარდობას შორის:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2 = dr^2 - c^2 dt^2$$

თუ t ცვლადს შევცვლით $u=ict$ ცვლადით, მაშინ ლორენცის ინვარიანტული გარ-დაქმნა ლეზულობს შემდეგ სახეს:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + du^2.$$

თუ u -ს განვიხილავთ როგორც მეოთხე განზომილებას, მაშინ ds შეიძლება განვიხილოთ როგორც მანძილი 4-განზომილებიანი სივრცის 2 უახლოეს წერტილს შორის.

ყოველ რეალურ მოვლენას გააჩნია მეოთხე განზომილება დროითი ხანგრძლივობის სახით.

მოდრაობა სამგანზომილებიან სივრცესა და დროში, შეიძლება წარმოვიდგინოთ წერტილის გადაადგილების სახით 4-განზომილებიან სივრცეში, სადაც მეოთხე განზომილებად მიჩნეულია დრო, ანუ სივრცე-დროით კონტინიუმში. 4-გან-

ზომილებიან სივრცე-დროით სამყაროს შეიძლება ვუწოდოთ მინკოვსკის 4 განზომილებიანი ევკლიდური სამყარო, თუმცა რეალური t კოორდინატი შეცვლილია წარმოსახვითი u კოორდინატით. ამის გამო მინკოვსკის სივრცეს უწოდეს ფსევდო-ევკლიდური მრავალსახეობა [90;354].

მინკოვსკიმ დროის წარმოდგენას მეოთხე განზომილებად მიანიჭა სხვა, უფრო ღრმა ფიზიკური აზრი. მან სივრცით წერტილს დროის აღებული მომენტისათვის უწოდა სამყაროსეული წერტილი, ხოლო გონით წარმოდგენილი ყველა სამყაროსეული წერტილების ერთობლიობას – სამყარო. ყოველი მოვლენა პარამეტრიზირდება სამყაროსეული წერტილით სივრცის გარკვეულ წერტილში და დროის გარკვეულ მომენტში.

მინკოვსკიმ მატერიალური წერტილისა და ველის ნაცვლად შემოიტანა სუბსტანციის ცნება. მაშინ ყოველ სუბსტანციურ წერტილს სამყაროს სივრცეში შეესაბამება გარკვეული წირი – სამყაროსეული წირი.

სამყაროში მიმდინარე ყოველ მოვლენას შეესაბამება ერთი სივრცე-დროითი მსოფლიო წერტილი. ყოველ პროცესს სუბსტანციურ სამყაროში შეესაბამება გარკვეული წირი „სამყაროში“, რომელსაც მინკოვსკიმ „მსოფლიო წირი“ უწოდა. მინკოვსკის აზრით, 4-განზომილებიან სივრცე-დროით კონტინუუმში ბუნების კანონები ღებულობენ თავის ლოგიკურად დამაკმაყოფილებელ ფორმას.

როცა სხეული მოძრაობს X ღერძის გასწვრივ, თუ ყოველი X კოორდინატის შესაბამის t დროს გადავზომავთ X ღერძის პერპენდიკულარულ t ღერძზე, და მიღებულ წერტილებს შევაერთებთ წირის სახით, მაშინ მიღებული წირი წარმოადგენს მოძრაობის მთელი პროცესის გეომეტრიულ გამოსახულებას. თუ სხეული მოძრაობს (xy) სიბრტყეში, მაშინ მიღებული გამოსახულება წარმოგვიდგება 3-განზომილებიანი სივრცე-დროითი წირის სახით. ცხადია, თუ სხეული მოძრაობს 3-განზომილებია სივრცეში, მაშინ მოძრაობის პროცესი წარმოგვიდგება 4-განზომილებიანი სივრცე-დროითი წირის სახით,

რომელსაც ცხადი სივრცითი მოდელით ვერ გამოვსახავთ [90;351].

როცა ჩვენ ვაპროექტირებთ $n=4$ განზომილებიან წირს ($n-1$) განზომილებიან სივრცეში, მიღებული პროექციის სახე დამოკიდებულია ($n-1$)-განზომილებიანი სისტემის არჩევაზე. თუ ჩვენ არ ვსარგებლობთ პროექციებით, წირის ფორმა არაფერზე არ არის დამოკიდებული. ანალოგიურად 4 განზომილებიანი სივრცე-დროითი წირი გვაძლევს ინვარიანტულ, სივრცე-დროითი სისტემის არჩევაზე დამოუკიდებელ, მოძრაობის გამომხატველ წარმოდგენას, მაშინ, როცა ამ 4-განზომილებიანი წირის 3-განზომილებიანი სივრცითი პროექცია დამოკიდებულია სისტემის შერჩევაზე [90;352].

ანუ ერთი სისტემიდან მეორეზე გადასვლას, დრო და კოორდინატები ისე იცვლება, რომ მოძრაობის გამომხატველი სივრცე-დროითი 4-განზომილებიანი წირის ფორმა არ იცვლება, ანუ ინვარიანტულია.

ამრიგად, გ. მინკოვსკი 1908 წელს, აინშტაინის ფარდობითობის თეორიის ახსნისას, მიხვდა, რომ სამყარო რეალიზდება არა 3, არამედ 4-განზომილებიან, ფსევდოევკლიდური მეტრიკის მქონე სივრცეში.

მინკოვსკის იდეა – მოძრაობის სამგანზომილებიანი სივრცული წარმოდგენიდან (დროის, როგორც პარამეტრის გათვალისწინებით) 4 განზომილებიან სივრცედროით წარმოდგენაზე გადასვლა – თანხვედა აინშტაინის იდეას, იმის შესახებ, რომ ფიზიკური კანონზომიერებები გამოისახება ინვარიანტულ წარმოდგენებში. რელატივისტურ ფიზიკამდე სივრცე და დრო განიხილებოდა ერთმანეთისაგან მოწყვეტილად. აინშტაინის ფარდობითობის თეორიაში სივრცე და დრო განიხილება ერთმანეთის მოუწყვეტლად, ერთი სივრცე-დროითი კონტინიუმის სახით.

ფორმულების კონფაქტურად ჩანერის მიზნით შემოაქვთ შემდეგი აღნიშვნები: $x=x_1$, $y=x_2$, $z=x_3$, $u=x_4$ მაშინ ds^2 ლებულობს შემდეგ სახეს:

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 = \sum_{i=1, j=1}^{i=4, j=4} g_{ik} dx_i dx_k \quad (1)$$

$g_{i,k}$ -ს უნოდებენ მეტრიკულ ტენზორს, სადაც $g_{11} = g_{22}$, $g_{33} = 1$, $g_{44} = -1$, $g_{ik} = 0$, როცა $i \neq k$. ($i, k = 1, 2, 3, 4$.)

ds წარმოადგენს 4-განზომილებიან მანძილს 2 უსასრულოდ ახლოს მყოფ მსოფლიო წერტილს შორის მინკოვსკის სივრცე-დროით სისტემაში. (რადგანაც x_4 კოორდინატი წარმოსახვითია, მინკოვსკის სივრცეს უნოდებენ ფსევდოევკლიდურ სივრცეს, რომელშიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ევკლიდის სივრცის აღგებრა). 4-განზომილებიან მინკოსკის სამყაროში სივრცითი ინტერვალი თანხვდება აინშტაინის მიერ განსაზღვრულ სივრცით ინტერვალს, რომელიც ინვარიანტულია ლორენცის გარდაქმნების მიმართ. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მინკოვსკის 4-განზომილებიანი სივრცე-დროითი სამყარო ინვარიანტულია ლორენც გარდაქმნების მიმართ. სივრცითი ინტერვალის ეს გამოსახულება ალ. აინშტაინმა საუძვლად დაუდო ფარდობითობის ზოგად თეორიას (გვ. 125).

ყოველი მოძრავი ნაწილაკი ხასიათდება იმპულსითა და ენერგიით. იმპულსი ვექტორული სიდიდეა, რომელსაც გააჩნია 3 მდგენელი 3 სივრცითი ღერძის გასწვრივ. იგი ახასიათებს ნაწილაკის ყოფაქცევას მისი სივრცული ტრაექტორიის გასწვრივ ურთიერთ მიმდებარე წერტილებში. იმპულსის შენახვა ნიშნავს სივრცის ერთგვაროვნებას. ენერგია ახასიათებს ნაწილაკის ყოფაქცევას დროის გასწვრივ ურთიერთ მიმდინარე მყისიერ წერტილებში. ენერგიის შენახვა ნიშნავს დროის ერთგვაროვნებას.

4-გამზომილებიანი სივრცე-დროის – მინკოვსკის სივრცის წარმოდგენაში ენერგია შეიძლება ჩაითვალოს ერთიანი ენერგია-იმპულსის 4-განზომილებიანი ვექტორის მეოთხე მდგენელად. ამ სივრცეში ენერგიისა და იმპულსის შენახვის კანონები ირწყმება ერთი ენერგია-იმპულსის 4-კომპონენტანი ვექტორის კომპონენტების შენახვის სახით. შესაბამისად აზრი ეძლევა სივრცე-დროის კონტინიუმის ერთგვაროვნებას: სხე-

ულის ყოფაქცევის თვალსაზრისით ერთი მსოფლიო წერტილი არ განსხვავდება მეორისაგან, თუ სხეულზე არ მოქმედებან გარე ძალები. გარე ძალების მოქმედებით ერთი მსოფლიო წერტილიდან მეორეში გადასვლისას 4-განზომილევანი ენერგია-იმპულსის ვექტორის მდგენელები იქცევიან სხვადასხვანაირად. შესაბამისად ენერგია-იმპულსის ვექტორის ცვლილება აღინერება $4*4=16$ კოეფიციენტით, რომლებიც ქმნიან ენერგია-იმპულსის ტენზორს [90;358].

18. ველის თეორიის თანამედროვე მდგომარეობა.

ველის ახალი თეორია უნდა იყოს სრული და ლოგიკურად ერთადერთი. ის უნდა პასუხობდეს არა მარტო იმას თუ როგორაა მოწყობილი სამყარო, არამედ იმასაც თუ რატომაა ბუნება (სამყარო) ასეთნაირად მოწყობილი და არა სხვანაირად [137;245].

XIX ფიზიკოსები თვლიდნენ რომ არსებობს 2 სახის მატერია: ნონადი (მასური) და ელექტრობა. ნონადი მატერიის ნაწილაკები ერთმანეთზე გრავიტაციულად მოქმედებდნენ; ელექტრული მატერიის ნაწილაკები კი კულონის კანონით. თვით სივრცე არ ითვლებოდა ფიზიკური მოვლენების აქტიურ მატარებლად. ის ითვლებოდა მატერიალური მოვლენების მოქმედების არენად. ამიტომ ნიუტონის მიხედვით სინათლე განიხილებოდა როგორც განსაკუთრებული სახის მატერიალურ ნაწილაკებს, რომელიც ნონად ნაწილაკებთან მოქმედებდა განსაკუთრებული ძალებით [137;261].

ნიუტონისეული სინათლის თეორია დამარცხებულ იქნა ჰიუგენსი-იუნგი-ფრენელის სინათლის ტალღური თეორიით, რომელმაც ახსნა სინათლის ინტერფერენციისა და დიფრაქციის მოვლენები. სინათლის ტალღური ბუნების ასახსნელად შემოტანილ იქნა მატერიის მესამე ფორმა ეთერის სახით. ეთერი მიჩნეული იყო სივრცისაგან განუყოფელად. ამიტომ ფაქტიურად სინათლე მიჩნეულ იქნა სივრცის დინამიურ პროცესად [137;261].

სივრცის ასეთ თვისებაზე წარმოდგენის შესაცვლელად საჭირო იყო განსაკუთრებული ტვინი, რომელიც, აინშტეინის აზრით, ფარადეის აღმოაჩნდა.

ცნობილმა ინგლისელმა ფიზიკოსმა **მაიკლ ფარადეიმ** (1791-1867) დაუშვა, რომ დამუხტული სხეულს თავის გარშემო სივრცე მოჰყავს განსაკუთრებულ მდგომარეობაში. სივრცის ასეთ მდგომარეობას მან „ელექტრული ველი“ უწოდა. ამ ველში მოთავებული სხვა დამუხტული სხეული ველის მხრიდან განიცდის მოქმედებას. ამით ფარადეიმ უარჰყო შორსქმედების პრინციპი. მაქსველის მიხედვით ველი შეიძლება მოსწყდეს სხეულს და თავისუფლად გადაადგილდეს სივრცეში. ამაში მდგომარეობდა სინათლის მისმიერი ინტერპრეტაცია [137;262].

რევოლუცია ფიზიკაში. ფიზიკოსები ცდილობდნენ, რომ მუხტი წარმოედგინათ როგორც ველის სტრუქტურა, არე სადაც ველი კონცენტრირებულია განსაკუთრებული სახით [137;262].

მაქსველის განტოლებებმა მჭიდრო მიზეზზედეგობრივი კავშირი დაამყარეს ელექტრულსა და მაგნიტურ ველებს შორის.

ფარდობითობის სპეციალურმა თეორიამ კი უჩვენა, რომ ეს კავშირი არის გამოვლინება იმისა, რომ ორ ველს გააჩნია ერთიდაიგივე არსი. მართლაც, სივრცის მდგომარეობა ერთ ინერციულ სისტემაში თავს ამჟღავნებს ელექტრული ველის სახით, ხოლო მეორე, მის მიმართ მოძრავ, სისტემაში მაგნიტური ველის სახით. ფარდობითობის სპეციალური თეორია ადასტურებს მასისა და ენერგიის ცნებების არსის იგივეობას [137;263].

ფარდობითობის სპეციალურ თეორიაში სივრცე და დრო ერთმანეთს შეერწყნენ სივრცე-დროის კონტინიუმის სახით, თუმცა მან შეინარჩუნა ევკლიდისეული თვისება.

19. ფარდობითობის ზოგადი თეორია

ფარდობითობის ზოგადი თეორია (ფზთ) ეყრდნობა გრავიტაციული და ინერციული მასების ემპირიული ტოლობის ფაქტს. თეორიის ამოსავალ პუნქტს წარმოადგენს მტკიცება იმისა, რომ არ გააჩნია აბსოლიტური აზრი არა მარტო სიჩქარეს არამედ აჩქარებასაც.

ექვივალენტობის პრინციპი. ყოველი სხეული ხასიათდება ინერციულობით. სხეულის ინერციულობის ზომას წარმოადგენს ინერციული მასა, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს სხვა სხეულის მასის, როგორც ერთეულის, მეშვეობით.

მეორე მხრივ ყოველი სხეული მიეზიდება დედამიწას სიმძიმის ძალით, რომლის სიდიდე დამოკიდებული სხეულის გრავიტაციული მასის სიდიდეზე. გრავიტაციული მასა განისაზღვრება სასწორის მეშვეობით. აღმოჩნდა, რომ სხეულის გრავიტაციული მასა და ინერციის მასა ერთმანეთის ტოლია. ისმის კითხვა გრავიტაციული და ინერციული მასების ტოლობის ფაქტი შემთხვევითია, თუ მას გააჩნია უფრო ღრმა ფიზიკური აზრი? კლასიკური ფიზიკის თვალსაზრისით ამ ორი მასის ტოლობა შემთხვევითია და ამ ფაქტს არ უნდა მიენიჭოს დიდი მნიშვნელობა [138;38].

ალ. აინშტაინის მიერ ფზთ-ს შექნის მნიშვნელოვანი ეტაპი იყო 1911 წელს მის მიერ ფორმირებული ექვივალენტურობის პრინციპი, რომლის მიხედვით უსასრულოდ მცირე არეებში სიმძიმის ქმედება შეიძლება აჩქარებით შეიცვალოს. მან განიხილა დედამიწის მიზიდულობის ველი აჩქარებულად მოძრავ ლიფტში.

დედამიწის მიზიდულობის ძალით ყველა სხეული ვარდება ერთიდაიმავე g აჩქარებით. რაც იმას ნიშნავს, რომ ძალა, რომლითაც დედამიწა მიიზიდავს სხვადასხვა მასის მქონე სხეულებს, სხვადასხვაა. დედამიწის „მიზიდულების“ ძალა დამოკიდებულია სხეულის გრავიტაციულ მასაზე. სხეულის „საპასუხო“ მოქმედება დამოკიდებულია სხეულის ინერციული მასის სიდიდეზე. რადგანაც საპასუხო მოქმედება ყოველთვის ერთნაირია:

$$F_g = p_g = gm_g$$

$$F_o = a_o m_o$$

ხოლო

ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად კი ქმედება უკუქმე-
დების ტოლია. ანუ:

$$F_g = F_o ,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ $gm_g = a_o m_o$; მაგრამ აღმოჩნდა, რომ $g = a_o$. რაც იმას ნიშნავს, რომ სხეულის გრავიტაციული მასა ინერციის მასის ტოლია: $m_g = m_o$. აქედან გამომდინარეობს, რომ ინერციული და გრავიტაციული მასები ტოლია [138;40].

ალ. აინშტაინის თვალსაზრისით, სხეულის გრავიტაციული და ინერციული მასების ტოლობას გააჩნია ღრმა ფუნდამენტური აზრი და შეიცავს ახალ მნიშვნელოვან იდეას, რომელსაც მივყავართ სამყაროს სიღრმისეული გაგებისაკენ. მართლაც ამ იდეაზე დაყრდნობით ალ. აინშტაინმა შექმნა **ფარდობითობის ზოგადი თეორია** [138;40].

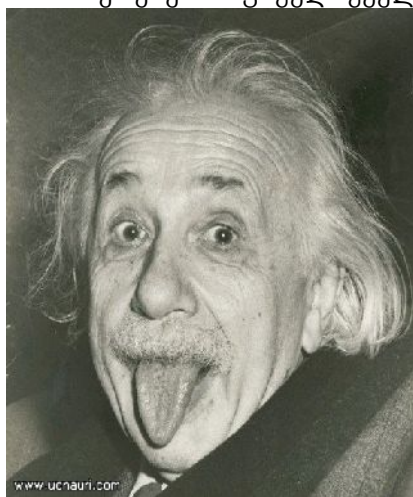
წარმოვიდგინოთ ერთი, თანაბრად მოძრავი სისტემა, რომელშიც მოთავსებული სხეული განიცდის დედამიწის მიზიდულობას, და მეორე, მოძრავი g აჩქარებით, მაგრამ არ განიცდის მიზიდულობას. მათში მიმდინარე მოვლენები ექვივალენტურია, რადაგანაც ფიზიკური ეფექტი აჩქარებულად მოძრაობისა და მიზიდულობისა ერთნაირია [90;359].

ექვივალენტურობის პრინციპი სამართლიანია მხოლოდ ერთგვაროვანი გრავიტაციული ველითვის.

ფარდობითობის ზოგადი თეორია. გერმანელი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი **ალბერტ აინშტაინი** (1879-1955) მიჩნე-ულია მე-20 საუკუნის უდიდეს მეცნიერად. მან წამოაყენა ფარდობითობის თეორია და ასევე დიდი წვლილი აქვს შეტანილი კვანტური მექანიკის, სტატისტიკური მექანიკისა და კოსმოლოგიის განვითარებაში. 1921 წელს მიენიჭა ნობელის პრემია ფიზიკაში 1905 წელს ფოტოეფექტის მისეული განსაზღვრებისთვის და ასევე თეორიულ ფიზიკაში მის მიერ შეტანილი წვლილისთვის.

ანშტაინის ფარდობითობის სპეციალური თეორიის საუძვლად მიჩნეულია ოთხგანზომილებიანი სივრცე-დროითი ინტერვალის ds^2 -ს ინვარიანტობა ლორენცის გარდაქმნების მიმართ, რომელიც გამოხატავს გადასვლას ერთი ინერციული სისტემიდან მეორე ინერციულ სისტემაში. **ალ. აინშტაინის** ფზთ ფიზიკური კანონები ინვარიანტულია უფრო ზოგადი გარდაქმნის მიმართ – აჩქარებით მოძრავი ათვლის სისტემაში გადასვლის შემთხვევაში. ამისთვის კი საჭიროა მოიძებნოს ინვარიანტი ისეთი გარდაქმნისათვის რომელსაც გადავყავართ აჩქარებულად მოძრავ ათვლის სისტემაში. ცხადია, რომ ევკლიდის გეომეტრიაში, ინერციული სისტემიდან აჩქარებულად მოძრავ სისტემაში გადასვლისას, ინვარიანტს წარმოადგენ მანძილი 2 წერტილს შორის, რომელიც მოიცემა შემდეგი კვადრატული ფორმით:

$$dr^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$



მინკოვსკის ფსევდოევკლიდურ სივრცეში, ანალოგიური ინვარიანტული ფორმის მოსაძებნად, გამოიყენეს ის მოსაზრება, რომ ზოგადად კვადრატული ფორმა მოიცავს არა მარტო კვადრატულ ფორმებს dx_i^2 -ს სახით, არამედ სხვადასხვა კოორდინატების შერეულ წყვილურ ნამრავლებსაც $dx_i dx_k$ -ს სახით. არაევკლიდურ გეომეტრიაში dr^2 -ის გამოსათვლელ გამოსახულებაში შედიან $dx_i dx_k$ ნამრავლები გარკვეული g_{ik} კოეფიციენტებით. მაშინ ორ უახლოეს წერტილს შორის მანძილი მოიცემა შემდეგი ფორმულით:

$$dr^2 = \sum_{i,k}^4 g_{i,k} x_i x_k ;$$

გვექნება 16 სხვადასხვა კოეფიციენტი, როლებიც შეიძლება ჩაინეროს შემდეგი ცხრილის სახით:

i/k	1	2	3	4
1	g_{11}	g_{12}	g_{13}	g_{14}
2	g_{21}	g_{22}	g_{23}	g_{24}
3	g_{31}	g_{32}	g_{33}	g_{34}
4	g_{41}	g_{42}	g_{43}	g_{44}

ეს კოეფიციენტები განსზღვრავენ არაეკვიდური სივრცის მეტრიკას და ქმნიან ფუნდამენტულ 4-განზომილებიან მატრიცულ მეორე რანგის ტენზორს, რომელიც შედგება 16 კომპონენტისაგან. აქედან 6 კომპონენტი ერთმანეთის ტოლია:

$$g_{12} = g_{21}; g_{13} = g_{31}; g_{14} = g_{41};$$

$$g_{23} = g_{32}; g_{24} = g_{42}; g_{34} = g_{43};$$

რის გამოც გვექნება g_{ik} -ს 10 სხვადასხვა კოეფიციენტი.

n განზომილებიანი სივრცის შემთხვევაში მანძილი 2 უახლოეს ნერტილს შორის მიცემა ფორმულით:

$$dr^2 = \sum_{i,k}^n g_{ik} x_i x_k$$

სადაც g_{ik} კოეფიციენტები ჰქმნის n განზომილებიანი სივრცის ფუნდამენტულ მატრიცულ ტენზორს.

სივრცითი ინტერვალის ეს გამოსახულება საფუძვლად დაედო ალ. აინშტაინის ფარდობითობის ზოგად თეორიას.

4-განზომილებიანი სივრცის სიმრუდე. სივრცე-დროითი კონტინიუმის სიმრუდე გამოიხატება ფუნდამენტური მატრიცული ტენზორის ცვლილებით. ამიტომ აინშტაინს დასჭირდა მათემატიკური ხერხები, რომელთა მეშვეობით გამოიხატება g_{ik} ტენზორის უწყვეტი ცვალებადობით ერთი მსოფლიო ნერტილიდან მეორეში გადასვლისას. ამ მიზნით

ფარდობითობის ზოგად თეორიაში აინშტაინმა ტენზორულ ანალიზში შემოიტანა გარკვეული ძირითადი ცნებები. აინშტაინმა ტენზორული გამოთვლები და ტენზორული ანალიზი გამოიყენა როგორც მძლავრი აპარატი ფიზიკური გამოკვლევებისათვის. არაეკვიდურ სივრცეში ფუნდამენტური მატრიცული ტენზორის კომპონენტები იცვლებიან ნერტილიდან ნერტილამდე. თუ ამ მატრიცის კომპონენტები განსხვავდებიან ნულისაგან და ერთისაგან, მაგრამ ყველა ნერტილში ინარჩუნებენ ერთსადაიმავე მუდმივ დადებით მნიშვნელობას, მაშინ ასეთ სივრცეს ეწოდება რიმანის სივრცე, რომელიც წარმოადგენს სფერულ ზედაპირს.

აინშტაინი ხმარობდა გამოთქმას – სივრცის „არაეკვიდურობის“ გამომხატველი გაზომვადი სიდიდეები. ეს სიდიდეები – „არაეკვიდურობის კოეფიციენტები“ – გამოისახება სიმბოლოებით, რომელთაც **კრისტოფელის** კოეფიციენტებს უწოდებენ. ეკვიდურ სივრცეში კრისტოფელის კოეფიციენტები ნულდება. რეალურ სივრცეში, მისი გამრუდების სიდიდის მიხედვით, კრისტოფელის კოეფიციენტები განსხვავდებიან ნულისაგან [90;375].

ისინი დაკავშირებულნი არიან სივრცის \mathfrak{G}_k მეტრიკულ ტენზორთან. \mathfrak{G}_k -ს ცვლილების ზომა, ანუ მისი წარმოებულის სიდიდე, გამოხატავს სივრცის სიმრუდის ზომას [90;378].

აღმოჩნდა, რომ 4-განზომილებიანი სივრცე-დროითი კონტინუმი განსხვავდება ეკვიდური სივრცისაგან და ამ განსხვავებას ჩვენ ვაკვირდებით გრავიტაციულ მოვლენებში. ამიტომ აინშტაინის გრავიტაციული თეორია – ფარდობითობის ზოგადი თეორია წარმოადგენს ფიზიკურ გეომეტრიას [90;379].

მიზიდულობა – გრავიტაცია. აინშტაინის ფარდობითობის ზოგად თეორიაში უმნიშვნელოვანეს კვანძს წარმოადგენდა სამყაროს სიმრუდის გაიგივება მიზიდულობასთან (გრავიტაციასთან). აინშტაინმა მიზიდულობაში მიაგნო ფიზიკურ მოვლენებს, რომელიც გვიჩვენებს სივრცის მეტრიკის ზომას. ანუ შეიქმნა სამყაროს გეომეტრიის ფიზიკური გამოკვლევის შესაძლებლობა, რომელიც გადაიქცა ექსპერიმენტული კრიტი-

რიუმების მქონე ფიზიკურ მეცნიერებად. არა „ევკლიდურობის“, ანუ 4-განზომილებიანი სივრცის სიმრუდის, ფიზიკური ინტერპრეტაცია ეფუძნება შემდეგ მოსაზრებებს [90;380].

თავისუფალი ნაწილაკი ცარიელ სივრცეში მოძრაობს ისეთ-ნაირად, რომ მისი მსოფლო წირი ორ მსოფლიო წერტილს შორის, რომელიც შედგება უსასრულოდ მცირე 4-განზომილებიანი ds ინტერვალებისაგან, აღმოჩნდება უმოკლესი. სპეციალური ფარდობითობის თეორიით სივრცე ფსევდო-ევკლიდური სივრცეა, ამიტომ აქ უმოკლესი მანძილი სწორი ხაზია. თუ ავიღებთ 4-განზომილებიანი სამყაროს 3-განზომილებიან $x_1x_2x_3$ პროექციას, ჩვენ დავინახავთ თავისუფალი ნაწილაკის მსოფლო წირის 3-განზომილებიან სივრცით პროექციას – ის იქნება სწორი ხაზი. ეს არის სწორედ ინერციული მოძრაობის სწორხაზოვნება. x_1x_4 , x_2x_4 , x_3x_4 სახის ორგანზომილებიან კვეთაში სვრცე-დროით გრაფიკებზე თავისუფალი ნაწილაკის მსოფლიო წირის პროექციები აგრეთვე იქნება სწორი ხაზები, რაც გამოხატავს სიჩქარის მუდმივობას ინერციული მოძრაობისას.

განვიხილოთ ეხლა ნაწილაკის მოძრაობა გრავიტაციულ ველში. ფარდობითობის ზოგადი თეორიის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ნაწილაკის მოძრაობა გრავიტაციულ ველში განისაზღვრება შესაბამისი მსოფლიო წირის უმოკლესობით. გრავიტაციულ ველში ნაწილაკის მოძრაობის მსოფლიო წირი წარმოადგენს გეოდეზიურ მრუდს. 4-განზომილებიანი სივრცე-დროის არაევკლუდურობა გამოიხატება ds^2 გამოსათვლელი გამოსახულების ცვლილებაში იმ გაგებით, რომ g_{ik} მეტრიკა, ამ შემთხვევაში, წარმოადგენს კოორდინატების ფუნქციას. სივრცის მეტრიკის ცვლილება იმას ნიშნავს, რომ გეოდეზიური წირები აღარ არიან წრფეები და მათი პროექციები $x_1x_2x_3$ ზედაპირზე იქნებიან მრუდები. მსოფლიო წირის მდგენელები x_1x_4 , x_2x_4 , x_3x_4 სახის ორგანზომილებიან კვეთებზე აგრეთვე იქნებიან მრუდი ხაზები (ტანგენციალური აჩქარებები). იმ როლს, რომელსაც ასრულებს t დრო კლასიკურ მექანიკაში, ფარდობითობის თეორიაში ასრულებს მსოფლიო ინტერვალ s .

მსოფიო კოორდინატების (x_i) წარმოებულებს ინტერვალის მიხედვით ენოდებათ 4 განზომილებიანი სიჩქარის კომპონენტები; ხოლო 4-განზომილებიანი სიჩქარის კომპონენტების წარმოებულებს ინტერვალით, ენოდებათ 4-განზომილებიანი აჩქარებები [90;381].

მტკიცდება, რომ ფარდობითობის ზოგად თეორიაში – გრავიტაციის ახალ თეორიაში – პოტენციალების როლს ასრულებენ ფუნდამენტული მატრიცული ტენზორის G_{ik} კომპონენტები, ხოლო მათი წარმოებულები განსაზღვრავენ დაძაბულებებს, რომელთა როლს ასრულებენ კრისტოფელის კოეფიციენტები.

თუ სიმრუდის ტენზორი ნულის ტოლია, კრისტოფელის კოეფიციენტებიც ნულის ტოლია, ანუ G_{ik} მოდმივი სიდიდეა, მაშინ 4-განზომილებიან მსოფლიო გეომეტრიას შეესაბამება ერთგვაროვან გრავიტაციულ ველს, რომელიც შეიძლება უკუვაგდოთ.

G_{ik} მატრიცული ტენზორის კომპონენტების მნიშვნელობები 4-განზომილებიანი სივრცე-დროის კონტინიუმის სხვადასხვა ნერტილებში ქმნიან G ველს, რომელიც განსაზღვრავს მასიური სხეულების მოძრაობასა და სინათლის გავრცელების სიჩქარეს. ამაში მდგომარეობს ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ძირითადი შინაარსი. ის მიეკუთვნება იმ უდიდესი აღმოჩენების რიცხვს, რომლებიც თავისი გამბედაობითა და მრავლის მომცველობით, ყველას განაცვიფრებენ [90;382].

აინშტაინის თანახმად, სივრცე-დროითი კონტინიუმის სიმრუდე, ან, რაც იგივეა, გრავიტაციული ველი დამოკიდებულია გრავიტაციულ მასაზე. სიმძიმის მასა ინერტულობის მასის ექვივალენტურია, ხოლო ინერტულობის მასა ექვივალენტურია სრული ენერჯიისა. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ გრავიტაციული – მეტრიკული ველი დამოკიდებულია ამ ველის შემქმნელი სისტემის სრულ ენერჯიაზე. მატერიალური სისტემის ქვეშ იგულისხნება როგორც ნივთიერი, ისე ნებისმიერი სახის ველის ფორმა, რომელიც ფლობს ენერჯიას [90;342].

აღ. აინშტაინმა, გრავიტაციისა და მატერიისათვის უმცი-
რესი ქმედების პრინციპის გამოყენებით, გამოიყვანა გრავიტა-
ციული ველის განტოლება – ფარდობითობის ზოგადი თეორიის
ძირითადი განტოლება, რომელსაც ერთეულთა ბუნებრივ
სისტემაში შემდეგი სახე აქვს:

$$R_{ik} - g_{ik} R / 2 = (8f G) T_{ik}$$

სადაც R_{ik} არის სივრცე-დროის სიმრუდის მეორე რანგის
ტენზორი, T_{ik} ენერგია-იმპულსის ტენზორი, ხოლო G – გრავი-
ტაციული მუდმივა [92;357].

R არის სივრცის სკალარული სიმრუდე, რომელიც
ინვარიანტულია და გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$R = g^{ik} R_{ik}$$

ამერიკელი ფიზიკოსის **ე. ნამბუს** მიხედვით, აინშტაინის
განტოლების სილამაზეს ვერ შეაფასებს ის ადამიანი,
რომელმაც არ იცის მასში შემავალი გამოსახულებების
მათემატიკური აზრი. გრავიტაციული ველის განტოლებაში
მარცხნივ არის სივრცე-დროის სიმრუდის მეორე რანგის
ტენზორის კომპონენტები, ხოლო მარჯვნივ – ენერგია-
იმპულსის მეორე რანგის ტენზორის კომპონენტები.
მიახლოებით, განტოლების მარცხენა მხარე აღწერს სივრცე-
დროის სიმრუდეს, ანუ გრავიტაციულ ველს. ხოლო მარჯვენა
ნაწილში მოთავსებულია სივრცე-დროში არსებული
ელექტრომაგნიტური ველისა და სხვადასხვა სახის ნივთიერი
ნაწილაკების ენერგია. თვით აინშტაინს მიაჩნდა, რომ მის
ფორმულაში არ არსებობს ჰარმონია ნაწილებს შორის. მისი
აზრით განტოლების მარცხენა მხარე მოგვაგონებს მარმა-
რილოს თვალწარმტაც სასახლეს, ხოლო მარჯვენა – ჯარგ-
ვალს, აგებულს გაურანდავი ფიცრებით. ასეთი განსხვავება
იმიტია გამონეული, რომ მარცხენა მხარე ეფუძნება მარტივ
გეომეტრიულ პრინციპებს, ხოლო მარჯვენა მხარეს გააჩნია
ძალიან რთული და არა უნივერსალური სტრუქტურა [98;198].

ჩემი აზრით, ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ერთ-ერთ ძირითად შედეგს ის წარმოადგენს, რომ სივრცე-დროითი კონტინუუმი წარმოადგენს მატერიის ერთ-ერთ ფორმას.

20. ფარდობითობის ზოგადი თეორიის შემოწმება

ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაში იგულისხმება, რომ სასინჯ მუხტზე მოქმედებს ყველა სხვა მუხტების მიერ შექმნილი ველი. თვით სასინჯი მუხტის მიერ შექმნილი ველის მოქმედება არ ითვალისწინება. ამიტომ მუხტზე მოქმედი ძალა წრფივად და მოკიდებული მუხტებზე და დენებზე. ანალოგიურად ნიუტონის გრავიტაციულ ძალაში იგულისხმება, რომ ერთი სხეულის მიერ შექმნილი ველი მოქმედებს მეორე სხეულის მასაზე. აინშტაინის ფარდობითობის ზოგად თეორიაში კი სხეულების გრავიტაციული ველები ერთმანეთზე მოქმედებენ, რის გამოც მასში ფიგურირებენ ველების არანრფივი განტოლებები.

რადგანაც სინათლეს, როგორც ელექტრომაგნიტურ ტალღას, გააჩნია ენერგია. ყოველ ენერგიას კი შეესაბამება ინერტული მასა, რომელიც აინშტაინის ექვივალენტურობის პრინციპის თანახმად, გრავიტაციული მასის ტოლია. შესაბამისად დიდი მასის მქონე სხეულის – მზის მახლობლობაში უნდა მოხდეს ვარსკვლავიდან წამოსული სინათლის სხვის გადახრა გავრცელების საწყისი მიმართულებიდან. გამოთვლები გვიჩვენებენ, რომ ნიუტონის კანონის მიხედვით მზის მიზიდვით გამოწვეული სხვის გადახრა $0,74''$ - ტოლია. ხოლო ფარდობითობის ზოგადი თეორიის მიხედვით, არა მარტო მზის ველი მოქმედებს სხივზე, არამედ სხვიც მოქმედებს მზეზე, რის გამოც, როგორც გამოთვლებმა უჩვენეს, სხვის გადახრა მზის მახლობლობაში $1,75''$ -ს ტოლია. ექპერიმენტულმა გაზომვებმა, რომელიც ჩატარდა 1919 წლის 29 მაისს, მზის სრული დაბნელების პირობებში, უჩვენეს, რომ ვარსკვლავიდან წამოსული სხვი გადაიხრა $(1,98 \pm 0,12)''$ -ით. შედეგი კარგ შესაბამისობაშია აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორიით გამოთვლილ სიდიდესთან. ფარდობითობის ზოგადი თეორიის

ექპერიმენტული დასაბუთება მოხდა სხვა ასტრონომიული დაკვირვებებითაც [90;387].

რაც მიუთითებს აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ჭეშმარიტებულობაზე.

თავი 5 მიკროსამყაროს შესახებ

შესავალი

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში არსებული მრავალ-ფეროვანი საკითხებიდან ერთ-ერთ ფუნდამენტურ პრობლემას წარმოადგენს საკითხი, რომელიც დაიყვანება შემდეგ „ბავშვურ“ კითხვაზე: რომ ავიღოთ პატარა კენჭი და გავტეხოთ, მიღებული ნატეხი ისევ ვამტვრიოთ და ვაპატარაოთ, როდემდე შეიძლება ეს პროცესი ასე გავაგრძელოთ, ამოიწურება თუ არა ნატეხების დაპატარავების პროცესი? თუ ამოიწურება მაშინ რა დაგვრჩება ტეხვის ასეთი პროცესის ბოლოს?

ეს ფუნდამენტური პრობლემა თავის საწყისებს იღებს ძველ ბერძნულ ფილოსოფიაში და მიმართულია ძალიან მცირე მოცულობის მატერიის თვისებების შესწავლისაკენ ძაან მცირე მანძილებზე. ანტიკურ ბერძნულ ფილოსოფიაში კითხვაზე თუ რა მიიღება კენჭის უსასრულოდ დაყოფის შედეგად პასუხი იყო ორგვარი:

ა. ერთი აზრით, კენჭის ასეთი დაყოფა რაღაც ეტაპზე შეუძლებელი გახდებოდა, რადგანაც მივიდოდნენ მატერიის განუყოფელ ნაწილამდე ე.წ. ატომამდე.

ბ. მეორე აზრით დაყოფის ეს პროცესი უსასრულოდ გაგრძელდებოდა, რადგანაც არ არსებობს მატერიის განუყოფელი ნაწილი.

დღევანდელი თვალსაზრისით ანტიკურ ფილოსოფოსთა ორივე მოსაზრება სწორია, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მატერია არსებობს 2 სხვადასხვა ფორმით: კორპუსკულარული სახითა და ველის სახით, როცა ის განფენილია მთელ სივცეში უწყვეტად.

აღმოჩნდა, რომ მატერიის ეს ორი ფორმა შეიძლება ერთმანეთში გადავიდეს, რადგანაც ორივეს საფუძველი ენერგიაა.

ენერგია აბსტრაქტული ცნებაა, რომლის რელურად წარმოდგენა შეუძლებელია, მაგრამ მის არსებობაში ეჭვი არავის ეპარება. ამ ფუნდამენტური პრობლემის ანალიზმა კაცობრიობა მიიყვანა სამყაროს აგების თანამედროვე წარმოდგენებთან მიკრომაშტაბებში. იგი ჩამოყალიბდა როგორც უაღრესად მკაცრი, ლოგიკურად დახვეწილი და ექსპერიმენტულად შემოწმებული, მყარ თეორიულ და მათემატიკურ საფუძველზე დაყრდნობილი დისციპლინა – თანამედროვე ელემენტარული ნაწილაკთა ფიზიკისა და თეორიული ფიზიკის სახით. აღმოჩნდა, რომ ელემენტარული ნაწილაკების თვისებები განისაზღვრება 11-განზომილებიანი სივრცე-დროის თვისებებით [24;11].

1. ელემენტარული ნაწილაკები

ჩვენს გარშემო არსებული საგნები: დედამიწა და მასზე არსებული უამრავი სხვადასხვა სახის ნებისმიერი სხეული როგორც ცოცხალი, ისე მინერალური, ე.ი. მთელი გრძნობად-კოსმოსური ნივთიერი სამყარო, შედგება სხვადასხვა სახის ნივთიერებებისაგან. არსებობს 6 მილიონამდე სხვადასხვა სახის ნივთიერება.

სხვადასხვა სახის ნივთიერების მოლეკულები შედგებიან 83 სტაბილური და ათამდე რადიაქტიული ქიმიური ელემენტისაგან, რომლებიც განლაგებულნი არიან მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში.

ამ ელემენტების კომბინაციები ქმნიან მილიონობით სხვადასხვა სახის მოლეკულას. შემდეგ მიღებულ იქნა ათამდე ხელოვნური რადიოაქტიული ელემენტი. აღმოჩნდა, რომ თითოეულ ელემენტს ფიზიკური თვალსაზრისით შეესაბამება ერთი ან რამდენიმე ატომი, რომელთაც იზოტოპები ეწოდებათ.

ნებისმიერი ნივთიერება დანაწევრებისას დადის იმ უმცირეს ნაწილაკამდე, რომლის შემდეგი დაშლისას აღებული ნივთიერება კარგავს თავის თვისებებს. სწორედ ნივთიერების ამ უმცირეს ნაწილაკს წარმოადგენს მოლეკულა.

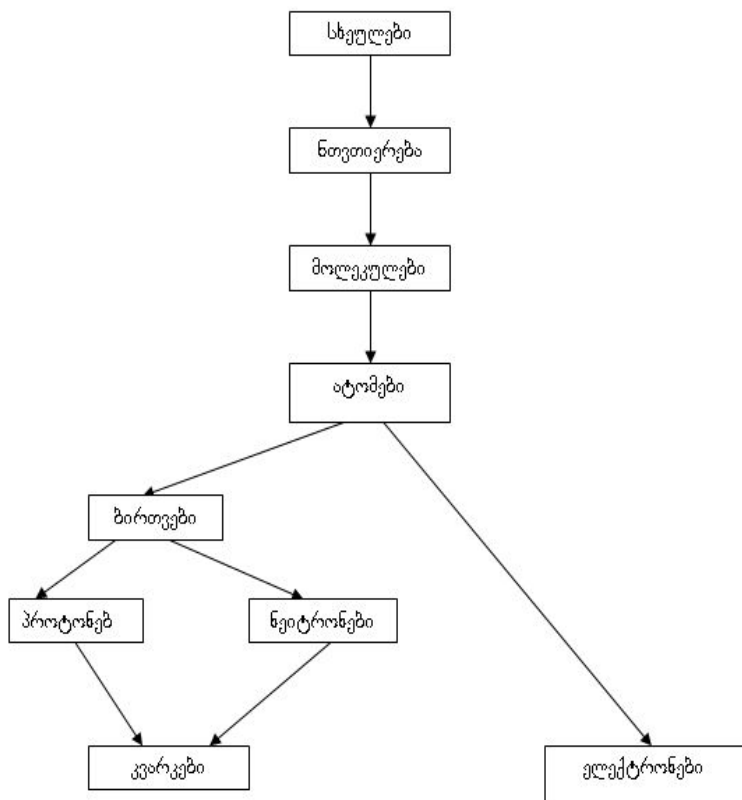
ცხადია, რომ ნებისმიერ ნივთიერებას თავისი მოლეკულა შეესაბამება. აღმოჩნდა, რომ დედამიწაზე არსებული ყოველი

სახის ნივთიერების მოლეკულები შედგებიან 83 სტაბილური და ათამდე რადიოაქტიული ქიმიური ელემენტისაგან, რომელებიც განლაგებული არიან მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. ამ ელემენტების კომბინაციები ქმნიან მილიონობით სხვადასხვა სახის მოლეკულას. შემდეგ მიღებულ იქნა ათამდე ხელოვნური რადიოაქტიული ელემენტი. აღმოჩნდა, რომ თითოეულ ელემენტს ფიზიკური თვალსაზრისით შეესაბამება ერთი ან რამდენიმე ატომი, რომელთაც იზოტოპები ეწოდებათ. ამჟამად აღმოჩენილია 283 სხვადასხვა მასის სტაბილური იზოტოპი.

ამჟამად აღმოჩენილია 283 სხვადასხვა მასის სტაბილური იზოტოპი. საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ატომები წარმოადგენენ რთულ სტრუქტურებს. ყოველი ატომი შედგება დადებითად დამუხტული მასიური ბირთვისაგან და მის გარშემო არსებული ელექტრონული გარსისაგან. ელექტრონები წარმოადგენენ უარყოფითად დამუხტულ უმცირესი ზომის ელემენტარულ ნაწილაკებს. ელექტრონები ბირთვის გარშემო განლაგებული არიან შრეებად და ფენებად. ატომის ქიმიური და ფიზიკური თვისებები განპირობებულია მისი ელექტრონული გარსის სტრუქტურით, რომლის გამოკვლევას აწარმოებს ატომური ფიზიკა.

ატომის ბირთვი მდგრადი წარმონაქმია, რომელიც, თავის მხრივ, შედგება პროტონებისა – p და ნეიტრონებისგან – n , შეკავშირებულთ ე.წ. ბირთვული ძალების მეშვეობით. პროტონი დადებითად დამუხტული ნაწილაკია. მისი მუხტის სიდიდე რიცხობრივად უდრის უარყოფითად დამუხტულ ელექტრონის მუხტს. პროტონის მასა 1836-ჯერ მეტია ელექტრონის მასაზე.

ნეიტრონი ელექტრულად ნეიტრალური ნაწილაკია, რომლის მასა მცირედ აღემატება პროტონის მასას. ატომში ელექტრონების რიცხვი პროტონების რიცხვის ტოლია. ელექტრონების რიცხვი განსაზღვრავს ატომის შესაბამისობას ქიმიურ ელემენტთან. ამრიგად, პროტონი, ნეიტრონი და ელექტრონი წარმოადგენენ ნივთიერი სამყაროს ძირითად აგურაკებს (იხ. სქემა 1.1).



სქემა 1.1 -ზე მოცემულია ნივთიერი სხეულების შემადგენლობის 7-საფეხურიანი სტრუქტურა: საგნები შედგებიან ნივთიერებებისაგან, ნივთიერებები – მოლეკულებისაგან, მოლეკულები – ატომებისაგან, ატომები – ბირთვებისა და ელექტრონებისაგან, ბირთვები – ნეიტრონებისა და პროტონებისაგან, ნეიტრონ-პროტონები – კვარკებისაგან

მათ ელემენტარული ნაწილაკები ეწოდებათ. ამჟამად აღმოჩენილია მრავალი სახის ელემენტალური ნაწილაკი.

ელემენტარულ ნაწილაკების ძირითადი თვისებრიობა მათ ერთმანეთთან ურთიერთქმედებაში მდგომარეობს. ისინი მონაწილეობენ გაბნევის, დაბადებისა და დაშლის რეაქციებში.

აღმოჩნდა, რომ ზემოაღნიშნული გარდაქმნები და ბუნებაში მიმდინარე პროცესები განპირობებულია 4 სხვადასხვა სახის ფუნდამენტალური ურთიერთქმედებით. ელემენტალური ნაწილაკების თვისებრივი კლასიფიკაცია განპირობებულია მათი მონაწილეობით სხვადასხვა ფუნდამენტალური სახის ურთიერთქმედებებში. გარდა იმ ელემენტარული ნაწილაკებისა, რომლებიც ფუნდამენტური ურთიერთქმედების გადამტანებს წარმოადგენენ, აღმოჩენილია აგრეთვე 400-მდე ძლიერ ურთიერთქმედებაში მონაწილე სხვადასხვა სახის ელემენტარული ნაწილაკი, რომელებსაც ადრონები უწოდეს. მათმა ასეთმა სიმრავლემ ფიზიკოსები მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ ისი უნდა შედგებოდნენა უფრო ფუნდამენტული მცირე რაიდენობის ნაწილაკებისაგან. მათლაც აღმოჩნდა, რომ პროტონი, ნეიტრონი და მათი მსგავსი ნაწილაკები – ადრონები შედგებიან კიდევ უფრო მცირე ზომის ფუნდამენტური ნაწილაკებისაგან, რომლებსაც კვარკები უწოდეს. გაირკვა, რომ სხვადასხვა სახის კვარკების რაოდენობა 6-ს ტოლია. გარდა ამისა აღმოჩენილ იქნა ელექტრონის მსგავსი ნაწილაკები, რომლებსაც ლეპტონები უწოდეს.

ლეპტონები. ლეპტონები ნაწილაკებია, რომლებიც არ მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებაში. მათი სპინი $\frac{1}{2}$ ის ტოლია და მიეკუთვნებიან ფერმიონთა კლასს. ზოგი ლეპტონი დამუხტულია, ზოგი – ნეიტრალური. ლეპტონები ხასიათდებიან მასით m , ელექტრული მუხტით e , სპინით s , და სამი სხვადასხვა ლეპტონური რიცხვით (L_e, L_μ, L_τ). ლეპტონურ კვანტურ რიცხვს განზომილება არ გააჩნია. ასეთი კვანტური რიცხვები განსაზღვრავენ მატერიის არსებობის ფორმას. მაგალითად, $L_e=1$, ნიშნავს, რომ მატერია არსებობს ელექტონული ლეპტონის სახით. ასეთი ლეპტონი შეიძლება არსებობდეს ორი: ელექტრონისა და მისი შესაბამისი ნეიტრინოს სახით.

ნეიტრინოები ყველაზე გავრცელებული ლეპტონებია სამყაროში. ისინი მილიარდჯერ მეტია პროტონ-ნეიტრონებთან შედარებით. მათ შეაქვთ ძირითადი წვლილი კოსმოსურ გრავიტაციაში.

ყოველ ლეპტონს შეესაბამება თავისი ანტილეპტონი. შესაბამისად მიჩნეულია, რომ ლეპტონების სრული რიცხვი 12-ს ტოლია.

ელექტრონი. ელექტრონი – ატომის შემადგენელი ელემენტალური ნაწილაკია, რომელიც ყველაზე ადრე იქნა აღმოჩენილი. მისი აღმოჩენა მიენერება **ჯორჯ ტომსონს**, რომელმაც 1897 წელს პირველად გაზომა კათოდური სხივების ნაწილაკების ფარდობითი მუხტი q/m . მაგრამ ელექტრონის არსებობის უეჭველ ფაქტად მიჩნეულია 1911 წელს **რ. მილიკენის** მიერ ელექტრონის e მუხტის აბსოლუტური მნიშვნელობის გაზომვა [99;79].

ელექტრონის აღმოჩენით რეალურად დაიწყო ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა. შემდეგში ატომგულის შესწავლამ საგრძნობლად განაპირობა ელემენტარული ნაწილაკების უმდიდრესი სამყაროს აღმოჩენა [60;32].

ამჟამად დადგენილია, რომ ელექტრონის ელემენტარული მუხტი $q_e = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ კულონი, ხოლო მისი მასა $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ კგ. ელექტრონი აგრეთვე ხასიათდება სპინით s , რომელიც $\hbar/2$ -ს ტოლია და მაგნიტორი მომენტით: $\sim_e \cong e\hbar/2m \cong 9,3 \cdot 10^{-24}$ ჯ/ტ [99;81].

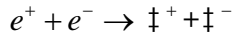
არსებობს ელექტრონის შესაბამისი ნეიტრალური ნაწილაკი ნეიტრინო ϵ_e , რომლის ლეპტონური რიცხვია $L_e = 1$.

მიუონი μ^- . 1937 წელს **კ. ანდერსონმა** აღმოაჩინა ერთეულოვანი ელექტრული მუხტისა და დაახლოვებით 207 ელექტრონის მასის ტოლი ნაწილაკი. მეცნიერებმა თავიდან ის მიიჩნიეს იუკავას ნაწილაკად, მაგრამ შემდეგ აღმოჩნდა, რომ მას არავითარი კავშირი არა აქვს ბირთვულ ძალებთან. ამჟამად მას უწოდებენ მიუონს. მას აქვს უარყოფი – $-e$ მუხტი, სპინი – $S = \hbar/2$; და მაგნიტური მომენტი $\sim_\mu = 9,31 \cdot 10^{-24}$ ჯ/ტ [99;82].

მიუონი მიჩნეულია ელექტრონის ორეულად. მიუონი არ შედის ატომის შემადგენლობაში. მეცნიერებისათვის გაუგებარი იყო თუ რისთვის დასჭირდდა ბუნებას მისი შექმნა.

არსებობს მიუონის შესაბამისი ნეიტრინო $\bar{\nu}_\mu$, რომლის ელექტრული მუხტი და მასა ნულის ტოლია, ხოლო ლეპტონური რიცხვია $L_\mu = 1$.

τ ლეპტონი. 1975 წელს სტენფორდში პერლის ჯგუფის მიერ ელექტრონ-პოზიტრონების შემხვედრ ნაკადში დაკვირვებულ იქნა არაჩვეულებრივი გარდაქმნა, რომელიც გაშიფრულ იქნა შემდეგნაირად:



სადაც τ^+ და τ^- ახლად აღმოჩენილი ნაწილაკ-ანტინაწილაკებია, რომლებიც მონათლეს მძიმე ლეპტონებად, რადგანაც მათი მასა პროტონის მასაზე მეტია. ის არის ელექტრონის მსგავსი ნაწილაკი.

ეჭვი არავის ეპარებოდა, რომ არსებობს მისი შესაბამისი ნეიტრინოც $\bar{\nu}_\tau$. აღმოჩნდა, რომ τ^- ლეპტონი იშლება შემდეგნაირად: $\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$, სადაც ν_τ არის τ^- -ლეპტონის შესაბამისი ნეიტრინო – ტაუნეიტრინო. მისი ელექტრული მუხტი და მასა ნულის ტოლია, ხოლო ლეპტონური რიცხვია $L_\tau = 1$. ტაუონი ხასიათდება ტაუონური ლეპტონური მუხტით L_τ , რომელიც ტაუონისთვის +1-ს ტოლია, ხოლო ანტიტაუონისთვის – -1-სა. რეაქციებში ინახება სრული ლეპტონური მუხტი, ანუ ელექტრონული, მიუონური და ტაუონური ლეპტონური მუხტების ჯამი.

ამრიგად 1975 წლისათვის ცნობილი იყო 6 ლეპტონი ელექტრონის, ელექტრონეიტრინოს, მიუონის, მიუონეიტრინოს, ტაუონისა და ტაუნეიტრინოს სახით. მაშასადამე, არსებოს 6 სხვადასხვა სახის ლეპტონი, რომელთა მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 1.1

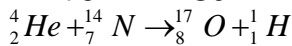
დონე	ნაწილაკები	მასა მკვ	მუხტი e- ში	სპინი h- ში	ლექტ. რიცხვი			ურთიერთქმედებაში მონაწილეობა				
					L _e	L _μ	L _τ	S	W	E	G	I*
I	e-	0,51	-1	1/2	1	0	0	-	+	+	+	-
	ν _e	?	0	1/2	1	0	0	-	+	-	+	-
II	μ-	106	-1	1/2	0	1	0	-	+	+	+	-
	ν _μ	?	0	1/2	0	1	0	-	+	-	+	-
III	τ-	1784	-1	1/2	0	0	1	-	+	+	+	-
	ν _τ	?	0	1/2	0	0	1	-	+	-	+	-

ცხრილი 1.1

ტაუონის აღმოჩენამდე არსებობდა ოთხი ლექტონი და 4 კვარკი, ამიტომ მეცნიერები თვლიდნენ რომ არსებობს კვარკ-ლექტონური სიმეტრია, რომელიც დაირღვა მეხუთე ლექტონის აღმოჩენით.

ადრონები. ადრონები ლექტონებთან შედარებით ძალიან ბევრია, რაც იმაზე მიგვანიშნებს, რომ ისინი შედგებიან შედარებით მცირე ნაწილაკებისაგან. ლექტონებისაგან განსხვავებით, ისინი მონაწილეობენ ყველა ურთიერთქმედებაში. არსებობენ ელექტრულად დამუხტული და ნეიტრალური ადრონები. ადრონებს მიეკუთვნებიან პროტონი და ნეიტრონი.

პროტონი. 1919 წელს რეზერფორდმა პირველდ მოახდინა ქიმიური ელემენტების გარდაქმნა, რომელიც თანამედროვე აღნიშვნებში შემდეგნაირად გამოიხატება:



აქედან რეზერფორდმა გამოიტანა დასკვნა, რომ ჩქარი α ნაწილაკების დაჯახების შედეგად აზოტის ატომის ბირთვი იშლება და წარმოქმნილი წყალბადის ატომი წარმოადგენს აზოტის შემადგენელ ნაწილს. წყალბადის ატომის ბირთვი აყვანილ იქნა ფუნდამენტული ნაწილაკის რანგში. 1920 წელს

რეზერვორდმა წყალბადის ატომის ბირთვის უწოდა პროტონი (protos – ბერძნულად ნიშნავს პირველს).

1925 წელს **პ. ბლეკეტი** პირველად დააკვირდა პროტონს ვილსონის კამერის მეშვეობით. მისი მასა $m_p = 1836,2m_e = 938,3$ მევ. პროტონის სპინი $S = \hbar/2$; ხოლო მაგნიტური მომენტი $\mu_p = 2,79\mu_B$; სადაც μ_B ბირთვული მაგნეტონია. $\mu_B = e/2m_p \cong 5, 05 \cdot 10^{-27}$ ჯ/ტ [112;84].

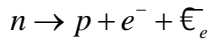
ნეიტრონი. 1930 წელს **ბ. ბოტემ** და **გ. ბეკერმა** აღმოაჩინეს, რომ α ნაწილაკებით ბერილიუმის დაყუბარებისას ადგილი აქვს ნეიტრალური ნაწილაკის გამოსხივებას, რომელიც პარაფინზე მოქმედებით პროტონებს ამორტყუორცნის [99;84].

დ. ჩედვიკის კინემატიკურმა გამოთვლამ უჩვენა, რომ უცნობი ნეიტრალური ნაწილაკის მასა $m_n = 1,15m_p$.

ამრიგად აღმოჩენილ იქნა ახალი ნაწილაკი, რომელსაც ნეიტრონი უწოდეს [99;85].

ნეიტრონის მუხტი ნულის ტოლია; მასა $m_n = 1838,7m_e = 939,6$ მევ. ნეიტრონის მასა პროტონისაზე მეტია 1,3 მევ-ით. ნეიტრონი ხასიათდება მაგნიტური მომენტით $\mu_n = -1,91\mu_B$.

ნეიტრონი იშლება შემდეგი სქემით:

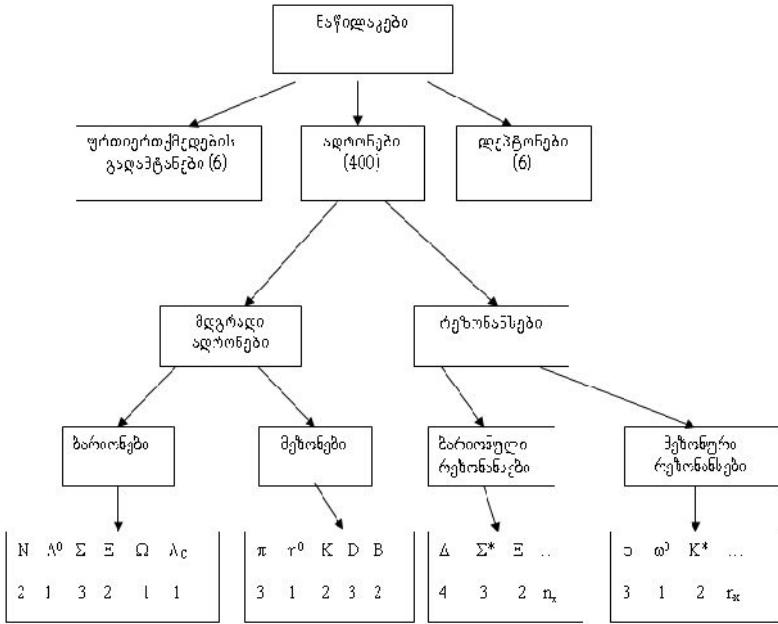


სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობით $t_n = 15$ წუთი [99;85].

გარდა იმ ელემენტარული ნაწილაკებისა, რომლებიც ჩვენ განვიხილეთ, აღმოჩენილია აგრეთვე 400-მდე ძლიერ ურთიერთქმედებაში მონაწილე სხვადასხვა სახის ელემენტარული ნაწილაკი, რომლებიც ადრონების კლასს მიეკუთვნებიან.

მათმა ასეთმა სიმრავლემ ფიზიკოსები მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ ისინი უნდა შედგებოდნენ უფრო ფუნდამენტური მცირე რაოდენობის ნაწილაკებისაგან. მართლაც, აღმოჩნდა, რომ პროტონი, ნეიტრონი და მათი მსგავსი ნაწილაკები – ადრონები შედგებიან მცირე ზომის ფუნდამენტური ნაწილაკებისაგან, რომლებსაც კვარკები უწოდეს. გაირკვა, რომ სხვადასხვა ფუნდამენტური ელემენტარული ნაწილაკები,

რომლებისაგანაც შედგება ნივთიერი სამყარო, იყოფა ორი ძირითად კლასად: კვარკებად და ლეპტონებად.



სქემა 1.2 -ში მოცემულია ელემენტარული ნაწილაკების სახეები და შესაბამისი ნაწილაკების რიცხვები

მეცნიერების წინაშე მტკივნეულად დადგა დაკვირვებული ნაწილაკების კლასიფიკაციის საკითხი – მენდელეევის ტაბულის მსგავსი ტაბულის შექმნის საკითხი ნაწილაკებისათვის.

ნაწილაკების სისტემატიზაციას მეცნიერება ახდენს მათი მასების, მუხტების, სტაბილურობის, სიმეტრიულობის, შინაგანი კვანტური რიცხვებისა და სხვათა მიხედვით (იხ. სქემა 1.2).

მათი დანვრილებითი აღწერა შორს წაგვიყვანს. ამიტომ, ჩვენ აქ განვიხილავთ საკითხის მხოლოდ ზოგიერთ ძირითად მხარეს.

2. კვარკული მოდელი

მეცნიერებისათვის ცხადი გახდა, რომ ადრონები უნდა შედგებოდეს უფრო მცირე რაოდენობის ფუნდამენტური ელემენტარული ნაწილაკებისაგან.

ამ თვალსაზრისით უალრესად მნიშვნელოვანი ნაბიჯი 1964 წელს გადადგეს **მ. გელ-მანმა** და დამოუკიდებლად **ჯ. ცვეიგმა** – მათ შემოიტანეს ძლიერი ურთიერმედებით აღჭურვილი ფუნდამენტული ნაწილაკების – კვარკების კონცეფცია, რომლის თანახმად ძლიერ ურთიერთქმედებებში მონაწილე ნაწილაკები – ჰადრონები (ბარიონები და მეზონები) შედგებიან ე.წ. კვარკებისა და ანტიკვარკებისაგან [58;33].

მათი მოსაზრებით, ნივთიერების ძირითად საამშენებლო ერთეულებს ადრონები (ნეიტრონები და პროტონები) კი არ წარმოადგენენ, არამედ „უცნაური“ ადრონების ტრიპლეტი, რომელთაც გელ-მანმა კვარკები (ინგლისურად - quark) უწოდა. რაც შეეხება სახელწოდება „კვარკი“ როგორც გელ-მანი აღნიშნავდა თავის სტატიაში, არის ჯ. ჯოისის (James Joyce) რომანის „ფინეგანის ქელეხის“ გმირის მიერ წარმოთქმული გაუგებარი სიტყვა - „კვარკი“ („quark“). ჯ. ჯოისის არც უცდია მისი ახსნა. უცნაური ნაწილაკების სახელწოდებად გელ-მანის მიერ ამ სიტყვის გამოყენებას მის მახვილგონიერებას მიაწერენ. ნამბუს მიხედვით, სახელწოდება „კვარკი“ დამკვიდრდა, ერთის მხრივ, გელ-მანის, როგორც ავტორის, საპატივსაცემოდ, ხოლო მეორე მხრივ, ალბათ იმიტომაც, რომ ეს სიტყვა, იდუმალებრივად ჟღერს [98;104].

(უნდა აღინიშნოს, სიტყვა „კვარკი“ თავისი შინაარსით მშვენივრად მოერგო ქართულ ენას. გაირკვა რომ ბგერა კ გამოხატავს ასახული საგნის სიმაგრეს. ხოლო ბგერა რ – რხევას, გამრავლებას, სიმრავლეს. ამ გაგებით კარგი მაგალითია ქართული სიტყვა „კურკა“, რომელიც ასახავს მისი სიმაგრის ორმაგობასა და გამრავლების თვისებას. ფიზიკოსებისათვის კვარკი წარმოადგენს უმაგრეს ელემენტარულ ნაწილაკს, რომელიც ვიბრირებად სიმს

წარმოადგენს. რაც მშვენივრად შეესაბამება ბგერათა ერთობას „კ-ვა-რ-კი“).

არსებობს 3 სახის სხვადასხვა ტიპის, ანუ ე.წ. „არომატის“, კვარკი რომელთაც მიეცათ უცნაური სახელწოდებები u (up - ზედა), d (daon - ქვედა) და s (trange - უცნაური).

არსებობენ კვარკების შესაბამისი ანტიკვარკებიც, რომლებიც აღინიშნებიან \bar{u} , \bar{d} , \bar{s} სიმბოლოებით.

კვარკებს მიენერებათ $\hbar/2$ -ს ტოლი სპინსა და $2/3$ -ს ტოლი ელექტრული მიხტები, მაშინ როცა ცნობილი ნაწილაკების ელექტრული მიხტები 0-სა და ± 1 ელემენტარული (ელექტრონის) e მიხტის ტოლია. კვარკებს მიენერებათ სპინი $J = \hbar/2$ და ბარიონული რიცხვი $B = 1/3$. კვარკების მოდელის მათემატიკური თეორიის $SU(3)$ მოდელის მიხედვით ბარიონები კონსტრუირდება 3 კვარკისაგან, ხოლო ანტიბარიონები - 3 ანტიკვარკისაგან. იმისთვის, რომ $J = \hbar/2$ სპინის მქონე ბარიონებს გააჩნდეთ სწორი კვანტური რიცხვები, მათი კვარკული შემადგენლობა უნდა იყოს შემდეგნაირი:

$$n = udd; p = uud;$$

$$\Lambda^0 = uds;$$

$$\Sigma^- = dds; \Sigma^0 = uds; \Sigma^+ = uus;$$

$$\Xi = dss; \Xi^0 = uss.$$

ხოლო მეზონები უნდა შედგებოდნენ კვარკებისა და ანტიკვარკებისაგან: $\pi^- = \bar{u} d$; $\pi^0 = (\bar{u} u - \bar{d} d)$, $\pi^+ = \bar{d} u$; $\eta = (u\bar{u} + d\bar{d} - 2S\bar{S})$; $K^0 = \bar{S} d$; $K^+ = \bar{S} u$; $K^- = \bar{u} S$. [99; 309].

კვარკული მოდელი კარგად მიესადაგა იმ დროს ცნობილ ელემენტარულ ნაწილაკებს. მაგრამ მან იწინასწარმეტყველა იმ დროისათვის უცნობი ელემენტარული ნაწილაკების არსებობაც. მაგალითად $\Omega^- (s, s, s)$ სპინით $J = 3/2$, უცნაურობით $S = -3$ და მასით 1680 მევ, რომელიც წარმოადგენს სამი s -კვარკის ერთობლიობას პარალელური სპინებით. 1963 წელს ბრუკს-ხავენის ლაბორატორიის თანამშრომლებმა (აშშ) ბუშტოვან კამერაში დააფიქსირეს უცნობი ნაწილაკის დაბადება და

დაშლა, რომელიც აკმაყოფილებდა Ω^- გიპერონის თეორიულად გამოთვლილ ყველა თვისებას. რამაც კიდევ ერთხელ დაადასტურა $SU(3)$ თეორიის სისწორე [98;108].

1969 წელს გელ-მანს მიენიჭა ნობელის პრემია.

კვარკების „ფერი“-ს შესახებ.

მეცნიერებისათვის გაუგებარი იყო რით განსხვავდება Λ^0 და Σ^0 ნაწილაკები ერთმანეთისაგან, რადგანაც ისინი შედგებიან ერთნაირი კვარკებისაგან.

საქმე იმაშია, რომ ისინი არიან ნახევარ სპინის მქონე ნაწილაკები, რის გამოც მათი ტალღური ფუნქციები უნდა ემორჩილებოდნენ პაულის აკრძალვის პრინციპს. შესაბამისად ბარიონებში არ შეიძლება 2 კვარკი იყოს ერთნაირ კვანტურ მდგომარეობაში. მეორე მხრივ, ბარიონების კვარკებით კონსტრუირებისას საჭიროა დაუშვათ, რომ იდენტური კვარკები იმყოფებიან ერთსა და იმავე მდგომარეობაში. ამის მაგალითს წარმოადგენს $\Omega^-(s,s,s)$ გიპერონი, რომელსაც გააჩნია $S \uparrow S \uparrow S \uparrow$ სტრუქტურა, ანუ შეიცავს სამ S კვარკს პარალელური სპინებით. ეს კი ეწინააღმდეგება პაულის პრინციპს და შესაბამისად კვანტური მექანიკის პრინციპებსაც. ამის გარდა წარმოიქმნა სხვა სიძნელეებიც [99;312].

ამ წინააღმდეგობის თავიდან აცილების მიზნით 1965 წელს **ნ. ბოგოლუბოვის, ბ. სტრუგალსკის, ალ. თავხელიძის** და, დამოუკიდებლად, **ი. ნამბუსა** და **გ. ხანის** მიერ წამოყენებულ იქნა მოსაზრება, რომ კვარკები დამატებით ხასიათდებიან ახალი კვანტური რიცხვით, რომელთაც გააჩნიათ 3 სხვადასხვა მნიშვნელობა.

კვარკების ამ მახასიათებელს შემდეგში „ფერი“ უწოდეს.

ი. ნამბუ თავის წიგნში „კვარკები“ კვარკების დამახასიათებელი ახალი კვანტური რიცხვის შემოტანის აუცილებლობას ხსნის შემდეგნაირად: 3 იდენტური ნახევარ სპინიანი კვარკის ერთსა იმავე მდგომარეობაში ასრსებობა იმით უნდა აიხსნას, რომ ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან, მათთვის დამახასიათებელი ახალი კვანტური რიცხვით, რომელიც ღებულობს 3

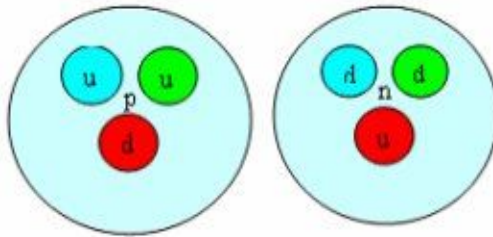
სხვა და სხვა მნიშვნელობას. ამ ახალ კვანტურ რიცხვს გელ-
მანმა „ფერი“ უწოდა. ხოლო, მათთვის დამახასიათებელი ძველი
კვანტური რიცხვები დამკვიდრდა „არომატის“ სახელწოდებით.
„ფერის“ დაკონკრეტების მიზნით ამჟამად იყენებენ სიტყვებს:
„წითელი“ (R), „მწვანე“ (G) და „ლურჯი“ (B).

ყოველი ტიპის კვარკს შეიძლება ჰქონდეს სამი სახის
„ფერი“: R, G და B. ანტიკვარკები ხასიათდებიან შესაბამისი
„ანტიფერებით“: \bar{R} , \bar{G} და \bar{B} .

კვარკული მოდელის მიხედვით 3 სხვა და სხვა ფერის კვარ-
კით კონსტრუირებული ადრონი უფეროა. წინააღმდეგ შემთხვე-
ვაში ადრონების რიცხვი ფერადი კვარკებით იქნებოდა ძალიან
დიდი, რაც ექსპერიმენტთან შეუსაბამო აღმოჩნდებოდა.

ი. ნამბუს მიხედვით ასეთი მიდგომა სინამდვილეს
შეესაბამება, მგრამ გამოიყურება როგორც ხელოვნური [98;61].

თეორიის მიხედვით ყველი სამი სხვადასხვა ფერის ერთობა
უფეროა (ანუ „ყველაფერი“ „არაფრის“ ტოლფასია). ამიტომ
სამი სხვადასხვა ფერის კვარკებისაგან შედგენილი ბარიონები
უფეროა. მაგალითად, პროტონი შედგება სამი სხვადასხვა
ფერის u_R , u_B და d_G კვარკისაგან. პროტონის ანალოგიურად
ნეიტრონი შედგება სხვადასხვა ფერის u_R , d_B და d_G კვარკე-
ბისაგან (ნახ. №1.5).



ნახ. 1.5

კვარკ-ანტიკვარკის ერთობლიობაც უფერო ერთობას
წარმოადგენს. ამიტომ, რადგანაც მეზონები წარმოადგენენ

კვარკ-ანტიკვარკების ერთობლიობას, ისინიც უფერონი არიან [99;313].

რადგანაც რეალურად არსებული ადრონები მხოლოდ უფერონი არიან, ხოლი უფეროა კვერკებისაგან შედგენილი მხოლოდ 3 სხვადასხვა ფერის კვარისაგან, და კვარკ-ანტიკვარკისაგან შედგენილი კომბინაციები, ამიტომ ბუნებაში არ არსებობენ 2, 4 და 5 კვარკით შედგენილი სტრუქტურები.

ამრიგად, სამი ფერის შემოტანით კვარკული მდგომარეობის გასამმაგობამ მეცნიერებს საშუალება მისცა თავიდან აეცილებინათ ადრონების კონსტრუირებისათვის არსებული წინააღმდეგობები.

გელ-მან – ცვეიგის გაფართოებული კვარკული მოდელი მოიცავს 18 ფუნდამენტულ ნაწილაკს, რომლებსაგანაც იგებიან ადრონები: კვარკები 3 ფერით და 3 არომატით და ანტიკვარკები 3 ანტიფერით და 3 ანტიარომატით.

J/ψ (ჟი-ფსი) – ნაწილაკების აღმოჩენის შესახებ.

კვარკების მოდელის მიხედვით 1950-1960-იან წლებში აღმოჩენილი ყველა ადრონული ნაწილაკი შედგებოდა u , d და s სხვა და სხვა ფერის კვარკებისაგან. ამ პერიოდში ითვლებოდა, რომ სამყაროში არ-სებული ნივთიერება შედგებოდა სამი სახის ფერადი კვარკისა და 4 ლეპტონისაგან (e , μ , τ , ν). საჭირო იყო მხოლოდ კვარკების ფერებით გამონწვეული ძლიერი ძალების – ე.წ. ყალიბური ველების შესწავლა.

მგრამ 1974 წელს, სავსებით მოულოდნელად, აღმოჩენილ იქნა სრულიად ახალი ნაწილაკები J/ψ (ჟი-ფსი)-ს სახელწოდებით.

1974 წლის შემოდგომაზე მე ვმუშაობდი ქ. დუბნის ბირთვული გამოკვლევების გაერთიანებულ ინსტიტუტში. სხვა ფიზიკოსებთან ერთად ვსწავლობდი ნაწილაკების მრავლობითი დაბადების საკითხებს $f^+ p$ ურთიერთქმედებაში 5 გეე ენერგიაზე.

პრესაში გაცხადდა ინფორმაცია ახალი J/ψ -ნაწილაკების აღმოჩენის შესახებ, რომელმაც დუბნაში მომუშავე ფიზიკოსებს

შორის დიდი მითქმა-მოთქმა და აჟიოტაჟი გამოწვია. ცნობამ J/ψ-ნაწილაკების აღმოჩენის შესახებ გამოჩნდა გაზეთებში და სენსაცია გამიწვია არა მარტო სამეცნიერო წრეებში, არამედ არასპეციალისტებს შორისაც.

ნოემბრის ერთ დღეს დუბნიდან მოსკოვში მატარებლით ვიმგზავრე ცნობილ ფიზიკოს ვლადიმერ კადიშევსკიტან ერთად. საუბრისას ვლადიმერმა განაცხადა, რომ J/ψ-ნაწილაკების აღმოჩენა უალრესად მნიშვნელოვანი ფაქტია და ახლო მომავალში დიდ ცვლილებას შეიტანს ელემენტარული ნაწილაკების თეორიაში.

ვ. კადიშევსკის ეს წინასწარმეტყველება გამართლდა!

1974 წელს პრაქტიკულად ერთდროულად მასაჩუსეტის ტექნიკურ უნივერსიტეტში ს. ტინგის ჯგუფის მიერ (აშშ) და სტანფორდის უნივერსიტეტში ბ. რიხტერის ჯგუფის მიერ (აშშ) აღმოჩენილ იქნა ახალი ნაწილაკები. J -სიმბოლო შემოტანილ იქნა ს.ტინგის ჯგუფის მიერ, ხოლო ψ - რიხტერის ჯგუფის მიერ. ორივე ჯგუფი იყენებდა სავსებით განსხვავებულ ექსპერიმენტალურ მეთოდებს, მაგრამ აღმოაჩინეს ეჭვიმტანლად ერთი და იგივე ახალი ნაწილაკი.

J/ψ-ნაწილაკის შესაბამისი ექსპერიმენტალური პიკი აღმოჩნდა გაცილებით ვიწრო ჩვეულებრი ვექტორული ბეზობების პიკებთან შედარებით. მეცნიერები მიხვდნენ, რომ საქმე ჰქონდათ არა კიდევ ერთ ჩვეულებრივ ნაწილაკთან, არამედ ახალ, გაცილებით სტაბილურ, ელემენტარულ ნაწილაკთან. J/ψ-ნაწილაკების ჭეშმარიტი ბუნების ძიება გრძელდებოდა თითქმის 2 წლის განმავლობაში.

ამ აღმოჩენამდე ფიზიკოსებს შორის აღიარებული იყო u, d და s-კვარკების სამფეროვანი მოდელი, რომელმაც J/ψ-ნაწილაკების აღმოჩენით საგრძნობი დარტყმა განიცადა.

პრობლემა იმაში მდგომარეობდა, რომ არსებულ 3 კვარკიანი მოდელის სქემაში არ მოიძებნებოდა ადგილი ახალი ადრონისათვის. რადგანაც მათი და მათი ანტიკვარკების ყველა კომბინაცია უკვე დაკავებული იყო ცნობილი ნაწილაკებით.

ისმის ბუნებრივი კითხვა: მაშ რისგან უნდა შედგებოდეს J/ψ-ნანილაკი? იმ დროს თეორიულად არსებობდა მეოთხე სახის არომატის მქონე მეოთხე კვარკის არსებობის იდეა – c (charm – ეშხი) „ეშხის“ სახელწოდებით. გამოითქვა აზრი, რომ J/ψ ნანილაკი წარმოადგენს C-კვარკისა და \bar{c} -ანტიკვარკის, ანუ (C \bar{c})-ს – კომბინაციას.

საბოლოოდ მეცნიერები მართლაც მივიდნენ დასკვნამდე, რომ J/ψ ნანილაკი წარმოადგენს ახალი C -კვარკისა და \bar{c} -ანტიკვარკის ერთობას. ამრიგად დადგინდა იქნა, რომ ბუნებაში არსებობს მეოთხე კვარკი C- „ეშხის“ სახელწოდებით [98;126].

J/ψ-ნანილაკი ცხადი სახით არ შეიცავს „ეშხს“, რადგანაც C-კვარკის ეშხი და \bar{c} -ს ანტიეშხი ერთმანეთს აბათილებენ.

J/ψ-ნანილაკების დაფიქსირება მეტად მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა. მისი აღმოჩენით დაიწყო ელემენტარული ნანილაკების ფიზიკის ახალი ფაზა, რის გამოც მას უწოდებენ 1974 წლის „ნოემბრის რევოლუციას“ [99;316].

J/ψ-ს შემდეგ, 1974 წელს, აღმოჩენილ იქნა „ეშხიანი“ (უშუალოდ C ჩარმის მატარებელი) ნანილაკებიც.

C კვარკის მასა $m_c = 1,3$ გევ.

1976 წელს ამ აღმოჩენის ავტორებს ს. ტინგსა და ბ. რიხტერს მიენიჭათ ნობელის პრემია.

ხოლო 1979 წელს ნობელის პრემია აგრეთვე დაიმსახურეს თეორეტიკოსებმა შ. გლუშოუმ, ს. ვაინბერგმა და ა. სალამმა, რომელთა დამაჯერებელი თხოვნით შემოღებულ იქნა ახალი კვარკი c – (charm) „ეშხის“ სახელწოდებით.

ექსპერიმენტატორების აზრით, თუ პროტონში მართლაც არსებობს კვარკები, მაშინ მათი დაკვირვება შესაძლებელი იქნება პროტონის შიგნით დაჯახე-ბებით. ამისთვის საჭირო იქნება სუბატომური „ყუმბარები“, რომლებიც უნდა მიმართულ იყოს პროტონის გულისაკენ. ამ მიზნით შეიძლება გამოყენებულ იქნენ ელექტრონები, რად-განაც ისინი არ მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებებში, ხოლო თავისი მუხტებით შეიძლება იმოქმედონ კვარკების მუხტებზე.

ექსპერიმენტული მტკიცებულება კვარკების არსებობის შესახებ მიღებულ იქნა 1969 წელს ისტორიული ექსპერიმენტების სერიაში, რომლებიც ჩატარდა დიდ გრძივ ამარქარებელზე სტენფორდში – CLAK-ში.

სტენფორდის ექსპერიმენტში სამკილომეტრიან წრფივ ამარქარებელზე 210 გეე ენერგიამდე აჩქარებული ელექტრონები დააჯახეს პროტონებს. თუ პროტონში ელექტრონული მუხტი თანაბრად იქნებოდა გადანაწილებული, მაშინ ძირითადად უნდა მომხდარიყო ელექტრონების სუსტი გაბნევა, ანუ პროტონში გავლის შემდეგ ადგილი არ უნდა ჰქონოდა ელექტრონების ძლიერ გადახრას. ექსპერიმენტმა უჩვენა, რომ ზოგი ელექტრონი ისე გადაიხარა, თითქოს ისინი ეჯახებოდნენ უმცირესი ზომის მკვრივ შენაერთებს და მათ მიერ აირეკლებიან სრულიად სხვადასხვა კუთხით. მეცნიერებმა ჩათვალეს, რომ ეს მკვრივი შენადეები კვარკებს წარმოადგენენ. (ეს ექსპერიმენტი ჰგავს რეზერფორდის მიერ ატომებზე ჩატარებულ ექსპერიმენტებს) [75;99].

ეს ექსპერიმენტი წარმოადგენს კვარკების არსებობის ექსპერიმენტულ დადასტურებას.

ბუნების ახალი „სიეშმაკე“. ახალი ეშხიანი C-კვარკის აღმოჩენის შემდეგ კვარკულმა მოდელმა თეორიულად დასრულებული სახე შეიძინა. თითქოსდა ნივთიერების სტრუქტურულობის საკითხი უკვე გადაწყვეტილი აღმოჩნდა. ასეთ შემთხვევაში ფუნდამენტური ნაწილაკების სახეობათა რაოდენობა ამოიწურებოდა 4 ლეპტონითა (e, μ, τ, ν) და 4 სხვადასხვა არომატის კვარკით, რომელთაც 3 სხვა და სხვა ფერი გააჩნია (12 კვარკი). მაგრამ, ი. ნამბუს მოსაზრებით, ბუნებამ ხელახლა გვიმტყუნა: აღმოჩნდა, რომ არსებობენ ახალი, განსხვავებული სახის ნაწილაკებიც [98;128].

როგორც აღვნიშნეთ, 1975 წლისათვის ცნობილი იყო 6 ლეპტონი ელექტრონის, ელექტრონეიტრინოს, მიუონის, მიუნეიტრინოს, ტაუონისა და ტაუნეიტრინოს სახით.

ტაუონის აღმოჩენამდე არსებობდა ოთხი ლეპტონი და 4 კვარკი, ამიტომ მეცნიერები თვლიდნენ რომ არსებობს

კვარკ-ლექტონური სიმეტრია, რომელიც დაირღვა მეხუთე ლაპტონის აღმოჩენით.

ცხრილი 1.2

თაობა	სიმბოლო	მასა (მეგეებში)	სპინი (ჩ-ში)	მუხტი		არომადი					
				ბარიონული	ელექტრული	იზოსპინი		უცნაურობა	კემბი	ხიზლი	ჭემმარიტება
						B	q/e				
I	u	4	1/2	1/3	2/3	1/2	1/2	0	0	0	0
	d	8	1/2	1/3	-1/3	1/2	-1/2	0	0	0	0
II	s	160	1/2	-1/3	1/3	0	0	1	0	0	0
	c	1350	1/2	1/3	2/3	0	0	0	1	0	0
III	b	4700	1/2	1/3	-1/3	0	0	0	0	1	0
	t	10 ⁸	1/2	1/3	2/3	0	0	0	0	0	1

ამიტომ მეცნიერები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ ბუნებაში არსებობს 6 სხვადასხვა სახის არომადის კვარკი. თეორეტიკოსები ვარაუდობდნენ, რომ უნდა არსებულიყო კვარკების ახალი წყვილი (t,b). სიმბოლოებს t-ს და b-ს აკავშირებენ ინგლისურ სიტყვებთან truth (ჭემმარიტება) და beauty (სილამაზე). ამ ჰიპოთეზის ჭემმარიტება დამტკიცებულ იქნა 1979 წელს, როცა ლედერმანის ჯგუფის მიერ აღმოჩენილ იქნა J/ψ მეზონზე უფრო მძიმე იპსილონ Υ-ნაწილაკი. რომელიც, ყოველგვარი ეჭვის გარეშე, ინტერპრეტირებულ იქნა როგორც ახალი – მეხუთე b-კვარკისა და მისი \bar{b} ანტიკვარკის (b \bar{b}) –ბმული მდგომარეობა. იგი ხასიათდება თავისი არომადით „სილამაზის“ სახელწოდებით. b-კვარკის მუხტი – 1/3 -ს ტოლია, ხოლო მისი მასა $m_b \approx 4700$ მეგ [98;129].

„ლამაზი“ b მძიმე კვარკის შემოტანით აღდგა კვარკ-ლეპტონური რაოდენობრივი სიმეტრია, რომელიც დარღვეული აღმოჩნდა 1975 წელს \dagger -ლეპტონის აღმოჩენით. ხოლო კვარკ-ლეპტონური სიმეტრიის დამაჯერებლობამ ფიზიკოსები იძულებული გახადა შემოეტანათ მეექვსე t -კვარკი ჭეშმარტის (truth) სახელწოდებით. მისი ელექტრული მუხტი $2/3$ -ს ტოლია, ხოლო არომატია „ჭეშმარიტება“, რომელიც 1 -ს ტოლია [99;316].

t -კვარკი აღმოაჩინეს 1995 წელს. მისა მასა – $m_t = 173$ გევ. იგი ყველაზე მძიმეა ელემენტარულ ნაწილაკებს შორის.

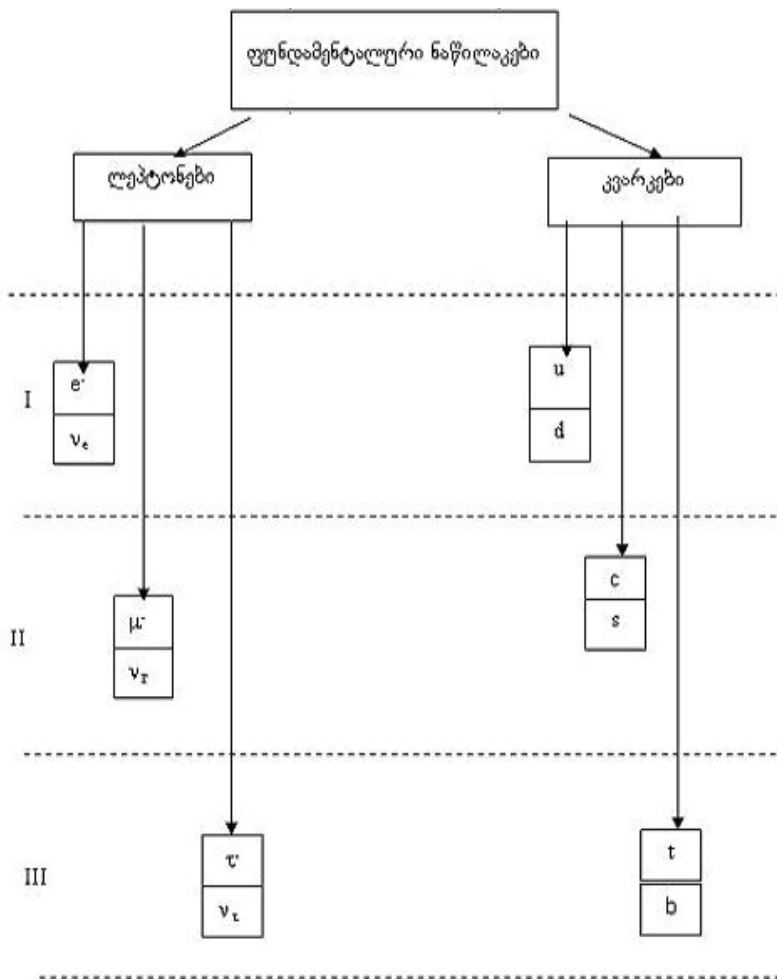
ამჟამად მიჩნეულია, რომ ბუნებაში არსებობს 6 სხვადასხვა ტიპის კვარკი და 6 სხვადასხვა ტიპის ლეპტონი, რომლებიც მასების ზრდის მიხედვით ქმნიან 3 თაობას (იხ. სქემა 1.3) [55].

კვარკების სპინი $1/2$ -ს ტოლია, სივრცული ლუნობა $\eta_p = +1$ და ბარიონული მუხტი $B=1/3$. უცნაურობა S , მუხტი q , იზოსპინი T და ჰიპერმუხტი Y მოცემულია ცხრილში 1.2

ფიზიკოსთა უმრავლესობამ კვარკები მიიჩნია ნამდვილ – ნერტილოვან, განუყოფად და შინაგანი სტრუქტურის არ მქონე ელემენტარულ ნაწილაკებად. ამ თვალსაზრისით ისინი გვაგონებენ ლეპტონებს. მეცნიერების მიერ მიღებულია, რომ ელემენტარული ნაწილაკებს ამ ორ განსხვავებულ ოჯახებს შორის უნდა არსებობდეს ღრმა კავშირი. ლეპტონებისა და კვარკები თვისებების შედარება გვიჩვენებს, რომ ისე როგორც ლეპტონები შეიძლება დაჯგუფდნენ წყვილ-წყვილად (ყოველ დამუხტულ ლეპტონს შეესაბამება ნეიტრინო). ლეპტონების ანალოგიურად კვარკებიც შეიძლება დავაჯგუფოდ წყვილ-წყვილად.

აღსანიშნავია, რომ ნივთიერი სამყაროს ასაგებად ბუნებამ გამოიყენა მხოლოდ პირველი თაობის ნაწილაკები u კვარკი, d კვარკი და ელექტრონი e .

ძლიერი ფერადი ურთიერთქმედების საშუალებით u და d კვარკები სამ-სამად გაერთიანებული ქმნიან პროტონსა და ნეიტრონს.



სქემა 1.3

პროტონები და ნეიტრონები ძლიერი ძალების ურთიერთქმედების საშუალებით ქმნიან ბირთვებს, ხოლო ბირთვები და ელექტრონები – ატომებს. უფრო მძიმე ლექტონები და კვარკები ასრულებენ მხოლოდ თავისუფალი დუბლიორების

როლს. ისმის კითხვა რისთვის დასჭირდა ბუნებას მეორე და მესამე თაობების ნაწილაკების არსებობა.

თავი 6. სიმეტრიები და მასთან დაკავშირებული საკითხები

1. სიმეტრიები

სიმეტრიის ცნება ყველასთვის კარგად ცნობილია და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ადამიანის მიერ მრავალ ხელქმნილს პრაქტიკული თუ ესთეტიკური მიზნით მიზანდასახულად ეძლევა სიმეტრიული ფორმები. ბუნებაშიც ხშირად გვხვდება სიმეტრიული ფორმები. თოვლის ფიფქებს, კრისტალებს და სხვათ გააჩნიათ გარკვეული სიმეტრიული ფორმები.

ბუნების თვისებებისა და მოვლენების სიმეტრიულობით ახსნის მიდგომა ძველთაგანვე ხასიათდებოდა ევროპული მეცნიერება, დაწყებული უძველესი საბერძნეთიდან. ძველბერძნული მეცნიერება, ფილოსოფია და ხელოვნება უდიდეს მნიშვნელობას ანიჭებდა სიმეტრიებს. ისინი მათში ხედავდნენ სილამაზის, ჰარმონიისა და სრულყოფილების განსახიერებას. სიმეტრია არის ის იდეა, რომლის მეშვეობით ადამიანი საუკუნეების განმავლობაში ცდილობს ჩასწვდეს წესრიგს, სილამაზესა და სრულყოფილებას. სიმეტრიის იდეა სცილდება სივრცული ობიექტების სიმეტრიულობის ცნებას და შეესაბამება „ჰარმონიის“ ცნებას. სიმეტრიასთან მჭიდროდაა დაკავშირებული სილამაზეც [69;37].

ასიმეტრია სიმეტრიის საპირიპირო ცნებაა. სიმეტრია გამოხატავს სიმშვიდესა და შებოჭილობას, ხოლო ასიმეტრია ნიშნავს მოძრაობასა და თავისუფლებას. სრული ასიმეტრიულობა გამოსახავს ქაოსს. აღმოჩნდა, რომ სიმეტრიის ნაწილობრივი დარღვევა განაპირობებს მოძრაობას, ევოლუციურობასა და სიცოცხლეს.

ბუნებაში ადგილი აქვს სარკულ სიმეტრიას. მაგალითად, ხერხემლიანი ცხოველების სხეულებისათვის დამახასიათებელია სარკული სიმეტრია. თუმცა მათი შინაგანი ორგანოებისათვის ირღვევა სიმეტრიულობა, რაც იმას ნიშნავს,

რომ სიმეტრიულობასთან ერთად ჩვენი სამყაროს მნიშვნელოვან თვისებას წარმოადგენს სიმეტრიის ნაწილობრივი დარღვევა და შემთხვევითობა [69;56].

ეს აუცილებელია ცოცხალი ორგანიზმების სიცოცხლის უნარიანობისათვის. აბსოლუტური სიმეტრიულობა არის ანტი-ორგანიული და მომაკვდინებელი სიცოცხლისათვის [69;91].

სიმეტრიულობით ხასიათდებიან ნივთიერი სამყაროს შემადგენელი აგურაკები – ელემენტარული ნაწილაკები, რომელთა თვისებები განისაზღვრება მათი გეომეტრიული სიმეტრიებით. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა კარგად აღინერება ჯგუფთა თეორიით, რომელიც გარკვეული სიმეტრიულობით ხასიათდება.

ისმის კითხვა: რათ აღწერს ჯგუფთა თეორია ბუნებას? ან რატომ აღინერება ბუნების მოვლენები კვანტური ფიზიკის აბსტრაქტული ფორმულებით? ან რათ ემორჩილებიან ელექტრონები პაულის პრინციპს? ეს შეკითხვები აწუხებს XX საუკუნის ფიზიკოსებს. ამ საკითხებზე ფიქრობდა ნობელის პრემიის ლაურიატი ამერიკელი ფიზიკოსი ი. ვიგნერი (1902-1998). ბუნების კანონები ფლობენ სტრუქტურას, რომელიც იწოდება ინვარიანტობის პრინციპად. პოსტულირება იმისა, რომ ბუნების კანონები უნდა ფლობდნენ ინვარიანტობას გარკვეული გარდაქმნების მიმართ, გვაძლევენ ახალი კანონების აღმოჩენის საშუალებას. ბუნების კანონები არ არსებობენ ინვარიანტობის პრინციპების გარეშე. ბუნების სიმეტრიის კანონები იერარქიულად უფრო ძირითადნი არიან ვიდრე ბუნების ჩვეულებრივი კანონები [70;36].

ელემენტალური ნაწილაკების თვისებები განისაზღვრება მათი გეომეტრიული სიმეტრიებით: თურმე თუ რაიმე პროცესი ხასიათდება სიმეტრიულობით შეიძლება დაბეჯითებით ითქვას, რომ მასში მონაწილეობს რომელიღაც მუდმივა ან მუდმივა რომელიღაც ფიზიკური სიდიდე. მუდმივები წარმოადგენენ მარად ცვლადი სანყაროს სტაბილურობის კუნძულებს რომლებიც სამყაროს იცავენ აბსოლუტურ ქაოსურობაში სწრაფი გადასვლისაგან.

კლასიკურ ფიზიკაში ბუნებაში არსებული შენახვის კანონები დაკავშირებულია ჩვეულებრივი სივრცისა და დროის სიმეტრიასთან.

სხეულის იმპულსისა და იმპულსის მომენტის შენახვის კანონები უშუალოდ გამომდინარეობენ ნიუტონის მოძრაობის კანონებიდან, მაგრამ ლაგრანჟისა და ჰამელტონის მიერ ნაჩვენებ იქნა, რომ ამა თუ იმ ფიზიკური სიდიდის შენახვა დობა დაკავშირებულია შესაბამის სიმეტრიებთან [75;68].

1918 წელს გერმანელმა მათემატიკოსმა ემი ნეტერმა(1882-1935 წწ) ჩამოაყალიბა თეორემა, რომლის მიხედვით ფიზიკური სიდიდეების შენახვის კანონები გამომდინარეობენ ინვარიანტობის პრინციპებიდან [99;278].

შენახვის კანონები კლასიკურ ფიზიკაში:

ა. თავისუფლად მოძრავი ნაწილაკის ენერჯის შენახვის კანონი განპირობებულია დროის ერთგვაროვნებით.

ბ. იმპულსის ვექტორის სამი კომპონენტის შენახვის კანონი დაკავშირებულია სივრცის ერთგვაროვნებასთან.

გ. იმპულსის მომენტის 3 კომპონენტის შენახვის კანონი კი დაკავშირებულია სივრცის იზოტროპიულობასთან (ბრუნვითი სიმეტრია).

კვანტურ მექანიკაში ადგილი აქვს დისკრეტული კვანტური რიცხვების შენახვას:

ა. სივრცითი ლუნობა Y_p , რმელიც განსაზღვრავს ტალღური ფუნქციის ყოფაქცევას სივრცითი კორდინატების ინვერსიის – ($x_i \rightarrow -x_i$), ანუ \hat{P} ოპერაციის მიმართ. ასეთი ოპერაციის მოქმედებისას ის ან არ იცვლის ნიშანს ($Y_p = +1$), ან – იცვლის ნიშანს ($Y_p = -1$). სივრცული სიმეტრია ნიშნავს სიმეტრიას სარკული არეკვლის მიმართ.

ბ. მუხტური ლუნობა Y_e ფორმალურად ემსგავსება სივრცულ ლუნობას. ეს კვანტური რიცხვი განსაზღვრავს ნაწილაკის ტალღური ფუნქციის ყოფაქცევას მუხტური შქცევადობის ($e \rightarrow -e$), ანუ \hat{C} ოპერაციის მიმართ. ამ ოპერაციას X ნაწილა-

კის ტალღური ფუნქცია გადაჰყავს \bar{X} ანტინაწილაკის ტალღურ ფუნქციაში. y_c -კვანტურ რიცხვს ეწოდება მუხტური ლუნობა. იგი ღებულობს $y_c = -1$, ან $y_c = +1$ მნიშვნელობას.

გ. დროის ინვერსიას – \bar{T} ოპერატორი შეესაბამება ($t \rightarrow -t$). იგი ადგილს უცვლის სისტემის საბოლოო და საწყის მდგომარეობას. მისი მოქმედებით იცვლება ნაწილაკის იმპულსისა და სპინის მიმართულება. ამ ოპერაციას არ შეესაბამება ფიზიკური სიდიდე – დროითი ლუნობა. ამიტომ მის მოქმედებას არ შეესაბამება რაიმე შენახვის კანონი [99;290].

არსებობს კიდევ რამდენიმე დისკრეტული ფიზიკური სიდიდის შენახვის კანონი დაკავშირებული სიმეტრიის ოპერაციებთან აბსტრაქტულ მათემატიკურ სივრცეებში. რომელთაგან ზოგი ინახება ოთხივე ფუნდამენტალურ ურთიერთმედებაში, ზოგი ირღვევა სუსტ ურთიერთქმედებაში. ეს „მუდმივები“ ღებულებენ მთელი ან ნახევარ მთელი მნიშვნელობებს, ამიტომ მათ კვანტურ რიცხვებს უწოდებენ, ატომის ფიზიკაში არსებული კვანტური რიცხვების ანალოგიურად.

ოთხივე ფუნდამენტალური ძალის სუპერგაერთიანების თეორიის შექმნით ფიზიკოსები ცდილობენ მოძებნონ უმაღლესი, ყველაზე „ფუნდამენტალური სიმეტრიები“, რომელიც დამახასიათებელი იქნება ყველა ნაწილაკისათვის, და დაეხმარებათ მთელი სამყაროს სტრუქტურულობისა და ევოლუციურობის პრინციპის გაგებაში.

მ. ფარადეიმ და სხვა ფიზიკოსებმა დაადგინეს, რომ ელექტრული და მაგნიტური ძალები ერმანეთთან არიან დაკავშირებულინი [75;69].

XIX საუკუნის 50-იან წლებში ჯ. მაქსველმა შეიმუშავა თეორია, რომელმაც ელექტრული და მაგნიტური ველები ერთმანეთთან დააკავშირა ერთიანი განტოლებათა სისტემით. მაქსველმა ჯერ აღმოაჩინა, რომ ელექტრული და მაგნიტური ველების დამახასიათებელი წევრები განტოლებებში არა სიმეტრიულად შედიან. იმისთვის რომ განტოლებათა სისტე-

მისთვის მიეცა უფრო ლამაზი და სიმეტრიული სახე, მან შემოიტანა დამატებითი წვერი, რომელიც ითვალისწინებს ცვლადი ელექტრული ველის მიერ მაგნიტიზმის წარმოშობას. შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ასეთ ეფექტს მართლაც აქვს ადგილი. ბუნება, როგორც ეტყობა მოქმედებს მაქსველის ესთეტიკური გემოვნების მიხედვით [75;69].

მაქსველის მიერ თავის განტოლებაში მათემატიკური სიმეტრიის გააზრებით მიღებულმა დამატებითმა წვერმა მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებას მოუტანა წარმოუდგენლად დიდი შედეგი. მაქსველის განტოლებების სიმეტრიულობიდან გამომდინარე ყველა შედეგის შეფასება შესაძლებელი გახდა მხოლოდ 50 წლის შემდეგ.

ამრიგად, სიმეტრიულობა ერთი მხრივ აუცილებელია ბუნების წესრიგის, ჰარმონიულობისა და უნიკალურობისათვის. მაგრამ აგრეთვე აუცილებელია სიმეტრიის დარღვევა და ასიმეტრიულობაც მისი რესტრუქტურისა და ევოლუციურობისათვის.

აღმოსავლეთის მისტიკოსები ხშირად ხმარობდნენ სიმეტრიულ გამოსახულებებს სიმბოლოების სახით, მაგრამ მათ ფილოსოფიაში სიმეტრიის ცნება მნიშვნელოვან როლს არ ასრულებს. მათი აზრით, სიმეტრია არის ადამიანის აზროვნების ნაყოფი და არა ბუნების არსებითი თვისება. ამიტომ აღმოსავლეთის ხელოვნებაში ხშირად გამოიყენება ასიმეტრიული გამოსახულებები და გაურბიან სწორ გეომეტრიულ ფორმებს. სიმეტრიის როლი აღმოსავლეთის კულტურაში განსხვავდება სიმეტრიის როლისაგან ევროპის კულტურაში.

სივრცული ლუნობის დარღვევა. სივრცული სიმეტრია იმას ნიშნავს, რომ პროცესები ჩვენ რეალურ სამყაროში და სარკულად არეკვლილ სამყაროში მიმდინარეობს ერთნაირად. მთელი 30 წლის განმავლობაში სივრცული სიმეტრიის მკაცრი შენახვა ექვს არ იწვევდა. მაგრამ 1954-56 წლებში უცნაური K^+ მეზონების შესწავლამ უჩვენა, რომ ისინი იშლებიან ორი სახით:

$$K^+ \rightarrow f^+ + f^0 \quad (1)$$

$$K^+ \rightarrow f^+ + f^- + f^+ \quad (2)$$

დაშლის შედეგად მიღებული ($f^+ f^0$) მეზონების ერთობის ლუნობა არღმორჩნდა +1-ს ტოლი, ხოლო ($f^+ f^- f^+$) მეზონების ერთობის ლუნობა ტოლია -1-სა, რაც შეუძლებელია.

ამიტომ ფიზიკოსებმა ეჭვი შეიტანეს სარკული სიმეტრიის დარღვევაში.

ამ პარადოქსალური სიტუაციიდან 1956 წელს გამოსავალი მონახეს ჩინელმა მეცნიერებმა **ტ. ლიმ** და **ჩ. იანგმა**, რომლებმაც წამოაყენეს ჰიპოთეზა სუსტ ურთიერთქმედებაში სარკული ლუნობის დარღვევის შესახებ.

1957 წელს შესწავლილ იქნა S-დაშლის დროს მიღებული ელექტრონების კუთხური განაწილება, რომელიც ცდის მიხედვით, ასიმეტრიული აღმოჩნდა. ამ ფაქტმა დაადასტურა სივრცული ლუნობის დარღვევა სუსტ ურთიერთქმედებაში. შესაბამისად 1957 წელს ჰიპოთეზის ავტორებმა ტ. ლიმ და ჩ. იანგმა დაიმსახურეს ნობელის პრემია.

კომბინირებული ლუნობა და მისი დარღვევა. 1957 წელს ურთიერთდამოუკიდებლად ლ. ლანდაუმ, ა. სალამმა და ტ. ლიმ და დამოუკიდებლად ჩ. იანგმა ჩამოაყალიბეს სუსტი ურთიერთქმედების ინვარიანტობის პრინციპი კომბინირებული ლუნობის მიმართ. მათ სარკული არეკვლის ქვეშ, სივრცულ ინვარიანტობასთან ერთად იგულისხმეს ნანილაკის შეცვლა მისი ანტინანილაკით, ე.ი. C-ინვარიანტობაც. ანუ შემოიღეს კომბინირებული $\hat{C}\hat{P}$ ოპერატორის ცნება, რომელიც წარმოადგენს (2) გარდაქმნის: სივრცული ლუნობისა \hat{P} და მუხტური შეუღლების \hat{C} თანმიმდევრულ მოქმედებას. აღმოჩნდა, რომ ნანილაკების სისტემა ხასიათდება კომბინირებული ლუნობით: $Y_{cp} = Y_c Y_p$, რომელიც წარმოადგენს $\hat{C}\hat{P}$ - ოპერატორის საკუთარ მნიშვნელობებს.

ძლიერ და ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაში \hat{C} და \hat{P} -ლუნობა ცალკე-ცალკე ინახება და ცხადია ერთდროული მოქმედებითაც შეინახება. სუსტი ურთიერთქმედება არაინვარიანტულია \hat{P} -ს მიმართ. ამიტომ $\hat{C}\hat{P}$ კომბინირებული ლუნობის შენახვა იმას ნიშნავს, რომ სუსტ ურთიერთქმედებაში ადგილი აქვს სარკული სიმეტრიის დარღვევასაც.

აღმოჩნდა, რომ ყველა ურთიერთქმედებაში კომბინირებული ლინობა ინახება.

გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ $Y_{cp}(ff) = +1$; ხოლო $Y_{cp}(fff) = \pm 1$. ანუ კომბინირებული Y_{cp} ინახება ყველა პროცესში სუსტი ურთიერთქმედების ჩათვლით, რაც წარმოადგენს $\hat{C}\hat{P}$ კომბინირებული ლუნობის ინვარიანტობის შედეგს.

CPT თეორემა. CPT თეორემაში გარდა სივრცული \hat{P} ინვესიისა და მუხტური \hat{C} ინვერსიისა ადგილი აქვს დროის \hat{T} ინვერსიის მოქმედებასაც, რაც ნიშნავს სანყისი მდგომარეობისა და საბოლოო მდგომარეობის ურთიერთ შეცვლას.

CPT თეორემის მიხვედით ყველა პროცესი ინვარიანტულია \hat{C} , \hat{P} და \hat{T} თანმიმდევრული ინვერსიის მიმართ. ამ თეორემას ემორჩილება ყველა პროცესი.

CPT თეორემიდან გამომდინარეობს, რომ როცა პროცესი $\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტულია ის \hat{T} ინვარიანტულიცაა და პირიქით. ხოლო თუ პროცესში $\hat{C}\hat{P}$ ირღვევა, მაშინ \hat{T} -ც ირღვევა. ანუ ადგილი ექნება დროის ინვერსიის დარღვევას და წარმოიქმნება დროის ისარი.

$\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის დარღვევა.

დადგინდა, რომ ნეიტრალურ K^0 და \bar{K}^0 მეზონები იშლებიან სუსტი ურთიერთქმედებით, რომლებიც იქცევიან როგორც K^0 და \bar{K}^0 -ს სუპერპოზიცია, K_1^0 და K_2^0 -ს სახით:

$$K_1^0 = (K^0 + \bar{K}^0) / \sqrt{2} \quad \text{და} \quad K_2^0 = (K^0 - \bar{K}^0) / \sqrt{2};$$

კომბინირებული ლუნობა K_1^0 -სა $y_{cp}^{K_1^0} = +1$; ხოლო K_2^0 -სა $y_{cp}^{K_2^0} = 1$. რადგანაც $y_{cp}^{(ff)} = 1$; ხოლო $y_{cp}^{(fff)} = -1$. ამიტომ $\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის თანახმად K_1^0 იშლება მარტო $2f$ მეზონად, ხოლო K_2^0 – მარტო $3f$ მეზონად:

$$K_1^0 \rightarrow f^+ + f^- \quad (1)$$

$$K_2^0 \rightarrow f^+ + f^- + f^0 \quad (2)$$

ორნაწილაკიანი დაშლა ენერგეტიკულად გაცილებით ხელსაყრელია სამნაწილაკიან დაშლასთან შედარებით. K_1^0 მეზონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა გაცილებით მეტია K_2^0 მეზონისასთან შედარებით.

$$\tau_{2f} \cong 0,910^{-10} \text{ წ.} \quad \tau_{3f} \cong 0,910^{-8} \text{ წ.}$$

ამიტომ K_1^0 მეზონის ხანგრძლივურს, ხოლო K_2^0 -ს – ხონმოკლეურს უწოდებენ.

$\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის თანახმად აკრძალულია K_2^0 - მეზონის შემდეგი არხით დაშლა:

$$K_2^0 \rightarrow f^+ + f^- .$$

1963 წელს, სადიპლომო პრაქტიკაზე მუშაობისას, დუბნის ბირთვული გამოკვლევების გაერთიანებულ ინსტიტუტში, ჩემს სადიპლომა თემას წარმოდგენდა $K_2^0 \rightarrow f^+ + f^-$ დაშლის აკრძალვის ექსპერუმენტულად შემოწმება.

ამ მიზნით დუბნის ბირთვული გამოკვლევების გაერთიანებული ინსტიტუტის მაღალი ენერგიების ლაბორატორიის სინქროფაზატრონზე გენერირებული K^0 მეზონების ნაკადში მოთავსებული მეტრიანი ვილსონის კამერის მეშვეობით დაკვირვებულ იქნა 352 K_2^0 -მეზონის დაშლის შემთხვევა. ესპერიმენტის მიზანს შეადგენდა მათ შორის $K_2^0 \rightarrow f^+ + f^-$ დაშლის ალბათობის დადგენა.

ექსპერიმენტული მასალის დამუშავების შემდეგ აღმოჩნდა, რომ K_2^0 -მეზონის 352 დაშლაში, ცდომილების გათვალისწინებით, 3 შემთვევა შეიძლება ჩაითვალოს $K_2^0 \rightarrow f^+ + f^-$ სახის დაშლად. იმის გათვალისწინებით, რომ K_2^0 -მეზონის სამნაწილაკიანი დაშლისას, როცა ნეიტრალურ ნაწილაკს მიაქვს მცირე ენერგია, გაზომვის ცდომილების ფარგლებში, ვერ განსხვავდება ორნაწილაკიანი დაშლისაგან, მცდარი ორნაწილაკიანი დაშლების წვლილი შემოსაზღვრავს რეალური დაშლების ფარდობითი ალბათობის სიზუსტეს. ამის გათვალისწინებით დადგინდა, რომ $K_2^0 \rightarrow f^+ + f^-$ დაშლის ალბათობა $(8,3 \pm 6,3)10^{-3}$ -ზე ნაკლებია [54].

1964 წელს ჯ. კრონინს, ვ. ფიტჩის, ჯ. კრიტენსონისა და რ. ტურლეს მიერ ჩატარებულ იქნა ანალოგიური ექსპერიმენტი ერთი რიგით მაღალ სტატისტიკაზე ნაპერწკლოვანი კამერის გამოყენებით. დადგენილ იქნა, რომ $K_2^0 \rightarrow f^+ + f^-$ დაშლას ადგილი აქვს $(2 \pm 0,4)10^{-3}$ ალბათობით, რაც იმას ნიშნავს, რომ K_2^0 - მეზონების 0,2% იშლება კომბინირებული ლუნობის დარღვევით [99;298].

$\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის დარღვევა ნიშნავს განსხვავებას ნაწილაკსა და ანტინაწილაკს შორის; აგრეთვე განსხვავებას მარჯვენასა და მარცხენას შორის. $\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის დარღვევა ნიშნავს აგრეთვე \hat{T} ინვარიანტობის დარღვევას. რაც ინვევს ცალმხრივად მიმათული დროის, ანუ დროის ისრის წარმოქმნას. ამრიგად აღმოჩნდა, რომ დროის ისარი არსებობს არა მარტო მაკროპროცესებში, არამედ მიკროპროცესებშიც.

კომბინირებული ლუნობის დარღვევის ეფექტის ახსნის კლასიკური შედეგი 1973 წელს მიღებულ იქნა მ. კობაშირსა და კ. მასკავას მიერ. მათ უჩვენეს, რომ კვარკული მოდელის მიხედვით $\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის დარღვევა შეიძლება ბუნებრივად აღინეროს იმ შემთხვევაში თუ კვარკების სხვადასხვა

სახის (დონის) რაოდენობა 3-ს ტოლია. ამ შედეგით დამაჯერებლად იხსნება ის ფაქტი, რომ ჩვენი სამყარო შედგება ნივთიერებისაგან და არა ანტინივთიერებისაგან, ანუ მისი ბარიონული ასიმეტრია. მტკიცდება, რომ ბარიონულად ასიმეტრიული სამყაროს მისაღებად სამყაროს წარმოშობის სანყის სტადიაში აუცილებელი იყო $\hat{C}\hat{P}$ ინვარიანტობის დარღვევა. (ამ საკითხს ჩვენ დავუბრუნდებით მატერიის უპირატესი წარმოშობის შესაძლებლობის ახსნისას სამყაროს წარმოშობის სანყის მომენტში.) რაც თავის მხრივ მოითხოვს კვარკების 3-საფეხურიანობის არსებობს. ეს ფაქტი ფარდას ხსნის იმ გაუგებრობას, თუ რაში დასჭირდა სამყაროს შემოქმედს მეორე და მესამე დონის კვარკ-ლეპტონების შქმნა – ნივთიერი სამყარო ხომ მარტო პირველი დონის კვარკ-ლეპტონებისაგანაა აგებული.

მიკროსამყაროს ფიზიკაში შენახვის კანონები ემსახურება ნაწილაკების მახასიათებლების დადგენას, მათ კლასიფიკაციასა და სხვადასხვა მოვლენების წინასწარმეტყველებას.

2. ახალი სიმეტრიები

მეოცე საუკუნის დასაწყისში ფრანგი ფიზიკოსის **ანრი პუანკარესა** (1854-1912) და ნიდერლანდელი ფიზიკოსის **ჰენდრიკ ლორენცის** (1853-1928) მიერ შესწავლილ იქნა მაქსველის განტოლებების მათემატიკური სტრუქტურა. მათ აღმოაჩინეს, რომ მაქსველის განტოლებებს ახასიათებთ ფაქიზი სიმეტრია სივრცე-დროში. ლორენც-პუანკარეს სიმეტრია არის თავისებური ბრუნვა 4-განზომილებიან სივრცე-დროში. ასეთი ბრუნვის შედეგად სივრცული ინტერვალის ნაწილი აირეკლება დროზე და პირიქით [89;70].

საჭირო შეიქმნა აინშტაინის გენია, რომ სავსებით გასაგები გამხდარიყო ასეთი სიმეტრიის ყველა შედეგი. აღმოჩნდა, რომ სივრცე და დრო ერთიმეორის დამოუკიდებლად კი არ არსებობენ, არამედ უწყვეტად არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული. არსებობს ღრმა ურთიერთ კავშირი ელექტრო-

მაგნიტური ტალღების გავრცელებასა და სივრცე-დროის სტრუქტურას შორის. როცა დამკვირვებელი მოძრაობს სინათლის სიჩქარესთან ახლო სიჩქარით, სივრცე და დრო ძლიერ იცვლებიან, თანაც სიმეტრიულად, და ეს აისახება ლორენცისა და პუანკარეს მიერ მიღებულ მათემატიკურ თანაფარდობებში [75;71].

ლორენცისა და პუანკარეს შრომებით მოტანილი გაკვეთილი იმაში მდგომარეობს, რომ სიმეტრიების ანალიზის საფუძველზე გაკეთებული მათემატიკური გამოკვლევები ფიზიკაში შეიძლება გახდეს უდიდესი მიღწევების წყარო და უჩვენონ გზა ბუნების ახალი ფუნდამენტული პრინციპების გამოსავლენად. ბუნების ასეთი ფაქიზი სიმეტრიის მიგნება დაედო საფუძვლად აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალურ თეორიის შექმნას, რომელმაც შეარყია მეოცე საუკუნის მეცნიერული სამყარო. ამიტომ მეცნიერებაში ახალი სიმეტრიების ძიება იქცა ძირითად დამხმარე საშუალებად, რომელიც ამჟამიდელ ფიზიკოსებს დაეხმარა მიკროსამყაროს შესწავლის საქმეში [75;71].

უფრო აბსტრაქტული სიმეტრიები.

აქამდე ძირითადად საქმე გვქონდა სივრცის ან სივრცე-დროის სიმეტრიებთან. სიმეტრიის ცნება შეიძლება გაფართოვდეს აბსტრაქტული ცნებების შემოტანითა და მათი განხილვით.

როგორც აღვნიშნეთ არსებობს მჭიდრო კავშირი სიმეტრიებსა და შენახვის კანონებს შორის. ასეთი კავშირის არსებობა პარადოქსალურად გვეჩვენება. ისმის კითხვა: რა კავშირი უნდა ჰქონდეს ძალას სიმეტრიასთან?

ძალა ისეთი რაობაა, რამაც შეიძლება შეცვალოს ნაწილაკის მდგომარეობა, ან იმოქმედოს ნივთიერებაზე. სიმეტრია კი – ცნებაა, რომელიც დაკავშირებულია ფორმის ჰარმონიასთან, ან თანაზომადობასთან. ჩვეულებრივ ითვლება, რომ სხეული ფლობს სიმეტრიას თუ ის რჩება უცვლელი, მასზე ამა თუ იმ სახით ჩატარებული ოპერაციის შემდეგ. ამჟამად

ეჭვი უკვე არავის ეპარება, რომ ყოველი ურთიერთქმედების გაგების გასაღებს სწორედ სიმეტრია წარმოადგენს. მეცნიერები დარწმუნდნენ, რომ ყოველი ურთიერთქმედება ხელს უწყობს გარკვეული სიმეტრიების ერთობლობის არსებობას [75;123].

ცნობილია, რომ ერთ-ერთ ყველაზე მკაცრ კანონს ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი წარმოადგენს. არსებობს ორგვარი – დადებითი და უარყოფითი მუხტები. თუ სადმე წარმოიქმნა დადებითი მუხტი, აუცილებლად მასთან ერთად წარმოიქმნება სიდიდით მისი ტოლი უარყოფითი მუხტიც, ისე რომ მუხტების ჯამი მუდმივი რჩება. ისმის კითხვა: რა სახის სიმეტრია შეესაბამება ელექტრული მუხტის შენახვას?

ყალიბური სიმეტრიები. სიმეტრიები, რომელებზეც დაფუძნებულია ფუნდამენტული ურთიერთქმედების გაგება, წარმოადგენენ ყალიბურ სიმეტრიებს, რომებიც დაკავშირებულნი არიან ყალიბრობობის იდეასთან ფიზიკური სიდიდის მასშტაბის ათვლის დონის ცვლილების გზით [89;124].

მოვიყვანოთ ყალიბური სიმეტრიის ერთ-ერთი მაგალითი. წარმოვიდგინოთ, რომ ვართ კოსმოსურ ხომალდში, რომელიც თანაბრად და სწორხაზივნად მოძრაობს სამყაროს სივრცეში შორს კომოსური სხეულებისაგან. ამ დროს ადამანი არ განიცდის არავითარი ძალის მოქმედებას და არც მოძრაობას. ის იმყოფება სრული უწონადობის მდგომარეობაში. წარმოვიდგინოთ ეხლა რომ იგივე ხომალდი მოძრაობს თავდაპირველი ტრაექტორიიდან 1 კმ-ით დაშორებულ მის პარალელურ ტრაექტორიაზე. ასეთი ყალიბური გარდაქმნის შედეგად ხომალდის მგზავრი ვერ იგრძნობს რაიმე ცვლილებას. მის გარშემო არსებული ფიზიკური სხეულებისთვის აბსოლუტურად სულერთია, თუ რომელი ტრაექტორიის გასწვრივ იმოძრაავს ხომალდი. ცხადია, რომ ამ მაგალითში მულავნდება გარკვეული სიმეტრია, რომელიც შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოყალიბდეს: ფიზიკის კანონები ინვარიანტულია ტრაექტორიის გარკვეული მანძილით წანაცვლებისას, ანუ მანძილით ყალიბრობისას. ასეთ ყალიბურ გარდაქმნას ფიზიკოსები გლობარულ ყალიბურ

გარდაქმნას უწოდებენ, რადგანაც ასეთი გარდაქმნა ერთნაირია ტრაექტორიის ყოველ წერტილში [75;124].

მაგრამ იმ შემთხვევაშიც როცა კოსმოსური ხომალდი ასრულებს წრიულ მოძრაობს დედამიწის გრავიტაციულ ველში, კოსმონავტი ისევ იმყოფება სრული უწონობის მდგომარეობაში, თითქოს ის იმყოფება თანაბრად მოძრავ ხომალდში. ეს იმას ნიშნავს, რომ პლანეტის გრავიტაცია ზუსტად აკომპენსირებს ხომალდის ტრაექტორიის სიმრუდით გამოწვეულ ეფექტებს. ანალოგიურ კომპენსირებას აქვს ადგილი გრავიტაციულ ველში ხომალდის უფრო რთული ტრაექტორიით მოძრაობის შემთხვევაშიც [75;125].

ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს შემდეგი: ფიზიკის კანონები შეიძლება გავხადოთ ინვარიანტული ლოკალური ყალიბრული გარდაქმნების მიმართაც, თუ შემოვიტანთ ცვლილების მაკომპენსირებელ გრავიტაციულ ველს წერტილიდან წერტილში გადასვლისას.

აღმოჩნდა, რომ გრავიტაციული ველის არსებობის შემთხვევაში, ტრაექტორიის ნებისმიერი ფორმის შესაბამისად, შესაძლებელია მისი (ველის) ისეთი გარდაქმნა, რომ არ დაირღვეს ფიზიკის კანონები. რაც იმას ნიშნავს, რომ გრავიტაციული ველი წარმოადგენს იმ აბსტრაქტული ყალიბური სიმეტრიების გამოვლინებას, რომლებიც საფუძვლად უდევს რეალური სამყაროს კანონზომიერებებს [75;126].

მოტანილი მაგალითი არის ისეთი სიმეტრიების ილუსტრაცია, რომელსაც ფიზიკოსები ყალიბურ სიმეტრიებს უწოდებენ. ეს სიმეტრიები შეიცავენ „ყალიბრობას“, ანუ მასშტაბის ცვლილებას. ყალიბური სიმეტრიები აბსტრაქტულია იმ თვალსაზრისით, რომ ისინი თავისი ბუნებით არაგეომეტრიულია. ჩვენ მათ ვერ შევხედავთ, ვერ დავინახავთ და ვერ შევიგრძნობთ, მაგრამ ისინი სისტემის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენენ.

ყალიბური სიმეტრია ელექტრული ველისათვის.

განვიხილოთ ყალიბური სიმეტრია შედარებით დაწვრილებით ელექტრული ველისათვის.

ელექტრული მუხტი გადაადგილდება რა ველის ერთი ნერტილიდან მეორეში, მასზე დახარჯული ენერგია დამოკიდებულია მხოლოდ სანყის და საბოლოო ნერტილების პოტენციალთა სხაობაზე, და არა თვით პოტენციალის სიდიდეზე. თუ სისტემაში სივრცის მივანიჭეთ დამატებითი მუდმივი ძაბვა, ამით მუხტის იმავე ნერტილებს შორის გადაადგილებაზე დახარჯული ენერგია არ შეიცვლება. ანუ, მუხტის გადაადგილებაზე დახარჯული ენერგია სიმეტრიულია ელექტრული ველის პოტენციალის მიმართ. (ეს არის მაქსველის განტოლების დამატებითი ფარული სიმეტრია ელექტრული ველისათვის). რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ელექტრული ველი ყალიბური სიმეტრიისაა.

როგორც ცნობილია, თავისუფალი ელექტრონი აღინერება პოლ დირაკის რელატივისტური განტოლებით, რომელსაც ბუნებრივ ერთეულებში ($c=1$ და $\hbar=1$) შემდეგი სახე აქვს:

$$\{i\gamma_n \frac{\partial \mathbb{E}(x)}{\partial x_n} - m\mathbb{E}(x)\} = 0;$$

სადაც დირაკის 4-კომპონენტიანი მატრიცებია, m ელექტრონის მასაა, ხოლო $n=1,2,3,4$.

ეს განტოლება ინვარიანტულია შემდეგი სახის გლობალური ყალიბური გარდაქმნის მიმართ:

$$\mathbb{E}(x) = e^{-iq\alpha} \mathbb{E}'(x)$$

სადაც α ნამდვილი რიცხვია, ხოლო q პარამეტრი ელექტრული მუხტის იდენტიურია. ამ გარდაქმნას გლობალური იმიტომ ეწოდება, რომ სივცე-დროის ნებისმიერ ნერტილში ტალღური ფუნქციის მნიშვნელობა ექვემდებარება ერთსა და იმავე ცვლილებას. მაშასადამე, აღმოჩნდა, რომ ელექტრული მუხტის შენახვა არის ელექტრული ველის გლობალური ყალიბური ინვარიანტობის შედეგი.

თუ დაუშვებთ, რომ α დამოკიდებულია სივრცის x კოორდინატზე, მაშინ მივიღებთ შემდეგი სახის გარდაქმნას:

$$E(x) = e^{-qa(x)} E'(x)$$

რომელსაც ლოკალური ყალიბური გარდაქმნა ეწოდება, რადგანაც ტალღური ფუნქციის ცვლილება დამოკიდებულია სივრცული კოორდინატის მნიშვნელობაზე.

ამის გათვალისწინებით დირაკის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს.

$$\{i\epsilon_n \frac{\partial E'(x)}{\partial x_n} - mE'(x)\} + q\epsilon_n \frac{\partial a(x)}{\partial x_n} E'(x) = 0$$

რომელიც განსხვავდება საწყისი განტოლებისაგან დამატებითი წევრით.

ამ შემთხვევაში, იმისათვის, რომ დაცული იქნეს ლოკალური ყალიბური ინვარიანტობა, თურმე საჭიროა საწყის განტოლებას დაემატოს 4-ვექტორული $A_n(x)$ ფუნქცია. მაშინ დირაკის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$i\epsilon_n \left\{ \frac{\partial}{\partial x_n} - iqA_n(x) \right\} E(x) - mE(x) = 0,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ ლოკალური ყალიბური ინვარიანტობის მოთხოვნას მივყავართ ვექტორული $A_n(x)$ ფუნქციის შემოყვანამდე. $A_n(x)$ -ებს ეწოდებათ ყალიბური ველის ცვლადები. აღმოჩნდა, რომ ისინი ელექტრომანიტური ველის იდენტიურნი არიან.

ხოლო კვანტური თეორიით $A_n(x)$ ასახავს ნაწილაკს ნულოვანი მასითა და 1-ს ტოლი სპინით, ანუ ფოტონს [99;342].

თანდათან ფუნდამენტულ ფიზიკაში მომუშავე ფიზიკოსების გონება მოიცვა აბსტრაქტული „სიმეტრიების ციებ-ცხელებამ“.

ყალიბური აბსტრაქტული სიმეტრიების კონცეფციის მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი მეშვეობით შეიძლება

შეიქმნას არა მარტო ელექტრომაგნიტური, არამედ ბუნებაში არსებული ოთხივე ფუნდამენტული ურთიერთქმედება [75;126].

აღმოჩნდა, რომ ყველა ურთიერთქმედება შეიძლება განხილულ იქნენ როგორც ყალიბური ველი. უაღრესად საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ელექტრომაგნიტიზმის შესახებ აბსოლუტურად უცოდინარი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი, დარწმუნებული იმაში, რომ ბუნების ძირითად საფუძველს სიმეტრიები წარმოადგენენ, მარტივ ლოკალურ ყალიბურ სიმტრიებზე დაყრდნობითა და ლორენც-პუანკარეს სიმეტრიების გათვალისწინებით, მათემატიკის გამოყენებით, შეძლებდა მაქსველის განტოლებების გამოყვანას, ყოველგვარი ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენების გარეშე.

სიძნელები, რომლებიც წარმოიშვნენ დანარჩენი 3 ურთიერთქმედების კვანტური აღწერისას, გამონვეულნი იყვნენ იმის გამო, რომ ვერ მოიძებნა მათში ჩამალული სიმეტრიების სრული ერთობა.

XX საუკუნის 60-იან წლებში ფიზიკოსების მიერ გადაიდგა უმნიშვნელოვანესი ნაბიჯი, რომელმაც გამოიწვია გიგანტური ნახტომი ფუნდამენტული ძალების გაერთიანების თვალსაზრისით [75;127].

3. სიმეტრიის დარღვევა

გაირკვა, რომ ადგილი არ ექნებოდა კოსმოსური სამყაროს წარმოქმნას, რესტრუქტურისზაციასა და ევოლუციურობას თუ მასში ადგილი არ ექნებოდა სიმეტრიულობის დარღვევას:

!. აღმოჩნდა, რომ დრო ერთგვაროვანი კა არაა, დაკვანტულია პლანკისეული ზომის პორციებად. რაც 11-განზომილებიან სამყაროში 10-განზომილებიანი, პლანკისეული ზომის ბუშტულაკის წარმოების შესაძლებლობას იძლევა. სწორედ ასეთი ბუშტულაკის სახით წარმოიქმნა ჩვენი პროტოსამყარო 14 მილიარდი წლის წინ.

2. მიუხედავად იმისა, რომ მიკროპროცესები ხასიათდებიან T-ინვარიანტობით, ჩვენი პროტოსამყაროსათვის საწყის მომენტში იგი დაირღვა, რამაც გამოიწვია პროტოსამყაროს ინფლა-

ცირი გაფართოვება და შესაბამისად წარმოიქმნა სამყაროს დროის ევოლუციური განვითარების ისარი.

3. ინფლაციური გაფართოების სტადიის ბოლოს, ჩვენი სამყარო დაიშალა კვარკ-ანტიკვარკებად და ლეპტონ-ანტილეპტონებად. რადგანაც, არსებობს კომბინირებული სიმეტრია ნაწილაკებსა და ანტინაწილაკებს შორის ისინი იბადებიან თანაბარი რაოდენობით და ანიგილაციის შემდეგ გარდაიქმნებიან ფოტონებად. კვარკებისა და ანტიკვარკების ნაწილი სუსტი ურთიერთქმედებით იშლებიან ლეპტონებად და ანტილეპტონებად. ის ფაქტი, რომ ჩვენი სამყარო ბარიონულია (სამყროა) და არა ანტიბარიონული (ანტისამყარო) აიხსნება, იმით რომ კვარკების დაშლისას ადგილი ჰქონდა კომბინირებული სიმეტრიის უმნიშვნელო დარღვევას. რის გამოც ანტიკვარკები ცოტა უფრო სწრაფად იშლება კვარკებთან შედარებით და ყოველ 10^9 კვარკ-ანტიკვარკის წყვილიდან, ერთი კვარკი დაშლას გადაურჩა და წარმოქმნა კვარკების ნამეტი. სწორედ ამ გადარჩენილი კვარკებისაგან შემდეგში, ტემპერატურის დაცემის კვალობაზე, წარმოიქმნა ბარიონები ნეიტრონებისა და პროტონების სახით, რამაც გამოიწვია ბარიონული ასიმეტრია. ამ ბარიონებისაგან შემდეგ წარმოიქმნა ჩვენი სამყარაროს ნივთიერი ნაწილი.

თუ არა კომბინირებული ლუნობის ეს უმნიშვნელო დარღვევა, ჩვენი სამყაროს წარმოშობას ადგილი არ ექნებოდა.

4. სიმეტრიის დარღვევად შეიძლება ჩაითვალოს შემდეგი ფაქტიც.

ცნობილია, რომ ფერმიონების, მათ შორის ელექტრონების ურთიერთქმედების ტალღური ფუნქცია ანტისიმეტრიულია, რაც იმას მიჰნავს, რომ ატომში არ შეიძლება არსებობდეს 2 ელექტრონი ერთმანეთის ტოლი კვანტური რიცხვებით. ეს ფაქტი ცნობილია პაულის პრინციპის სახელწოდებით, რომლის გამოისობით ატომის ელექტრონული გარსი განიცდის სტრუქტურიზაციას. ელექტრონების ქცევის განმსაზღვრელი ტალღური ფუნქციის ანტისიმეტრიულობამ განაპირობა ქიმიური ელემენტების ისეთი თვისობრიობა, რომელიც ესოდენ აუცილებელია ცოცხალი ბუნების წარმოსაქმნელად.

ამ ბოლო წლებში, ბუნების კანონების განხილვისას, წარმოიშვა ახალი მიდგომა სიმეტრიებისამი.

სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა.

ლოკალური ყალიბრული სიმეტრიის მიხედვით სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანებს წარმოადგენენ W^\pm და Z^0 ვექტორული ბოზონები, რომელთა არსებობა ექსპერიმენტულად დადასტურდა. მაგრამ მიუხედავად ამისა, სუსტი ურთიერთქმედების ყალიბური ველის მეშვეობით აღწერის აღიარება დიდ წინააღმდეგობას წააწყდა. საქმე იმაშია, რომ ყალიბური ველები თავისი ბუნებით შორსქმედია, ამიტომ მისი გადამტანების მასა, ფოტონების მსგავსად, ნულის ტოლი უნდა იყოს. სინამდვილეში სუსტ ურთიერთქმედებას ადგილი აქვს მხოლოდ ძალიან მცირე მანძილებზე და სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანებს გააჩნია ძალიან დიდი მასა. ამ შემთხვევაში კი ყალიბური ინვარიანტობა ირღვევა. როგორ შეიძლება შეთავსდეს ყალიბური სიმეტრია და მისი არანულოვანი მასის მქონე გადამტანების არსებობა.

ამ თავსატეხი ამოცანის ამოხსნა 1967 წელს მოიძებნა ვაინბერგისა და სალამის მიერ. მას საფუძვლად დაედო გონებათმანხვილური იდეა, რომელიც სახელდებულ იქნა სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის სახელწოდებით.

ეს მოხდა შემდეგნაირად.

ამ საკითხის გასაგებად, წარმოვიდგინოთ გლუვი ზედაპირი მექსიკური სამბრეროს (ქუდის) ფორმით ჰორიზონტალურ მდგომატებაში. დავუშვათ სამბრეროს წვერზე მოთავსებულია ბურთულა. ცხადია ასეთ სისტემაზე მოქმედი სიმძიმის ძალა წრიული სიმეტრიისაა, მაგრამ ის ხასიათდება არამდგადობით. მცირე წანაცვლების შემთხვევაში ბურთულა დაგორდება და სისტემის სიმეტრია დაირღვევა, სამაგიეროდ სისტემა აღმოჩნდება მდგრად მდგომარეობაში. შესაბამისად სისტემის მდგრადობა მიღწეული იქნება სიმეტრიის დარღვევის ფასად. ამ შემთხვევაში ამბობენ, რომ ადგილი აქვს სისტემის სიმეტრიის სპონტანურ (თავისთავად) დარღვევას.

სისტემაზე მოქმედი ძალების თვალსაზრისით სიმეტრია არ დარღვეულა, მაგრამ სისტემის მდგომარეობა არ შეესაბამება მასზე მოქმედი ძალების სიმეტრიას [75;132].

ველის კვანტურ თეორიაში უწყვეტი სიმეტრიის სპონტანური დარღვევით წარმოიქმნებიან უმასო ნაწილაკები, გოლდსტონის ბოზონების სახეობებით [99;348].

ლოკალური ყალიბრული ინვარიანტობის დარღვევის მიხედვითი იზადებიან უმასო ვექტორული ბოზონები, რაც ეწინააღმდეგება ექსპერიმენტულ მონაცემებს. ამის გამო ლოკალური ყალიბრული ინვარიანტობისა და სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის თეორიები კარგა ხანს არ იყვნენ აღიარებულნი.

მაგრამ 1964 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა პ. ჰიგსმა (p.Higgs) აღმოაჩინა საკვირელი მოვლენა. აღმოჩნდა, რომ ყალიბრული სიმეტრიის სპონტანური დარღვევით წამოქმნილი გოლდსტონის ბოზონები ლოკალური ყალიბრული სიმეტრიის ვექტორულ ბოზონებთან ურთიერთმოქმედებისას, მათ მასებს ანიჭებენ, ხოლო თვითონ ქრებიან.

ამრიგად, ჰიგსის მექანიზმით, შესაძლებელი ხდება თავი დავიხსნათ არასასურველი ნულოვანი მასის მქონე ნაწილაკებისაგან. ჰიგსის მექანიზმის აღმოჩენამ გზა გაუხსნა ლოკალური ყალიბრული ინვარიანტობის და სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის კონცეციების ფართოდ გამოყენებას. სწორედ ისინი წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედებების გამაერთიანებელი თეორიის ბაზას [99;349].

თავი 7. სპინი და მასთან დაკავშირებული საკითხები

1. სპინის შესახებ

სპინი წარმოადგენს ელემენტარული ნაწილაკების დამახასიათებელ სპეციფიკურ სიდიდეს, რომელსაც იმპულსის მომენტის განზომილება გააჩნია. როგორც განზომილების მქონე სიდიდე იგი განსაზღვრავს დინამიკის – ურთიერთმოქმედების ფორმას. სპინის საზომ ერთეულად მიღებულია \hbar . ნახევარი სპინის ($\hbar/2$) მქონე ნაწილაკები მონაწილეობენ ე.წ. სუსტ

ურთიერთქმედებაში, რითაც განპირობებულია ელემენტარული ნაწილაკების ურთირთვარდაქმნები.

გარდა ამისა ასეთი ნაწილაკები ერთმანეთთან ურთიერთ-ქმედებისას ემორჩილებიან ე. წ. პაულის პრინციპს, რომელიც განსაზღვრავს სისტემის სტრუქტურას. ე.ი. სპინი განსაზღვრავს არა მარტო დინამიკის – ურთიერთქმედების ფორმას, არამედ მრავლნაწილაკიანი მდგრადი მატერიალური სისტემების (ატომების და მოლეკულების) სტრუქტურებსაც. სტრუქტურას – ფორმას კი გარკვეული წყობითი ინფორმაცია შეესაბამება. ე.ი. სპინი განსაზღვრავს ინფორმაციულ ურთი-რთქმედებასაც.

1925 წელს ჰოლანდიელმა ფიზიკოსებმა დ. ულენბეკმა და ს. გაუდსმიტმა აღმოაჩინეს, რომ ელექტრონებს ახასიათებთ რაღაც სპეციფიკური მაგნიტური თვისებები. ამ ეფექტის გამოკვლევით მათ დაადგინეს, რომ ასეთი მაგნიტური მომენტი შეიძლება გამოიწვიოს ელექტრონის ბრუნვითმა მოძრაობამ, რომელსაც სპინი უწოდეს. მათ განაცხადეს, რომ ელექტრონს, კლასიკური ფიზიკით აკრძავის მიუხედავად, შეუძლია ბრუნვა თავის ღერძის გარშემო. ისმის კითხვა: მართლა ბრუნავს თუ არა ელექტრონი თავის ღერძის გარშემო? კიცი, და არაც. ავტორების მიხედვით სპინი წარმოადგენს კვანტო-მექანიკურ ცნებას, რომელიც გარკვეული აზრით გვაგონებს თავისი ღერძის გარშემო მბრუნავ ობიექტს, მაგრამ ის, სინამდვილეში, წარმოადგენს კვანტურ მოვლენას. სპინი სინამდვილეში წარმოადგენს მიკროსამყაროს ერთ-ერთ ისეთ თვისებას, რომელსაც არ გააჩნია ანალოგი კლასიკურ ფიზიკაში, და წარმოადგენს ექსპერიმენტულად დადგენილ კვანტურ განსაკუთრებულობას, რომელიც ამ მხრივ ჰგავს ნაწილაკის მასას და ელექტრულ მუხტს. ელექტრონი, სპინის გარეშე, არ იქნება ელექტრონი. შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ნივთიერების შემადგენელი ყველა ატომი-ნაწილაკის სპინი $\frac{1}{2}$ -ს ტოლია. სიდიდე $\frac{1}{2}$ წარმოადგენს ნაწილაკის ბრუნვის სიჩქარის კვანტურ-მექანიკურ ზომას. ფიზიკოსებმა დაადგინეს, რომ არაგრაფიტაციული ურთიერთქმედებების გადამტანების სპინი 1-ის ტოლია. ხოლო

გრაფიტაციული ურთიერთქმედის გადამტანი გრაფიტონისა – 2-ს ტოლი [73;119].

აღმოჩნდა, რომ თითქმის ყველა სუბატომური ნაწილაკი ფლობს ე. წ. სპინს, რაც წარმოადგენს თავისებური შინაგანი ბრუნვითი მოძრაობის მომენტს. ცხადია, რომ სპინს გააჩნია გარკვეული მიმართულება. ნაწილაკის სპინის მიმართულება, როგორც წესი, იზომება მაგნიტური ველის ან ელექტრული ველის ორიენტაციის მიმართ.

ექსპერიმენტის ჩატარებისას აღმოჩნდა, რომ სპინის მიმართულება ყოველთვის თანხვედრა ველის მიმართულებას. ანუ, თუ ექსპერიმენტატორმა მოინადინა კუთხის გაზომვა ველის მიმართულებასა და სპინის მიმართულებას შორის, მას არაფერი გამოუვა. ექსპერიმენტატორი ჭკუიდან იშლება: ნაწილაკი თითქოს კითხულობს მის აზრს, რადგანაც იგი ყოველთვის ირჩევს იმ მიმართულებას, რომელსაც მეცნიერი ირჩევს ათვლისათვის [75;39].

სპინის მქონე ნაწილაკის ასეთი ქცევით გაკვირვებული ექსპერიმენტატორი ცდილობს მიმართოს ეშმაკობას – ირჩევს 2 სხვადასხვა, **A** და **B** მიმართულებას და ზომავს კუთხეს სპინის მიმართულებასა და მათ შორის. ექსპერიმენტატორის აზრით, რადგანაც სპინი არ შეიძლება ორიენტირებული იყოს ერთდროულად 2 სხვადასხვა მიმართულებით, ამიტომ იგი ერთ-ერთ მიმართულებასთან აუცილებლად შექმნის გარკვეულ კუთხეს. აქედან გამომდინარე ის ატარებს პირველ ექსპერიმენტს და რწმუნდება, რომ სპინი ორიენტირებულია **A** მიმართულებით. მაშინვე, თვლის რა რომ სპინი ვერ მოასწრებს მიმართულების შეცვლას, იგი ატარებს მეორე ექსპერიმენტს. **B**-ს მიმართულება მან ისე შეარჩია, რომ **A**-ს მიმართულებასთან ადგენს 25° -იან კუთხეს. ექსპერიმენტატორი, დარწმუნებულია სპინი **B**-ს მიმართულებასთან შეადგენს 25° -იან კუთხეს. მაგრამ მან აღმოაჩინა, რომ ბუნებამ გადაუეშმაკა მას: ნაწილაკმა რალაცნაირად წინ უსწრო მას, და თავისი სპინი მიაბრუნა **B** ღეძის მიმართულებით! გაოგნებული ექსპერი-

მენტატორი ისევ ცდილობს კუთხის გაზომვას, ეხლა უკვე A-ს მიმართულებასა და სპინს შორის, მაგრამ უშედეგოდ! რადგან ნაწილაკის სპინი, როგორც ადრე, ისევ აღმოჩნდა A-ს გასწვრივ მიმართული!

სპინი გვიჩვენებს თუ როგორ გამოიყურება ნაწილაკი სხვადასხვა მხრიდან. ნაწილაკი სპინით 0 ჰგავს წერტილს: იგი ერთნაირად გამოიყურება ყველა მხრიდან. მეორე მხრივ, ნაწილაკი სპინით 1 ისრის მსგავსია: იგი განსხვავებულია სხვადასხვა მიმართულებიდან შეხვედისას. ასეთი ნაწილაკი თავის თავს უბრუნდება მხოლოდ 360° -ით სრული შემობრუნებისას. ნაწილაკი სპინით 2 ჰგავს ორწვერიან ისარს. იგი ისეთნაირადვე გამოიყურება თუ მას შევატრიალებთ 180° -ით. ნაწილაკები, რომლებიც თავის თავს უბრუნდებიან 2 სრული ბრუნვით შემოტრიალებისას, ნახევარ სპინინან ($1/2$) ნაწილაკებს უწოდებენ [61;73].

სამყაროში ცნობილი ყველა ნაწილაკი შეიძლება გაიყოს 2 ჯგუფად: ნაწილაკები სპინით $1/2$, რომლებიც ქმნიან მატერიას, და ნაწილაკები სპინით 0, 1 და 2 რომლებიც განაპირობებენ მატერიის ნაწილაკებს შორის მოქმედ ძალებს. ნახევარსპინიანი, ანუ მატერიის ნაწილაკები ემორჩილებიან ე.წ. პაულის გამორიცხვის პრინციპს, რომელიც 1925 წელს იყო აღმოჩენილი ავსტრიელი ფიზიკოსის **ვოლფგანგ პაულის** (1900-1958) მიერ. მან 1945 წელს მიიღო ნობელის პრემია. პაულის გამორიცხვის პრინციპის თანახმად, ორ ერთნაირ ნაწილაკს არ შეუძლია ყოფნა ერთსა და იმავე მდგომარეობაში. სამყარო პაულის პრინციპის გარეშე რომ შექმნილიყო კვარკები ვერ შექმნიდნენ კარგად განსხვავებულ პროტონებსა და ნეიტრონებს. თავის მხრივ ისინიც ელექტრონებთან ერთად ვერ შექმნიდნენ კარგად განსაზღვრული თვისებების მქონე ატომებს. ისინი ყველა კოლაფსირდებოდნენ და შექმნიდნენ ერთგვაროვან მკვრივ დაახლოვებით „საპონის“ მსგავს რაობას [61;74].

ელექტრონებისა და სხვა ნახევარსპინიანი ნაწილაკების ბუნების გაგება მოხერხდა დირაკის თეორიის მეშვეობით (1928 წ.), რომელიც თავსებადია როგორც კვანტურ თეორიასთან,

ასევე ფარდობითობის სპეციალურ თეორიასთან. იგი ხსნის თუ რატომ აქვს ელექტრონს $\frac{1}{2}$ -ის ტოლი სპინი. თეორიამ აგრეთვე იწინასწარმეტყველა, რომ ელექტრონს ჰყავს მენწყვილე ანტიელექტრონის – **პოზიტრონის** სახით. 1932 წელს პოზიტრონის აღმოჩენამ დაამტკიცა დირაკის თეორიის სისწორე და 1933 წელს დირაკს მიანიჭეს ნობელის პრემია [61;74].

კვანტურ მექანიკაში მატერიის ნაწილაკებს შორის ყველა ურთიერთქმედება ხორციელდება მთელი სპინის მქონე (0, 1, 2) ნაწილაკებით. ეს ასე ხდება: მატერიის ნაწილაკი, მაგალითად კვარკი, გამოასხივებს ძალის გადამტან ნაწილაკს. გამოსხივების უკუცემა ცვლის გამომსხივებელი ნაწილაკის სიჩქარეს. ძალასთან დაკავშირებული ნაწილაკი ეჯახება მატერიის მეორე ნაწილაკს და შთაინთქმება მის მიერ. ეს დაჯახება ცვლის მეორე ნაწილაკის სიჩქარეს ისე, თითქოს ადგილი ჰქონოდა ძალის მოქმედებას 2 მატერიალურ ნაწილაკს შორის.

0, 1 და 2 სპინის მქონე ნაწილაკები ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკებია, რომლებიც არ ემორჩილებიან პაულის გამორიცხვის პრინციპს. რაც იმას ნიშნავს, რომ არ არსებობს შეზღუდვა გაცვლითი ნაწილაკების რაოდენობაზე და მათ შეუძლიათ ძალიან გაზარდონ ინტენსივობა და ურთიერთქმედების ძალა. ძალებს, რომლებიც ხორციელდება ნულის ტოლი მასის გადამტანებით, შორსქმედი ეწოდებათ, ხოლო ნულისგან განსხვავებული მასის მქონე გადამტანების შემთხვევაში – ახლოქმედი.

ნაწილაკებს უწოდებენ „რეალურს“, თუ ისინი დაიკვირვებიან ნაწილაკების დეტექტორების მეშვეობით. „ვირტუალური“ ნაწილაკები ისეთი ნაწილაკებია, რომელთა დაკვირვება შეუძლებელია დეტექტორების საშუალებით. თუმცა ჩვენ ვიცით, რომ ისინი არსებობენ, რადგანაც მათ ქმნიან გაზომვად ეფექტებს [61;75].

ექპერიმენტატორები დიდი ხანია მიეჩვივნენ სპინის ასეთ უცნაურ თავნებობას. თუ ნაწილაკის სპინის წინასწარვე აქვს განსაზღვრული მიიღოს ექპერიმენტატორის მიერ შემთხვევით შერჩეული ველის მიმართულება, მაშინ იქმნება შთა-

ბეჭდილება, რომ თითქოს ექპერიმენტატორს ძალუძს შეიჭრას მიკროსამყაროში. რაც გვაფიქრებინებს იმას, რომ მატერიალურ სამყაროს შეიძლება მართავდეს რაღაც უმაღლესი გონი [70;40].

2. სპინური სუპერსიმეტრია

როგორც აღვნიშნეთ, ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების: კვარკებისა და ლეპტონების სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია. ძლიერი, სუსტი და ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებების გადამტანი ნაწილაკების (გლუონები, ფოტონები, ყალიბული ბოზონები) სპინი 1-ის ტოლია, ხოლო გრავიტაციული ურთიერთქმედების გადამტანის – გრავიტონისა სპინი 2-ის ტოლია.

რადგან ჩვეულებრივი ბრუნვით მოძრაობას მივყავართ ბრუნვითი მოძრაობის სიმეტრიის პრინციპთან, სავსებით შესაძლებელია, რომ სპეციფიკურმა ბრუნვითმა მოძრაობამაც – სპინმაც მიგვიყვანოს ბუნების კანონის კიდევ ერთ სიმეტრიასთან. მართაც 1971 წლისათვის ფიზიკოსებმა უჩვენეს, რომ თუ სპინის მათემატიკური თვალსაზრისით განხილვას შემოაქვს ბუნების კანონის კიდევ ერთი დამატებითი პრინციპი **სუპერსიმეტრიის** სახელწოდებით [73;119].

რადგანაც სპინი წარმოადგენს კვანტურმექანიკური ბუნების მქონე ბრუნვითი მოძრაობის მსგავსებას, ამიტომ სუპერსიმეტრია წარმოადგენს სივრცე-დროის მექანიკურ გაფართოებას. აღმოჩნდა, რომ სუპერსიმეტრიის მიხედვით ჩვეულებრივი ნახევარსპინიანი ნაწილაკების ნახევარ სპინით განსხვავებული პარტნიორი ნაწილაკები, ბოზონები და ფერმიონები არსებობენ წყვილ-წყვილად [73;119].

სუპერსიმეტრიის მხარდამჭერი ფაქტები. სუპერსიმეტრია თეორიაა, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს ფერმიონებსა და ბოზონებს.

მრავალი სპეციალისტის აზრით, იმის გამო რომ სუპერსიმეტრია ფერმიონებისა და ბოზონების წყვილწყვილად არსებობის გარანტიას იძლევა, ის უაღრესად მიმზიდველი თორიაა. სუპერსიმეტრიის თორიის სასარგებლოდ მოქმედებს შემდეგი ფაქტიც. 1974 წელს მეცნიერების მიერ ნაჩვენები იქნა,

რომ სუპერგრაფიტაციის გამოყენებით შესაძლებელია იმის ჩვენება, რომ შესაძლებელია 3 არაგრაფიტაციული ძალის გაერთიანება ერთი თეორიის ფარგლებში.

1991 წელს მეცნიერების მიერ 3 არაგრაფიტაციული ძალისათვის, სუპერსიმეტრიების გათვალისწინებით, გამოთვლილ იქნა ურთიერთქმედებების ინტენსივობის გამომხატველი მუდმივები. გამოთვლებმა უჩვენა, რომ ურთიერთქმედების მანძილის შემცირების კვალობაზე ძაან მცირე მანძილებზე ძლიერი და სუსტი ურთიერთქმედების ინტენსიობა მცირდება, ხოლო ელექტრომაგნიტურისა იზრდება ისე, რომ დაახლოებით 10^{-29} სმ მანძილზე ისინი ზუსტად უტოლდებიან ერთმანეთს. ამ გამოთვლებისას გათვალისწინებული იქნა ის რომ სუპერსიმეტრიებში ჩვეულებრივ ნაწილაკებს გააჩნიათ სუპერპარტნიორი ნაწილაკები. იმ ფაქტს, რომ სუპერპარტნიორი ნაწილაკები აქამდე აღმოჩენილი არ არიან, სუპერსიმეტრიებში მომუშვე ფიზიკოსები იმით ხსნიან, რომ მათი მასები ძალიან დიდი – პროტონის მასასთან შედარებით 1000-ჯერ მეტია [73;124].

სუპერსიმეტრია სიმების თეორიაში. სიმების თეორიის საწყისი ვარიანტი, რომელსაც 1960-იან წლებში ვენეციანოს შრომით დაედო საფუძველი, შეიცავდა ყოველი სახის სიმეტრიას სუპერსიმეტრიის გარდა (რომელიც იმ დროს ჯერ არ იყო აღმოჩენილი). სიმების კონცეფციაზე დაფუძნებულ ამ პირველ თეორიას ეწოდა **სიმების ბოზონური თეორია**. ამ თეორიაში ბოზონური სიმების რხევების მოდეები ფლობდნენ მხოლოდ მთელის ტოლ სპინებს. ამ თეორიაში არ არსებობდა ისეთი რხევის მოდეები რომელთა სპინები მთელისაგან განსხვავდება $\frac{1}{2}$ სპინით. ამან წარმოშვა პრობლემა. იმისათვის, რომ სიმების თეორიამ აღწეროს მატერიის ყველა ფორმა, იგი უნდა მოიცავდეს ფერმიონული მოდის რხევებსაც [73;124].

სიმების თეორიის მხოლოდ სუპერსიმეტრიული ვერსია შეიცავს სამყაროს ნივთიერების შემადგენელ ფერმიონულ მოდეებს. ამრიგად სუპერსიმეტრია სიმების თეორიასთან ხელიხელ ჩაკიდებული იძლევა გრავიტაციის კვანტური თეორიისა და დიდი

გაერთიანების თეორიის ამოხსნას. ფიზიკოსების აზრით თუ ჭეშმარიტია სიმების თეორია, მაშინ ჭეშმარიტია სუპერ-სიმეტრიაც. ამრიგად, სიმების ახალი თორია, „სუპერსიმების“ თეორიის სახელწოდებით, ბოზონებთან ერთად მოიცავს ფერმიონებსაც. თუმცა 1990 წლამდე სიმების სუპერსიმეტრიულ თეორიაში იყო ერთი სერიოზული პრობლემა [73;125].

3. რელატივისტური კვანტური რეალობის უცნაურობანი

ახალი ფიზიკა. XX საუკუნის დასაწყისი აღინიშნება ახალი იდეების მჩქეფარე დაბადებით, რომლებმაც საფუძვლიანად დაანგრეს ჩვეულებრივი, საუკუნეებით შექნილი წარმოდგენები გარემომცველი სამყაროს შესახებ. მრავალი მზრუნველობით ნალოლიავეები და ურყევი წარმოდგენები უბრალოდ წალეკილ იქნა.

ფიზიკოსები იძულებულნი გახდნენ გადაეხედათ თავისი შეხედულებებისათვის რეალობაზე, მიენიჭა რა მას ისეთი თვისებები, რომლებიც ჯერ არ იყო ცნობილი კაცობრივი ცდისათვის [75;28].

შეიქმნა კვანტური მექანიკა და ფარდობითობის თეორია რომელთაც მოახდინეს მეცნიერული რევოლუციები ფიზიკაში. ამ ორი მეცნიერული რევოლუციის პირველი მსხვერპლი გახდა ინტუიცია. ზოგიერთი მოვლენის თვალსაჩინო წარმოდგენა შეუძლებელი შეიქმნა ფიზიკოს-პროფესიონალებისათვისაც კი. კვანტური თეორიის შემქმნელმა მაქს პლანკმა ვერ მიიღო მისი ყველა შესანიშნაობა, ხოლო აინშტაინი მას იმდენად აბსურდულად თვლიდა, რომ სიცოცხლის ბოლომდე მტკიცედ უარყოფდა მის იდეებს.

ერთ-ერთ ცნობილ ინგლისურ უნივერსიტეტში ფიზიკის ფაკულტეტის კორპუსის შესასვლელში გამოკრულია აბრა:

„იყავით ფრთხილად, ფიზიკას შეუძლია შეგშალოთ!“.

სუბატომური ნაწილაკების სამყაროში, სადაც სავსებით შეუძლებელია, რომ ინტუიცია გვემსახუროს, გვეჩვენება, რომ ბუნება გვეთამაშება ბოროტი ხუმრობებით. ამის ერთ-ერთ

მაგალითს წარმოადგენს, კვანტურ მექანიკაში გამოყენებული, ე.წ. „ბარიერის ეფექტი“. წარმოვიდგინოთ, რომ თუ კენჭს ფანჯარას ვესვრით მცირე ძალით, იგი მას აირეკლავს, მაგრამ თუ საკმაოდ ძლიერად – იგი მინას გატეხს და აღმოჩნდება მის მიღმა. ელექტრონის შემთხვევაში, თუ იგი მცირე სიჩქარით მოძრაობის შემთხვევაში წაანყდება ველის ბარიერს, აირეკლება, ხოლო დიდი სიჩქარით მოძრაობის შემთხვევაში აღმოჩნდება ბარიერს მიღმა. ესეა წარმოვიდგინოთ, რომ დიდი ძალით ნასროლი კენჭი აღმოჩნდეს ფანჯრის მიღმა, მაშინ როცა მინა მთელი და უვნებელი დარჩა! სწორედ ასე იქცევა ელექტრონი ბარიერის ტუნელირების დროს, დიდი სიჩქარით მოძრაობისას! [75;29].

ელექტრონის ასეთი ქცევა, კლასიკური წარმოდგენით, სავსებით შეუძლებელია. ის ან უკან აირეკლება, ან აღმოჩნდება ბარიერის მეორე მხარეს. ასეთი საკვირველი მოვლენები ისეთ შთაბეჭდილებას ახდენს, თითქოს ელექტრონი გრძნობს მის გარე სამყაროს. ელექტრონს შეუძლია ერთ მომენტში არსებობდეს ერთ მხარეს, ხოლო მეორე მომენტში – მეორე მხარეს. ელექტრონები ისე იქცევიან თითქოს ისინი ერთდროულად იმყოფებიან რამდენიმე ადგილზე, რაც უაზროდ გვეჩვენება, მაგრამ სწორედ ასეთ მოვლენას აქვს ადგილი მიკროსამყაროში. აღმოჩნდა, რომ მათი ასეთი უცნაური ქცევა განპირობებულია იმით, რომ ისინი ტალღებივით იქცევიან.

აღმოჩნდა, რომ სინათლე, რომელიც წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ ტალღას, შედგება ფოტონებისაგან, რომლებიც იქცევიან როგორც ნაწილაკები.

მრავალი სიძნელე თანამედროვე ფიზიკაში იმითაა განპირობებული, რომ ადამიანები ცდილობენ, რომ აბსტრაქტული ცნებები მიუსადაგონ ჯანსაღი აზრისათვის მისაღებ შეგუებულ წარმოდგენებს. როგორც ეტყობა, ჩვენ გავგაჩნია ღრმა ფსიქოლოგიური მოთხოვნილება იმისა, რომ ჩვენ გარშემო არსებულ სამყაროში მიმდინარე ყველა მოვლენას მიეცეს მარტივი, გასაგები სახე. ხოლო როცა ვაწყდებით ისეთ,

ყოველდღიურ ცდაში მოუცემულ ცნებას, როგორცაა ნაწილაკ-ტალღა, წარმოიქმნება გაუგებრობა და სკეპტიციზმი [75;30].

ფიზიკოსებს გაუჩნდეთ შეგრძნება, რომ მათ არ შეუძლიათ სწორედ გაიგონ ნაწილაკ-ტალღის პრობლემა, რადგანაც არ ძალუძთ შექმნან შესაბამისი აღწერის მარტივი აზრობრივი ფორმა.

ფიზიკის სისტემატიური წინსვლა განპირობებულია მასში უმაღლესი მათემატიკის შეჭრით. აბსტრაქტულ ფორმულებს ძალუძთ ზუსტად აღწერონ სრულიად არაჩვეულებრივი მოვლენები, თუ გამოყენებული განტოლებები არიან ლოგიკურად არანააღმდეგობრივი. მათემატიკის იდუმალება და ახალი ფიზიკის მისტიკური შეფერილობა მის გარშემო ჰქმნის რელიგიურ აურას, ხოლო თვით ფიზიკოსები აღიქმებიან უმაღლესი რანგის ქურუმებად. ამით აიხსნება ახალი ფიზიკის პოპულარობა იმ ადამიანებს შორის, რომელთაც გააჩნიათ მიდრეკილება ფილოსოფიასა და მისტიკისადმი. მიუხედავად ამისა სწორედ ამ აბსტრაქტული იდეის გაგებაზეა დამოკიდებული თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარება. კვანტური მექანიკა სწავლობს მიკროსამყაროს. მასზეა დაფუძნებული მოლეკულური, ატომური, ბირთვული და ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა. ფარდობითობის თეორია სწავლობს სივრცის, დროისა და მოძრაობის თვისებებს. მისი შედეგები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ როცა განხილული სისტემა მოძრაობს სინათლის სიჩქარის მახლობელი სიჩქარით, ან ძლიერ გრავიტაციულ ველში [75;32].

კვანტური მექანიკა და ფარდობითობის თეორია მრავალ ასპექტში ანგრევს საღ აზრს. ამ მხრივ აღსანიშნავია ჩვენი ინტუიციური წარმოდგენები გეომეტრიაზე. ჩვენ წარმოდგენაში მეტრი ყოველთვის იყო მეტრი. ვის მოუვიდოდა თავში, რომ დღევანდელი მეტრი ხვალ გადაიქცეოდა 2 მეტრად, ან ის, რომ მეტრი შეიძლება გამხდარიყო ნახევარი მეტრი. ფარდობითობის სპეციალური თეორიის მიხედვით კი, თუ ერთი

დამკვირვებელი მოძრაობს მეორის მიმართ, მაშინ ერთი და იმავე ობიექტის გაზომვისას ისინი ლეზულობენ სხვადასხვა მნიშვნეობას [75;33].

თუ ფარდობითობის თეორიამ აზრი დაუკარგა მანძილის ცნებას, კვანტურმა მექანიკამ ეჭვი შეიტანა ნაწილაკის ადგილმდებარეობის ცნებაში. კვანტური თეორიის მიხედვით ნაწილაკი ერთდროულად შეიძლება არსებობდეს ან ერთ, ან მეორე ადგილზე. ძალიან ძნელია ისეთი ნაწილაკის წარმოდგენა, რომელიც „ერთდროულად ყველგანაა“. თუ კი შეუძლებელია ითქვას თუ სად არიან განთავსებული სივრცის წერტილები, მაშინ ინგრევიან ყოველგვარი გეომეტრიული წარმოდგენები.

ამ საკითხის უფრო გულმოდგინედ განხილვისას აღმოჩნდა, რომ გართხმულობა (ნაშლადობა) სივრცეში არა მარტო ნაწილაკის ადგილმდებარეობას, არამედ თვით სივრცესაც ახასიათებს.

ფარდობითობის ზოგადი თეორიის თანახმად გრავიტაცია წარმოადგენს უბრალოდ სივრცე-დროის გეომეტრიას, მხოლოდ სავსებით არა იმას, რომელსაც ჩვენ სკოლაში გვასწავლიდნენ. გრავიტაცია არის სივრცე-დროის გამრუდება. აინშტაინის თეორიის მიხედვით სწორედ სივრცის ასეთი დეფორმირებით აიხსნება გრავიტაცია. აღმოჩნდა, რომ სივრცეს შეუძლია არა მარტო გაჭიმვა და შეკუმშვა, არამედ გამრუდებაცა და გრეხვაც [75;36].

ფიზიკოსები ცდებმა დაარწმუნა იმაში, რომ გრავიტაცია მართლაც ამრუდება სივრცეს.

როცა ვარსკვლავი კოლაფსირდება და წარმოქმნის შავ ხვრელს, სივრცის თავდაპირველი მცირე დეფორმაცია სწრაფად იზრდება და ქმნის გასაოცარი დეფორმაციის მქონე სივრცულ ხაფანგს, რომლისაგანაც არაფერს ძალუძს თავის დაღწევა. მეორე უცნაურ მაგალითს წარმოადგენს გაფართოებადი სამყარო, რომელშიც არსებული გალაქტიკებს შორის სივრცე უსწრაფესად და უწყვეტად იზრდება [75;38].

ჩვეულებრივი ხდება ანომალური. ჩვენი ტრადიციული წარმოდგენები დროსა და სივრცეზე, როგორც ჩვეულებრივი, წარმოიქმნებიან ჩვენი ცდის უალრესად შემოსაზღვრულობის გამო. ჩვეულებრივ ცხოვრებაში ჩვენ არ გვიხდება სინათლის სიჩქარესთან მიახლევებული სიჩქარით მოძრაობა და ატომშიგა სამყაროსთან ურთიერთობა.

თანამედროვე ფიზიკის იდუმალებრივმა აურამ მიიზიდა ფილოსოფიურად და მისტიკურად მოაზროვნე ადამიანები. ახალ ფიზიკას ახასიათებს სამყაროს ერთიანობის აღქმა, რაც მას განსაკუთრებულ მომხიბლელობას ანიჭებს.

ბუნებისმეტყველები, ეყრდნობოდნენ რა „რედუქციონიზმის“ პრინციპს, გარემომცველ სამყაროს „ცივისსხლიანად“ ანანევრებდნენ უმარტივეს შემადგენელ ნაწილებად. დარწმუნებამ იმაში, რომ შემადგენელ ნაწილებად განცალკევების გზით მათ შეუძლიათ შეისწავლონ და ახსნან ყველაფერი, მრავალი საუკუნის განმავლობაში მოახდინა დიდი გავლენა მეცნიერულ აზროვნებაზე [75;45].

რედუქციონიზმის პრინციპზე დაყრდნობით სიბრძნის-მეტყველება სულ უფრო და უფრო დანანევრდა სპეციალურ მეცნიერებებად, რამაც ერთი მხრივ კარგი ნაყოფი გამოიღო გარესამყაროს შემეცნების საქმეში. მაგრამ ასეთი მიდგომა მიუღებელი აღმოჩნდა სიცოცხლისა და გონიერების შესასწავლად.

კვანტური მიდგომით სამყარო არ შეიძლება აიხსნას როგორც მხოლოდ მისი შემადგენელი ნაწილების ჯამი. კვანტურ ფიზიკაში სუბატომური ნაწილაკების არსი არ შეიძლება განხილულ იქნას გარე სამყაროსთან მოუწყვეტლად.

მაკოსამყაროსა და მიკროსამყაროს შორის აღმოჩნდა მჭიდრო კავშირი. მცირე და დიდი, ცოცხალი ორგანიზმის მსგავსად, არსებობენ ურთიერთკავშირით.

რედუქციონულ კონცეფციას ყველაზე დიდი დარტყმა გონიერებამ მიაყენა. გონიერება არის თავის ტვინის აქტიურობა, რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს ელექტრო-ქიმიური

პროცესების სერიას, განპირობებულს ელექტრონებისა და იონების მოძრაობით. ამისგან განსხვავებით, ახალი ფიზიკა აღადგენს გონიერების ცენტრალურ მდგომარეობას ბუნებაში.

კვანტურ ფიზიკაში დაკვირვების აქტი არის იმ ინფორმაციის მიღების საშუალება, რომელიც უკვე არსებობს სამყაროში; დამკვირვებელი საფუძვლიანად ერევა მიკროსამყაროში და მიღებული აღწერა შეიცავს დაკვირვების აქტსაც, რადგანაც დაკვირვება ინვესს გარკვეულ ცვლილებას ფიზიკურ სამყაროში [75;47].

მიკროსკოპული უცნაურობანი. კვანტური მექანიკა წარმოადგენს ცნებათა სისტემას მიკროსამყაროს თვისებების აღსაწერად. **პ. ფეინმანის** უთქვამს, რომ კვანტური მექანიკა ყველასთვის გაუგებარია, რადგანაც მისი გაგება ინტუიციის დონეზე შეუძლებელია [73;65].

კვანტურურმა მექანიკამ უჩვენა, რომ მიკრო სამყაროს ახსიათებს გამაოგნებელი თვისებები.

მართალია კვანტური მექანიკის მიერ დადგენილი მათემატიკური ფორმულებითა და კანონებით გაკეთებულ იქნა მრავალი ზუსტი რაოდენობრივი წინასწარმეტყველება. მაგრამ გაურკვეველი რჩებოდა თუ რას ნიშნავს ის სინამდვილეში.

კვანტური მექანიკის ერთ-ერთმა პირველ აღმომომჩენს ნილს ბორს შეუნიშნავს, რომ კვანტური მექანიკის განხილვისას თუ თავს შეშლილად არ იგრძნობ, მაშინ შენ სინამდვილეში ის არ გესმის [75;66].

შეიძლება დაუშვათ, რომ ტალღური ინტენფერენციის ეფექტი სინათლის კურპუსკულარულ მოდელში წარმოიქმნება უამრავი რაოდენობის ფოტონების ზედდებით. სინამდვილეში მიკროსამყარო მონყობილია გაცილებით ზუსტად. თუ სინათლის ინტენსივობას იმდენად შევამცირებთ ერთ ფოტონამდე 10 ნამში, ცდის შედეგი იგივე იქნება. ამ შემთხვევაში, საკვირველი და გაუგებარია თუ ეკრანის ხვრელში ცალკე ცალკე გამავალი ფოტონები როგორ „შეთანხმდნენ“ და ფოტოფირფიტაზე წარმოქმნეს ნათელი და ბნელი ზოლების ინტერფერენციული სურათი [75;74]

კვანტური მექანიკა მათემატიკურად კორექტული თეორიაა, ხოლო მისი წინასწარმეტყველებანი ექსპერიმენტულად საბუთდება მეტად დიდი სიზუსტით [75;66].

ფოტოეფექტის შესწავლამ აჩვენა, რომ ფოტონებს ახასიათებთ კორპუსკულის თვისება, ხოლო ექსპერიმენტმა 2 ხვრელით უჩვენა, რომ მათ ახასიათებთ ტალღური ბუნებაც. ანუ სიტყვიერად შეიძლება ითქვას, რომ ფოტონები ხასიათდებიან კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმით. ეს თვისებები შეიძლება გამოხატული იქნეს მათემატიკური ფორმულებით, რომლებიც საოცარი სიზუსტით აღწერენ ექსპერიმენტულ მონაცემებს. მგრამ ფოტონის ამ თვისებების ინტუიციური გაგება უაღრესად რთულია [75;75].

1923 წელს ახალგაზრდა ფრანგმა წარჩინებულმა პირმა დე ბროილმა დაუშვა, რომ ფოტონის მსგავსად ელექტრონიც ხასიათდება ტალღური თვისებებით, რაც მალე ექსპერიმენტულადაც დადასტურდა, რაც უაღრესად პარადოქსალურია კლასიკური გაგებით

რის ტალღას წარმოადგენს ელექტრონი?

მაქს ბორნის მიხედვით ელექტრონის ტალღა წარმოადგენს მისი ყოფნის ალბათობას სივრცე-დროში, რაც იმას ნიშნავს, რომ მატერიის აღწერა ალბათურია. შრედინგერმა შემოიღო ტალღური ფუნქციის ცნება, რომელიც აღწერს ნაწილაკის ყოფაქცევას სივრცე-დროში და რომლის კვადრატი გამოხატავს ნაწილაკის არსებობის ალბათობას სივრცის ალებულ ნერტილის მახლობლობაში, დროის მოცემულ მომენტში [75;77].

კვანტური მექანიკის თანახმად სამყარო ვითარდება მკაცრი და ზუსტი მათემატიკური კანონების მიხედვით, მაგრამ ეს კანონები განსაზღვრავენ მხოლოდ იმის ალბათობას, რომ შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ამათუიმ სახის მომავალს, და არფერს ამბობს იმის შესახებ, თუ რომელი მომავალი დადგება სინამდვილეში [75;78].

ფეინმანის მიხედვით ელექტრონი გადადის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში მრავალნაირი გზით. თითოეულ გზას თავისი ალბათობა შეესაბამება. საბოლოო მდგომარეობის

ალბათობის გამოსათვლელად საჭიროა გადასვლის ყველა შესაძლო გზის ალბათობათა შეკრება. გამოთვლები კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტთან. მაკროსკოპიული სხეულის შემთხვევაში, გადასვლის სხვადასხვა ტრაექტორიების შესაძლო წონები ერთმანეთს აბათილებენ გარდა იმ ერთისა, რომელიც შეესაბამება ნიუტონის მოძრაობის განტოლებას [75;80].

შრედინგერის ტალღური ფუნქციის მეთოდი და ფეინმანის ტრაექტორიების მიხედვით შეჯამების მეთოდი ურთიერთ შესაბამის შედეგებს იძლევიან [75;81].

მართალია, კვანტური მექანიკის გაგება შეუძლებელია ინტუიციის დონეზე, მაგრამ არსებობს ამ თეორიის დებულება, რომელიც შეიძლება გამოგვადგეს გზის მაჩვენებლად ინტუიციისათვის კვანტურ მექანიკაში. ეს არის გერმანელი ფიზიკოსის ვ. ჰაიზენბერგის მიერ 1927 წელს აღმოჩენილი ე.წ. განუზღვრელობის თანაფარდობა.

ელექტრონის ადგილმდებარეობისა და სიჩქარის დასადგენად საჭიროა ფოტონის გამოყენება, რომლის ტალღის სიგრძის ზომა განსაზღვრავს ელექტრონის ადგილმდებარეობას Δx სიზუსტეს, ხოლო ფოტონის ენერგია შეშფოთებას იწვევს ელექტრონის სიჩქარის, ანუ p იმპულსის სიდიდის განსაზღვრაში. ეს სიტუაცია ჰეიზენბერგმა მათემატიკურად გამოხატა შემდეგი თანაფარდობით, რომელსაც ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი უწოდეს:

$$\Delta p \Delta x = \hbar;$$

სადაც Δp იმპულსის სიზუსტეა, Δx - კოორდინატისა, ხოლო \hbar პლანკის მუდმივას წარმოადგენს.

იმავე პრინციპის თამახმად ნაწილაკს შეუძლია „ისესხოს“ ΔE ენერგია არაფრისაგან იმ Δt დროით, რომელიც განისაზღვრება ჰეიზენბერგის განუზღვრელობის თანაფარდობით:

$$\Delta E \Delta t = \hbar;$$

ეს იმას ნიშნავს ნაწილაკის ენერგიამ შეიძლება განიცადოს საკმაოდ დიდი ΔE ფლუქტუაცია შესაბამის მცირე Δt დროის განმავლობაში.

ჰაიზენბერგის მიხედვით, განუზღვრელობის თანაბარდობა წარმოდგენს ფუნდამენტულ ფაქტს, მიუხედავად გაზომვისას ცდაში გამოყენებული ექპერიმენტული აპარატურის დიდი სიზუსტისა [73;82].

ელექტრონის ადგილმდებარეობის ზუსტად დადგენის მიზნით, თუ ის მოვათავსეთ გარკვეული ზომის ყუთში და თანდათან დავიწყეთ მისი ზომის შემცირება, ელექტრონის მდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტის გაზრდის მიზნით, აღმოვაჩინეთ, რომ იგი განიცდის შემფოთებას, აქეთ-იქით აწყდება ჭურჭლის კედლებს და ირეკლება სხვადასხვა მიმართულებითა და სირქართ. ანუ, ბუნება არ გვაძლევს იმის საშუალებას, რომ კუთხეში „მოვიმწყვდიოთ“ მისი კომპონენტი. რაც უფრო სივრცის მცირე არეში ვსწალობთ ნაწილაკის მდგომარეობას, მით უფრო ქაოტური ხდება მისი მოძრაობა [73;83].

გარდა ამისა, სივრცის ნებისმიერი მცირე ნაწილი იქცევა ენერგიის მანიაკალური „მოვალის“ მსგავსად. ის სამყაროსგან უწყვეტლად მცირე ხნით სესხულობს ენერგიას და შეუცვლელად უბრუნებს უკან. ენერგია კი ასრულებს უნივერსალური კონვერტირებადი ვალუტის როლს. ფორმულა $E=mc^2$ -ს საფუძველზე ენერგია შეიძლება გარდაიქმნას მატერიად და პირიქით. მაგალითად თუ ენერგიის ფლუქტუაცია საკმაოდ დიდია, შეიძლება წარმოიქმნას ელექტრონისა და ანტიელექტრონის წყვილი, ცარიელ სივრცეშიც კი. რადგანაც ენერგის სწრაფად უნდა დაბრუნდეს უკან, დაბადებული ნაწილაკები განიცდიან ანიგილაციას, და ათავისუფლებენ ნასესხებ ენეგიას.

ანალოგიურ მოვლენებს აქვს ადგილი სუსტი და ძლიერი ველების ფლუქტუაციებისას.

ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპები წარმოადგენს კვანტური მექანიკის საფუძველს, მაგრამ მათი გამოყენებას სივრცე-დროის სტრუქტურის მიმართ მიყვავათ ფარდობითობის ზოგადი თეორიისა და კვანტური მექანიკის ურთიერთ შეუთავსებლობასთან. სივრცის დიდი მასშტაბით განხილვისას, რადგანაც ენერგიის სესხება და დაბრუნება ერთმანეთს აბათილებს, სივრცის ცარიელი არე ყველა არამიკროსკოპულ

მასშტაბში, გამოიყურება მშვიდად და წყნარად. მაგრამ მიკრო-მასშტაბში საქმე გვაქვს წარმოუდგენელ ქაოსთან. სწორედ ეს ქაოსი წარმოადენს წინააღმდეგობას ფარდობითობის ზოგადი თეორიის და ქვანტური მექანიკის შერწყმისას [73;87].

ბოლო – XX საუკუნის განმავლობაში სამყაროს ფიზიკური გაგება განსაკუთრებით გაღრმავდა: ერთის მხრივ კვანტური მექანიკის მათემატიკური აპარატის მეშვეობით მოხერხდა მიკროსამყაროს შესწავლა, ხოლო მეორე მხრივ ფარდობითობის ზოგადი თეორიის მეშვეობით, მოხერხდა გალაქტიკების, გალაქტიკათა გროვებისა და მთელი დაკვირვებადი სამყაროს იდუმალი თვისებების გამოკვლევა. მაგრამ არსებობენ ფიზიკური ობიექტები, უზარმაზარი მასითა და უმცირესი ზომებით, რომელთა სრული გამოკვლევისათვის აუცილებელია როგორც კვანტური მექანიკა, ისე ფარდობითობის ზოგადი თეორია. მაგრამ ამ ორი თეორიის გაერთიანებისას სწორედ დასმული ფიზიკური ამოცანები იძლევა უაზრო ამოხსნებს. რაც გვაფიქრებინებს, რომ ამ თეორიებს გააჩნიათ სერიოზული წუნი [73;85].

4. პარადოქსების ლაბირინთი

კვანტური მექანიკის გამოჩენამდე ფიზიკური სამყარო განიხილებოდა როგორც უზარმაზარი საათის მექანიზმი, რომლის სვლა უმცირეს დეტალებამდე გარდუვალად მიყვება მიზეზ-შედეგობრივი დამოკიდებულების ლოგიკას, რომელიც ხორციელდება ნიუტონის კანონებით. ცხდია, რომ ნიუტონის კანონები ეხლაც მართებულია გარესამყაროში მიმდინარე მრავალი ფიზიკური მოვლენისათვის. მაგრამ ატომის მასშტაბებში ბევრი რამ იცვლება. იქ მოქმედებს კვანტური განუზღვრელობის პრინციპი, რომელიც გვაუწყებს, რომ შეუძლებელია ყოველთვის ყველაფერი ვიცოდეთ ნაწილაკის შესახებ. თუ ჩვენ მოვინადინებთ ნაწილაკის დამაგრებას ერთ რომელიმე წერტილში, ის აუცილებლად გაგვისხლტება ხელიდან [89;48].

XX საუკუნის ოციან წლებში ახალი კვანტური მექანიკა პარადოქსების ლაბირინთად გამოიყურებოდა. როგორც აღვნიშნეთ, ნილს ბორის აზრით, თუ ადამიანს კვანტური მექანიკის პირველი გაცნობისას თავბრუ არ დაეხვა, მაშინ მას მასში ვერაფერი გაუგია. კვანტური მექანიკის საფუძვლების გაცნობისას ჰაიზენბრგს დაებადა კითხვა: ნუთუ მართლა ისე აბსურდულადაა მოწყობილი ბუნება, როგორც ის წარმოგვიგება ატომურ ექსპერიმენტებში? .

კვანტური მექანიკის ყველზე დიდი ოპონენტი იყო, მისი ერთ-ერთი საფუძვლის ჩამყრელი ალ. აინშტაინი. საყოვლთაოდაა ცნობილი მისი გამონათქვამი: „ღმერთი კამათელს არ თამაშობს“. აინშტაინი დარწმუნებული იყო, რომ ატომური სამყაროს „უგუნურობა“ ბოლოს და ბოლოს ადგლის დაუთმობს გონიერების ასპარეზს [75;49].

მაგრამ, 1982 წლის ზაფხულში ა. ასპეკის მიერ ჩატარებულმა ზუსტმა ექსპერიმენტმა საბოლოოდ დამტკიცა, რომ შეუძლებელია თავი ავარიდოთ კვანტური განუზღვრელობის პრინციპს [75;53].

ექსპერიმენტატორებმა მიზნად დაისახეს გამოერკვიათ, თუ ერთ ფოტონზე ჩატარებული გაზომვის შედეგები რა დოზით კორელირებენ მეორე ფოტონზე ჩატარებული გაზომვების შედეგებზე. კვანტური მექანიკა წინასწარმეტყველებს კორელაციას, თითქოსდა 2 ნაწილაკს შორის არსებობს ზებუნებრივი „ტელეოპატიური“ კავშირი. ექსპერიმენტმა აჩვენა ასეთი კორელაციის დამაჯერებლად არსებობა, რითაც ერთხელ კიდევ დამტკიცდა შინაგანი განუზღვრელობის არსებობა კვანტურ ფიზიკაში [75;54].

ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ „აქ“ მდებარე ნაწილაკის თვისებები უწყვეტადაა დამოკიდებული „იქ“ მყოფი ნაწილაკის თვისებებზე. სანამ ნაწილაკებზე არ ტარდება ცალკეული გაზომვები, ისინი რჩებიან ერთიანი მთელის ნაწილებად. ის, რასაც ჩვენ ვგულისხმობთ ნაწილაკის თვისებებად, განისაზღვრება მთლიანად ექსპერიმენტული დანადგარებით, რომე-

ლიც შეიძლება მოიცავდეს სივრცის მნიშვნელოვან ნაწილს. კვანტური ფიზიკის არალოგიკური ხასიათი წარმოადგენს ბუნების საერთო თვისებას, და არა ლაბორატორიაში ხელოვნურად შექმნილ სიტუაციას.

კვანტური მიდგომა მოითხოვს, რომ ნაწილაკი განხილულ იქნას მხოლოდ მთელთან ურთიერთობაში. ამიტომ მართალი არ იქნება, ელემენტარული ნაწილაკები ჩავთვალოთ ისეთ მატერიალურ ობიექტებად, რომლებიც ახლად შეერთებისას ქმნიან მსხვილ (დიდ) ობიექტებს. უფრო ზუსტი აღწერისას სამყარო თავს იჩენს როგორც ურთიერთმიმართებათა ერთობლიობა. კვანტური ფიზიკის სპეციალისტისათვის სამყაროს ქსოვილის არც ერთი ნაწილი არ არსებობს მთელისგან დამოუკიდებლად, ხოლო ეს მთელი მოიცავს დამკვირვებელსაც [75;56].

ჩვენ მთელი ნივთიერი სამყარო და ენერგია უნდა განვიხილოთ ყოვლის მომცველი ყოფის ფარგლებში [75;57].

მათემატიკის იდუმალება და ახალი ფიზიკის მისტიკური შეფერილობა, მის გარშემო ჰქმნის რელიგიურ აურას, ხოლო თვით ფიზიკოსები აღიქმებიან უმაღლესი რანგის ქურუმებად. ამით აიხსნება ახალი ფიზიკის პოპულარობა იმ ადამიანებს შორის, რომელთაც გააჩნიათ მიდრეკილება ფილოსოფიასა და მუსიკისადმი. მიუხედავად ამისა სწორედ ამ აბსტრაქტული იდეის გაგებაზეა დამოკიდებული თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარება [75;32].

5. მიკროსამყაროს საკვირველებანი

იმისათვის, რომ გარკვეულიყვნენ ახალი აღმოჩენების ნაკადში, საჭირო შეიქმნა ახალი აბსტრაქტული, ყოველგვარ თვალსაჩინოებას მოკლებული (წმინდა მათემატიკური) ცნებები და სიმეტრიები, რომლებიც ემორჩილებიან მხოლოდ წმინდა მათემატიკურ აღწერას.

არსებობს პრობლემა იმისა, თუ რა ძალებს შეუძლით ელექტრონის შიგნით ელექტრული მუხტის შორის არსებული

გამზიდავი ძალების კომპენსირება, ისე რომ ელექტრონი ინარჩუნებს თავის მთელიობას?

ამ კითხვის საპასუხოდ მეცნიერები ელექტრონს განიხილავენ როგორც ზომისა და სტრუქტურის არ მქონე ნერტილს. მართალია ასეთი წარმოდგენა არბილებს კითხვის სიმწვავეს, მაგრამ წარმოიშვა ახალი სიძნელე. ნერტილოვანი წყაროს შემთხვევაში, მის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაულობა იზრდება უსასრულობამდე. რაც იმას ნიშნავს, რომ ასეთი სისტემის სრული ენერგია უნდა იყოს უსასრულოდ დიდი [75;119].

მაგრამ თუ ელექტრონს გააჩნია უსასრულოდ დიდი ენერგია, ის იქნებოდა უსასრულოდ მძიმე, რაც აბსურდია. თეორეტიკოსები აღმოჩნდნენ არჩევანის წინაშე: ან უარეყოთ ელექტრონის ნერტილოვნობა, ან მოენახათ რაიმე გამოსავალი.

გამოსავალი მართლაც იქნება ნაპოვნი, რომელიც ცნობილია „გადანორმირების“ სახელწოდებით. თუ წარმოვიდგინოთ, რომ ელექტრონს ჩამოვაცლით ელექტრულ მუხტს და შესაბამისად ელექტრულ ველს, მაშინ მას, რაც მისგან დარჩება „შიშველ“ ელექტრონს უწოდებენ. ისმის კითხვა: როგორია „შიშველი“ ელექტრონის მასა? რეალური ელექტრონის დაკვირვებადი მასა თითქოსდა შედგება 2 ნაწილისაგან – „შიშველი“ ელექტრონის მასისა და იმ მასისაგან, რომელიც განსაზღვრულია ელექტრული ველის ენერგიით. საქმე იმაშია, რომ ელექტრონის ელექტრული ენერგიის შესაბამისი მასა გამოთვლისას უსასრულოდ დიდი გამოდის. მაგრამ ელექტრონის მუხტის გამოთიშვა შეუძლებელია. დაკვირვებისას ელექტრონს ადვიქვამთ მთლიანად. ელექტრონის დაკვირვებადი მასა კი სასრულოა. ამიტომ ფიზიკოსებმა ჩათვალეს, რომ შესაძლებელია მასის გამოთვლების დროს წარმოშობილი უსასრულობის იგნორირება. ამ მიზნით თეორეტიკოსი მასის გაზომვის შკალაზე ახდენს ათვლის ნულოვანი ნარტილის გადანაცლებას ძალიან დიდ სიდიდეზე. ამ ეშმაკური ილეთის გამოყენებით ელექტრონის აღწერაში ხერხდება იმ უსასრულო ნევრების

გამორიცხვა, რომელთაც თეორია აბსურდამდე მიჰყავდათ [75;120].

თეორეტიკოსებმა მოინადინეს ანალოგიური ემპაკური ილეთები გამოყენებინათ სხვადასხვა ურთიერთქმედებების განხილვისას [75;122].

თავი 8 ურთიერთქმედებების შესახებ

1. ფიზიკური მოვლენების კლასიფიკაცია

XX საუკუნის დასაწყისისათვის პრაქტიკულად დასრულდა კლასიკური ფიზიკის ფორმირება, რომელმაც უდიდეს წარმატებებს მიაღწია. მაგრამ თანდათანობით გამოიკვეთა მისი გამოყენების შესაძლებლობები. აღმოჩნდა, რომ კლასიკურ ფიზიკას შეუძლია აღწეროს მხოლოდ საკმაოდ დიდი ზომის – მაკროსკოპული სხეულების შედარებით ნელი მოძრაობა.

ფიზიკურ პროცესისა და მოვლენის კლასიფიკაციის ძირითად ნიშნებად შეიძლება მივიჩნიოთ მათი სიჩქარეები (ან ენერგიები) და ზომები (მასშტაბები). მათ შეიძლება მივაკუთვნოთ, აგრეთვე, პროცესების გამომომწვევი ურთიერთქმედების სახეები.

ნიშნების კლასიფიკაცია მოცემულია შემდეგ ცხრილში.

სიჩქარეები	ზომები	ურთიერთქმედების სახეები
დიდი	დიდი	ძლიერი
მცირე	ჩვეულებრივი	ელექტრომაგნიტური
	მცირე	სუსტი
	სუბმცირე	გრავიტაციული

სიჩქარის მიხედვით ფიზიკური პროცესები კლასიფიცირდება შემდეგნაირად:

ა. თუ სხეულის სიჩქარე \hat{v} უტოლდება სინათლის სიჩქარეს c : $\hat{v} = c$, ანუ კინეტიკური ენერგია ტოლი ან მეტია მის

უძრაობის ენერგიაზე ($T \geq m_0 c^2$), მაშინ პროცესები რელატივისტურია. ასეთი მოვლენები აღინერება რელატივისტური ფიზიკითა და ფარდობითობის სპეციალური თეორიით. რელატივისტური ფიზიკა შეიცავს ნიუტონის მექანიკას, როგორც კერძო შემთხვევას, როცა $c \gg \hat{c}$ ($c = \infty$).

ეს ფაქტი წარმოადგენს შესაბამისობის პრინციპის ერთ-ერთ გამოხატულებას. არარელატივიტურ და რელატივისტურ ფიზიკას მიჯნავს ფუნდამენტული მუდმივა C .

გამიჯნოთ ეხლა ფიზიკური მოვლენები მისი მასშტაბის, ანუ სხეულობის ზომებისა და მათ შორის R მანძილის მიხედვით.

ა. მიჩნეულია, რომ როცა $10^8 \text{ სმ} \leq R \leq R_3 \approx 1.25 \cdot 10^{28} \text{ სმ}$, საქმე გვაქვს მეგასამყაროსთან. მეცნიერებას, რომელიც სწავლობს მეგასამყაროს კოსმოლოგია ეწოდება.

R_3 ჰორიზონტის რადიუსია, რომლის მიღმა არსებული არე მეცნიერულ შესწვლას არ ექვემდებარება და მეტაფიზიკის დაქვემდებარებაშია. ამ არეებს შორის შეუძლებელია ინფორმაციის გაცვლა, რის გამოც მათ შორის არ არსებობს მიზეზ-შედეგობრივი კავშირი (იხ. თავი 2.1).

ბ. ჩვენ გარშემო არსებულ „ჩვეულებრივი“ ზომების სამყაროს – მაკროსამყაროს, სწავლობს მაკროსკოპული ფიზიკა.

გ. მიკროსამყაროს მიეკუთვნება ისეთი მოვლენები და პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ $R < 10^{-8}$ მ (მოლეკულის ზომაზე მცირე) ზომის ობიექტებზე. მიკროსამყაროს შეისწავლის კვანტური ფიზიკა. მიკროსამყარო ხასიათდება „ნატიფი და ფაქიზი“ სტრუქტურით.

$R = (10^{-8} - 10^{-10})$ მ-ს არე წარმოადგენს მოლეკულური და ატომური ფიზიკის არეს.

$R = 10^{-15}$ მ-ს მანძილებით ხასიათდება ბირთვული და დაბალი ენერგიების ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა.

$R = (10^{-15} - 10^{-18})$ მ-ს არეში ბატონობს მაღალი ენერგიების ფიზიკა.

$R < 10^{-18}$ მ არე მიეკუთვნება სუბმიკროსამყაროს. ამ არეში აზრს კარგავს ჩვეულებრივი სივრცე-დროითი კონცეფციები [112;8].

მოვლენების ასეთ კლასიფიკაციაზე პასუხისმგებელია ფუნდამენტული მუდმივა პლანკის მუდმივის სახელწოდებით $\hbar = 10,5 \cdot 10^{-34}$ ჯოული.

ზღვრულ შემთხვევაში როცა $\hbar \rightarrow 0$ მავლენები მიჩნეულია მაკროსკოპულ მოვლენებად. ამ შემთხვევაში კვანტური ფიზიკის შედეგები აღადგენს კლასიკური ფიზიკის შედეგებს. ეს არის შესაბამისობის პრინციპის კიდევ ერთი კონკრეტული გამოვლინება [99;9].

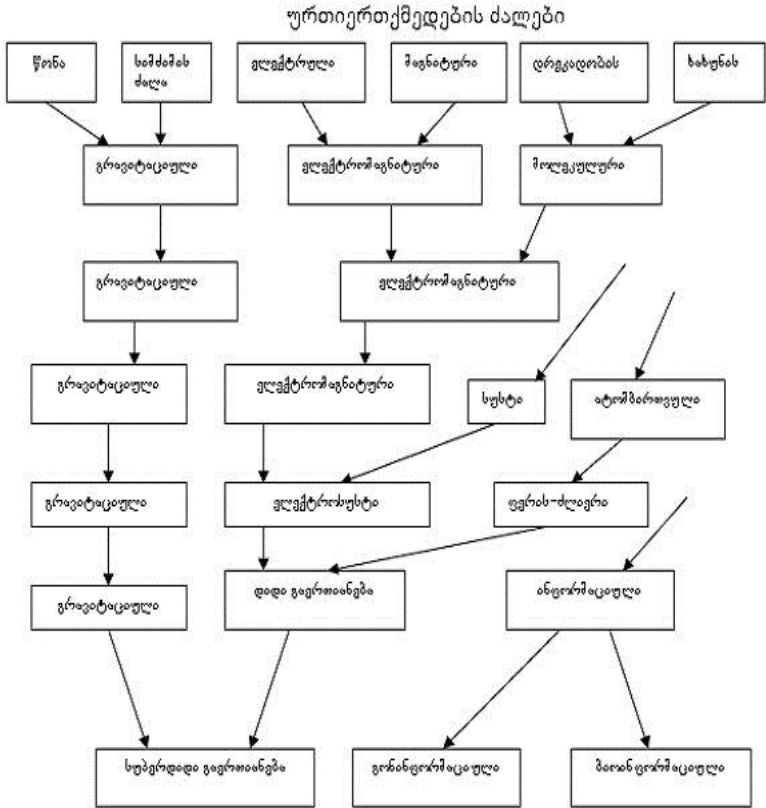
2. ფუნდამენტური ძალები

ამ თავში მოგიტხრობთ ბუნებაში არსებული ძალების შესახებ. ადამიანი ყოველთვის გრძნობს ცვალებადობას გარე სამყაროში. ჩვენი შორეული წინაპრები ყოველთვის ფიქრობდნენ ამ ცვალებადობის გამომწვევი ძალების შესახებ, მაგრამ ისინი მათ აწერდნენ მაგიურ თვისებებს, დაკავშირებულთ ყვლად ძლიერ ღმერთებთან, ან ბოროტ სულებთან. ძველბერძენმა ფილოსოფოსებმა სცადეს უფრო სისტემატიურად შეესწავლათ ცვალებადობისა და მოძრაობის პროცესები, მაგრამ ბოლომდე ვერ გაერკვნენ მათ გამომწვევ მიზეზებში.

თანამედროვე წარმოდგენა ძალაზე ჩამოყალიბდა XVII საუკუნეში, ნიუტონის მოძრაობის კანონების აღიარების შემდეგ. ნიუტონის უმაღლეს მიღწევად შეიძლება ჩაითვალოს იმის გააზრება, რომ ძალის მოქმედებით აიხსნება მხოლოდ თანაბარწონიერებისა და მოძრაობის სიჩქარის შეცვლა და არა თვით მოძრაობა. ნიუტონმა დაადგინა, რომ ძალის მოქმედება იწვევს აჩქარებას და გამოიყვანა ზუსტი მათემატიკური ფორმულა ამ სიდიდეების დასაკავშირებლად.

ერთი შეხედვით გვეჩვენება, რომ ბუნებაში მოქმედებს მრავალი სხვადასხვა ძალა. მაგრამ გულმოდგინე ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბუნებაში მოქმედი ძალები შეიძლება დაყვა-

ნილ იქნენ 4 ფუნდამენტულ ურთიერთქმედებაზე. სწორედ ეს 4 ფუნდამენტური ურთიერთმოქმედება წარმოადგენს ბუნებაში არსებული ყველა ცვალებადობის წყაროს. 4-დან ყოველ ურთიერთქმედებას გააჩნია თავისი განსაკუთრებულობა და იმავე დროს მსგავსებაც დანარჩენ სამთან. ფიზიკის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ამ ფუნდამენტური ძალების თვისებების შესწავლა [75;80].



სქემა 1.2

ძალა. ჩვეულებრივი გაგებით ძალა ეწოდება ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც წარმოადგენს იმ ქმედების ზომას, რომე-

ლიც რაიმე სხეულზე ურთიერთქმედებისას, მას აჩქარებას ანიჭებს. ყოველდღიურ ცხოვრებაში საქმე გვაქვს სხვადასხვა ძალებთან: წონა, რეაქციის ძალა, დრეკადობის ძალა, ხახუნის ძალა, მაგნიტის მიზიდულობის ძალა, ელექტრულად დამუხტულ სხეულებს შორის მოქმედი ძალა და სხვა. ძნელი დასაჯერებელია, რომ ყველა ისინი ნამდვილად განსხვავებული, ანუ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი, ძალებია.

მეცნიერების მიერ დადგენილ იქნა, რომ წონა წარმოადგენს სიმძიმის ძალის შედეგს, რომელიც, თავის მხრივ, დედამიწის მიზიდულობის ძალის, ანუ, გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალის გამოვლინებას წარმოადგენს.

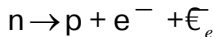
მაგნიტური ძალა და ელექტრული ძალა, ერთი, ე.წ. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების გამოვლინებას წარმოადგენენ. დრეკადობისა და ხახუნის ძალები განპირობებულია მოლეკულური ძალებით, რომლებიც, როგორც აღმოჩნდა, თავის მხრივ, ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ძალების გამოვლინებაა (იხ. სქემა 1.2).

ამიტომ გრავიტაციული და ელექტრომაგნიტური ძალები მიიჩნეის ე. წ. ფუნდამენტურ ძალებად.

ფუნდამენტური ძალების ცნება დაკავშირებულია ჩვენ წარმოდგენებთან განუყოფელი ნაწილაკების ცნებასთან. თუ რაღაც ნაწილაკი უსტრუქტუროდ და განუყოფლად მიგვაჩნია, მაშინ მათ შორის მოქმედი ძალებიც ვეღარ დაიყვანება რაიმე უფრო ძირითად ძალაზე, რის გამოც იგი ფუნდამენტურ ძალად უნდა მივიჩნიოთ. (მაგალითად ალებული ნივთიერების შესაბამისი უმცირესი ნაწილაკი – მოლეკულა, გარკვეულ პირობებში მიჩნეულია განუყოფელ ნაწილაკად. ამიტომ მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალები ერთ დროს მიჩნეული იყო ფუნდამენტურ ძალებად, რომლებითაც აიხსნებოდა ხახუნისა და დრეკადობის ძალები). მხოლოდ მას შემდეგ რაც აღმოვაჩინეთ ჩვენი ნაწილაკების რთულ შინაგან სტრუქტურას, მათ შედგენილობას უფრო პირველადი ნაწილაკებისაგან, დაისმება საკითხი ამ ახალი პირველადი ნაწილაკების ერთმანეთზე მოქმედების შესახებ და დაიბადება ეჭვი: ადრე ფუნდამენტალურად

მიჩნეული ძალები სინამდვილეში ხომ არ არიან ამ ახალი ფუნდამენტული ძალების გამოვლინება. XIX საუკუნის დასაწყისში ფიზიკაში ცნობილი იყო 4 ფუნდამენტული ძალა: მსოფლო მიზიდულობის, ანუ გრავიტაციული, ელექტრული, მაგნიტური და მოლეკულებს შორის მოქმედი ახლოქმედი ძალები [19;48].

შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ელექტრული და მაგნიტური ძალები წარმოადგენენ ერთი ფუნდამენტული ურთიერთქმედების – ელექტრომაგნიტურის 2 სხვადასხვა გამოვლინებას. ხოლო მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალები, მათი შემადგენლ ატომებს შორის მოქმედი ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების პირდაპირი შედეგია. ამრიგად დარჩა 2 ფუნდამენტული ძალა – გრავიტაციული და ელექტრომაგნიტური, რომლებიც შორს ქმედი ძალებია და მოქმედებენ ატომბირთვის ფარგლებს გარეთ 10^{-12} სმ-ზე უფრო დიდ მანძილებზე. შემდგომში ატომბირთვების შესწავლის შედეგად გამოირკვა, რომ ისინი შედგებიან პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან, რომლებიც ერთმანეთზე მოქმედებენ ახალი ტიპის ახლოქმედი ბირთვული – ძლიერი ძალებით. ამავე პერიოდში დაკვირვებულ იქნა, რომ ერთი ტიპის ნაწილაკები შეიძლება გარდაიქმნენ სხვა ტიპის ნაწილაკებად. მაგალითად ნეიტრონის დაშლა პროტონად, ელექტრონად და ანტინეიტრონოდ:



აღმოჩნდა, რომ ასეთი გარდაქმნები გამოწვეულია ე. წ. სუსტი ახლოქმედი ურთიერთქმედებით, რომლებიც მოქმედებენ 10^{-16} სმ-ზე ნაკლებ მანძილებზე.

ამრიგად გასული საუკუნის 30-იანი წლებისთვის მიჩნეული იყო, რომ არსებობს ბუნების 4 ფუნდამენტური ძალა: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი.

60-იან წლებში ბარიონებისა და მეზონების კვარკული მოდელის შექმნასთან დაკავშირებით საჭირო გახდა ახალი ფუნდამენტული ძალის ცნების შემოტანა. კვარკები ხასიათდებიან ახალი მუხტისებური თვისებით „ფერის“ სახელწოდებით.

დებით. ფერი წარმოქმნის შესაბამის თვისობრივ ველს, რომლის მეშვეობით ფერის მქონე ერთი ნაწილაკი მოქმედებს სხვა ფერის მქონე ნაწილაკებზე. აღმოჩნდა, რომ ფერის ძალები ძალიან ძლიერია ახლო მანძილებზე, ხოლო შორ მანძილებზე ნოლის ტოლია. მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ ბირთვული ძალები ფერის ძლიერი ძალების გამოვლენაა. ამრიგად მატერიის აღწერაში კვარკულ დონემდე შეღწევის შედეგად ბუნების ფუნდამენტული ძალების სია შემდეგნაირად გამოიყურება:

- ა. შორსქმედი გრავიტაციული ძალა;
- ბ. შორსქმედი ელექტრომაგნიტური ძალა;
- გ. ახლოქმედი ფერის ძალები, რომლებიც კვარკებს შორის მოქმედებენ;

დ. ახლოსქმედი სუსტი ძალები.

შესაბამისად, ოფიციალური მეცნიერების მიხედვით, ნივთიერი მატერიის სტრუქტურულობის კვარკული დონის გათვალისწინებით, ბუნებაში მოქმედებს ოთხი სახის ფუნდამენტალური ძალა (სქემა 1.2).

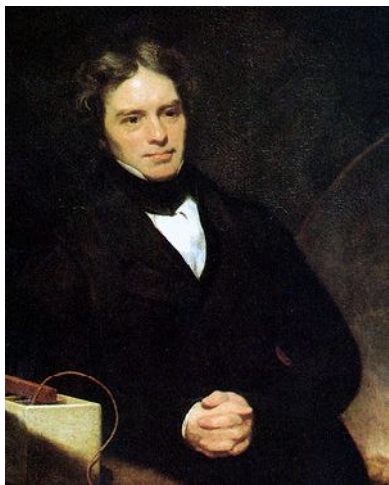
ჩემი აზრით, დღეისათვის ეს სიაც არ უნდა იყოს საბოლოო. ახალი ბიოლოგიური პარადიგმების მიხედვით არსებობს მოსაზრება, რომ ცოცხალ ორგანიზმებში მოქმედებენ ე.წ. „ინფორმაციული“ ძალები.

გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალა ყველაზე ადრე იქნა აღმოჩენილი. იგი უნივერსალურია იმ გაგებით, რომ მასში მონაწილეობს სამყაროში არსებული ყველა ტიპის ნაწილაკი. გრავიტაციულ ურთიერთქმედებაში მუხტის როლს ასრულებს m მასა, ველის როლს – გრავიტაციული ველი, რომლის გადამტანებს გრავიტონები წარმოადგენენ. ამჟამინდელი სუპერგრავიტაციული 11-განზომილებიანი ველის თეორიის მიხედვით, გრავიტონებს გააჩნიათ ნულისაგან განსხვავებული მასა და 2-ის ტოლი სპინი [73].

გრავიტაციული ურთიერთქმედების ინტენსივობა, სხვა ძალებთან შედარებით, ძალიან მცირე – 10^{-38} რიგისაა, რის გამოც ის უმნიშვნელო როლს ასრულებს ელემენტარულ ნაწილაკებსა

და ატომებს შორის ურთიერთქმედებაში. მაგრამ ის ფუნდამენტალურ როლს ასრულებს დიდი – კოსმოსური სხეულების ურთიერთქმედებისას. ამ ძალებითაა განპირობებული, მაგალითად, სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა, მზის სისტემისა და გალაქტიკების არსებობა და მდგრადობა; დედამიწის ელიფსური მოძრაობა მზის გარშემო, მთვარის მოძრაობა დედამიწის გარშემო და სხვ. გრავიტაციული ძალა მიზიდვის ხასიათისაა და ხელს უწყობს მატერიის სტრუქტურირებას და კოსმოსური სხეულების წარმოქმნას. მასა, გრავიტაციულობის თვისების გარდა, ხასიათდება ინერტულობის თვისებით, რაც ხელს უშლის სხეულების სიჩქარის შეცვლას. მასის ამ ორი ურთიერთსაპირისპირო თვისების ერთდროული მოქმედება განაპირობებს მზის სისტემის მსგავსი სტრუქტურების შექმნასა და მდგრადობას. გრავიტაციული ძალების კვანტურობა, თავს იჩენს ე.წ. პლანკისეული ზომის – 10^{-33} სმ რიგის სივრცულ არეებში. ამიტომ, ამ პროცესების დაკვირვება ამჟამინდელი ექსპერიმენტული საშუალებებით შეუძლებელია.

3. ელექტრომაგნიტური ძალები



ატომბირთვის ზომის ფარგლებში საკმარისია განხილულ იქნეს სამი ფუნდამენტალური ძალა ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი. ელექტრული ველის ცნება ჯერ კიდევ ინგლისელმა ფიზიკოსმა **მაიკლ ფარადეიმ** (1791-1867) შემოიტანა. სწორედ ეს ველი მოქმედებს მასში მოხვედრილ სხვა დამუხტულ სხეულზე. ველი არის ურთიერთქმედების გადამტანი შუამავალი რაობა. ცდები გვიჩვენებენ, რომ ელექტრომაგნიტური ველი რეალურად არსებობს.

აღმოჩნდა, რომ ელექტრომაგნიტური ველი იკვანტება, ანუ არსებობს გარკვეული პორციების, კვანტების, ე. წ. ფოტონების სახით, რომელთაც ნაწილაკის თვისებები გააჩნია.

XX საუკუნის 50-იან წლებში დასრულებული სახე მიიღო ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების კვანტურმა თეორიამ – კვანტურმა ელექტროდინამიკამ. საზოგადოდ ფუნდამენტური ურთიერთქმედების კონცეფცია დამყარებულია მუხტის ცნებაზე. მუხტი არის ნაწილაკის ისეთი თვისება, რომლის გამოც ის გარკვეული ძალით მოქმედებს იმნაირადვე დამუხტულ ნაწილაკზე და თვითონაც განიცდის სხვა იმნაირადვე დამუხტული ნაწილაკის მოქმედებას. ნაწილაკის ერთ-ერთ ასეთი სახის მუხტად მიჩნეულია ელექტრული მუხტი.

აღმოჩნდა, რომ არსებობს ე.წ. უმცირესი ელემენტარული ელექტრული მუხტი e , რომლის სიდიდე $1,610^{-19}$ კულონის ტოლია.

ექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების სიძლიერის ზომად მიჩნეულია $e^2/c=1/137$ სიდიდე, რომელიც გაცილებით ნაკლებია ერთზე. რის გამოც, ის საკმარისად მცირედ ითვლება და ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების შესანავლად წარმატებით გამოიყენება კვანტური ელექტროდინამიკა. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება განპირობებულია ელექტრული ველით, რომელსაც ქმნის ყოველი დამუხტული ხსეული თავის მახლობლობაში.

კვანტური ელექტროდინამიკის მიხედვით დამუხტული ნაწილაკი განუწყვეტილად გამოასხივებს და შთანთქავს ფოტონებს (ელექტრომაგნიტური ველის პორციებს) და თავის გარშემო ჰქმნის ფოტონების ღრუბელს.

კვანტური თეორიის მიხედვით ნებისმიერი ველი არის მისი შესაბამისი ნაწილაკების ერთობლიობა. ყოველი დამუხტული ნაწილაკის ველი, მაგალითად ელექტრონის ელექტრომაგნიტური ველი წარმოგვიდგება როგორც ფოტონების ღრუბელი, რომელიც გარს ერტყმის მუხტს. ფოტონები განუწყვეტილად გამოასხივდებიან მუხტის მიერ და უკანვე შთანთქმებიან. ისე რომ, მთელი ეს სისტემა იმყოფება დინამიკურ წონასწორებაში.

თუ ამ ღრუბელში სხვა ელექტრონი მოხვდა, ის შთანთქმავს პირველი ელექტრონის მიერ გამოსხივებულ ფოტონს. რის შედეგადაც მოხდება ენერგიისა და იმპულსის გარკვეული რაოდენობის გადაცემა პირველი ელექტრონიდან მეორეზე. ეს კი ნიშნავს ურთიერთქმედებას, ანუ ერთმანეთზე რაღაც ძალით ზემოქმედებას. ფოტონი ჩნდება და შთანთქმდება სწორედ ამ ურთიერთქმედების პროცესში [19;57].

მაგრამ ასეთ პროცესს კრძალავს ენერგიის შენახვის კანონი. უძრავი ელექტრონი ფოტონის გამოსხივებისას მას გადასცემს გარკვეულ ენერგიასა და იმპულსს. რის გამოც თვით ელექტრონი ღებულობს უკუცემის ენერგიას. ამიტომ ელექტრონისა და ფოტონის საბოლოო სისტემის ჯამური ენერგია აუცილებლად მეტია სანყისი ელექტრონის ენერგიაზე. რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ პროცესში დაირღვა ენერგიის მუდმივობის კანონი.

ამ ჩიხური სიტუაციიდან გამოსავალს იძლევა კვანტური მექანიკის ერთ ერთი ძირითადი პრინციპი, ე.წ. ჰაიზენბერგის განიზღვრელობის პრინციპი. ამ პრინციპის თანახმად მცირე Δt დროში დაშვებულია ენერგიის შენახვის კანონის დარღვევა მცირე ΔE სიდიდით. სისტემას თითქოს გარკვეული მცირე Δt დროით უფლება ეძლევა საიდანღაც „ისესხოს“ ΔE ენერგიის გარკვეული რაოდენობა, და რაც უფრო მცირეა სესხის ვადა, მით უფრო დიდი რაოდენობის ენერგიის სესხებაა შესაძლებელი:

$$\Delta E \leq \hbar / \Delta t$$

სადაც \hbar პლანკის მუდმივაა. ამგვარ ნაწილაკებს, რომლებიც ენერგიის შენახვის კანონის დარღვევის წყალობით მოკლე დროით ჩნდებიან და ცდაზე უშუალოდ არ დაიკვირვებიან, „ვირტუალურ“ ნაწილაკებს უწოდებენ.

ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკები თავის გარშემო ასხივებენ ვირტუალურ ფოტონებს, რომლებიც ჰქმნიან ველს [19;59].

აღმოჩნდა, რომ შეიძლება არსებობდნენ m მასის მქონე ვირტუალური ნაწილაკები, რომლებიც თავისუფალი სახით არ

არსებობენ, მაგრამ ისინი ნაწილაკის ყველა თვისებით ხასიათდებიან.

m მასის მქონე ვირტუალური ნაწილაკების არსებობის დროის ხანგრძლივობა, ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპიდან გამომდინარე, გამოითვლება თანაფარდობით:

$$\Delta t \leq \hbar/\Delta E = \hbar/mc^2$$

m მასის კვანტს, რომელსაც შეუძლია იარსებოს Δt დროის განმავლობაში, თავის წყაროს შეუძლია დაშორდეს

$$r \sim \Delta t c \sim \hbar/mc$$

მანძილით. სადაც $c = 3 \cdot 10^{10}$ სმ/წმ. ამ მანძილს ურთიერთქმედების რადიუსს უწოდებენ. აქედან ჩანს, რომ რაც უფრო დიდი მასის ნაწილაკების გაცვლით ხდება ურთიერთქმედება, მით უფრო მოკლე ქმედებასთან გვაქვს საქმე [19;60].

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ხორციელდება ნულოვანი მასის მქონე ფოტონებით, ამიტომ მათი ენერგია შეიძლება რაგინდ მცირე იყოს, ხოლო არსებობის დრო და ურთიერთქმედების რადიუსი – რაგინდ დიდი. ამიტომ ელექტრომაგნიტური ძალები შორსქმედია.

გულმოდგინე ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბუნებაში მოქმედი ძალები შეიძლება დაყვანილ იქნენ 4 ფუნდამენტულ ურთიერთქმედებაზე. სწორედ ეს 4 ფუნდამენტური ურთიერთქმედება წარმოადგენს ბუნებაში არსებული ყველა ცვალებადობის წყაროს. 4-დან ყოველ ურთიერთქმედებას გააჩნია თავისი განსაკუთრებულობა და იმავე დროს მსგავსებაც დანარჩენ სამთან. ფიზიკის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ამ ფუნდამენტური ძალების თვისებების შესწავლა [89;80].

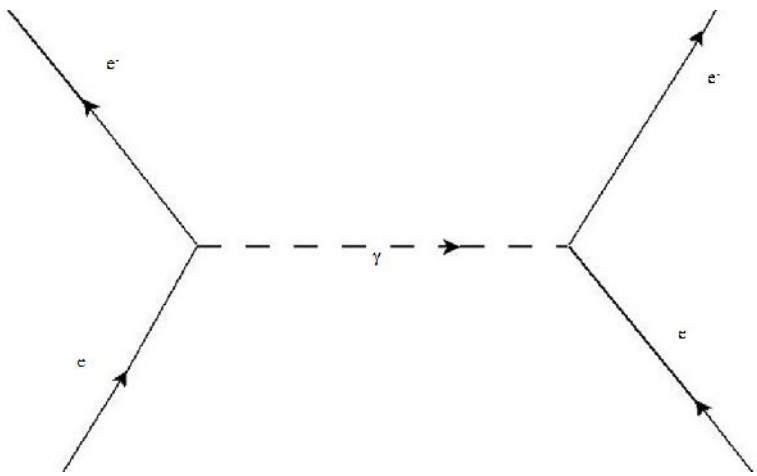
ამერიკელმა ფიზიკოსმა ნობელის პრემიის ლაურიატმა ფიზიკაში **რიჩარდ ფილიპს ფეინმანმა** (1918-1988) შექმნა ე.წ. „ფეინმანის დიაგრამები“, რომლებიც თვალსაჩინო ნახატების სახით გამოიყენება თანამედროვე ფიზიკაში ურთიერთქმედების პროცესების გამოსახატავად. ამ ნახაზზე თავისუფალი ბოლოების მქონე ხაზები შეესაბამება რეალურ ნაწილაკებს, ამ შემთხვევაში ელექტრონებს; წერტილები, სადაც 3 ხაზი იყრის თავს, შეესაბამება ურთიერთქმედებას, მათ



წვერო-ებს უწოდებენ, რომლებიც გამოსახავენ დაბადების ან შთანთქმის მოვლენებს; 2 ნერტილის შემაერთებელი წყვეტილი ხაზი აღწერს ვირტუალურ ნაწილაკს, რომელიც იბადება ერთ-ერთი წვეროში და შთანთქმება მეორეში [19;62].

ასეთი გრაფიკის მაგალითი მოცემულია ნახ. 1.6-ზე, რომელზეც გამოსახულია ორი ელექტრონის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების პროცესის ფეინმანის გრაფიკი. ამ ნახაზზე თავისუფალი ბოლოების მქონე

ხაზები შეესაბამება რეალურ ნაწილაკებს, ამ შემთხვევაში ელექტრონებს.



ნახ. 1.6

წერტილები, სადაც 3 ხაზი იყრის თავს, შეესაბამება ურთიერთქმედებას, რომლებიც გამოსახავენ დაბადების ან შთანთქმის მოვლენებს; მათ წვეროებს უწოდებენ; 2 წერტილის შემაერთებელი წყვეტილი ხაზი აღწერს ვირტუალურ ნაწილაკს, რომელიც იბადება ერთ-ერთ წვეროში და შთანთქმება მეორეში [19;62].

ეს არის ურთიერთქმედების თანამედროვე სტანდარტული კონცეფცია. ამრიგად ურთიერთქმედების წარმოქმნის თანამედროვე (სტანდარტული) კონცეფციის ძირითადი პრინციპები შეიძლება შემდეგნაირად გამოიხატოს:

1. ყოველი ურთიერთქმედება ნიშნავს გარკვეული ველის არსებობას, რომლითაც იხსნება ძალის მოქმედება მანძილზე;
2. ქვანტური ფიზიკის თვალსაზრისით ველი წარმოადგენს შესაბამისი კვანტების, ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკების ერთობლიობას;
3. ნაწილაკებს შორის ყოველი ურთიერთქმედება შესაბამისი ვირტუალური კვანტების გაცვლის შედეგია;
4. ძალების მოქმედების რადიუსი განისაზღვრება ველის ნაწილაკების მასით; რაც უფრო მძიმეა ეს ნაწილაკი, მით უფრო მცირეა ურთიერთქმედების რადიუსი;
5. ძალის სიძლიერე დამოკიდებულია ვირტუალური ნაწილაკების გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესებს ინტენსიობაზე და ხასიათდება რაღაც ურთიერთქმედების მუდმივით.

ურთიერთქმედების ამ კონცეფციას საფუძვლად უდევს მუხტის ცნება, რომელიც თვით ამ სქემის ფარგლებში არ აიხსნება და შემოტანილი უნდა იყოს როგორც ფენომენოლოგიური, ცდისეული ფაქტი.

ელექტრულ მუხტს ახასიათებს შენახვის თვისება. ამიტომ დამუხტული ნაწილაკების დაბადება შეიძლება მოხდეს მხოლოდ წყვილების სახით ისე, რომ გაჩენილი ნაწილაკების ჯამური დადებითი მუხტი ტოლი უნდა იყოს – ჯამური უარყოფითი მუხტისა.

ელექტრომაგნიტური ველის კვანტები – ფოტონები ხასიათდებიან შემდეგი თვისებებით:

ა. ფოტონის უძრაობის მასა ნულის ტოლი;

ბ. ფოტონის მუხტი ნულის ტოლია;

გ. ფოტონის სპინი 1-ის ტოლია.

ისმის კითხვა, რატომ აირჩია ბუნებამ ასეთი თვისებების მქონე ურთიერთქმედება? [19;64].

ბუნების კანონების აღსაწერად საჭიროა კოორდინატთა სისტემის შემოტანა. შემოტანილ კოორდინატთა სისტემის ღერძებს შეიძლება გააჩნდეთ ნებისმიერი მიმართულება. ბუნების კანონების გამომხატველი განტოლებების სახე არ უნდა იყოს დამოკიდებული კოორდინატთა სისტემის ღერძების მიმართულებაზე.

ცნობილია, რომ ორი e -ს ტოლ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალა მოიცემა კულონის კანონით:

$$F = e^2/r^2$$

სადაც r მუხტებს შორის მანძილია რომელიც x , y , z მდგენელების მეშვეობით გამოისახება შემდეგნაირად: $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$. თუ კოორდინატთა სისტემას მოვაბრუნებთ α კუთხით მობრუნებულ სისტემაში ძალა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$F_1 = e^2/(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) = e^2/r^2$$

რადგანაც სისტემის მობრუნების შედეგად მანძილი ორ წერტილს შორის არ იცვლება. ამიტომ ახალ სისტემაში კულონის კანონს იგივე სახე აქვს, როგორც ჰქონდა ძველ სისტემაში.

ზოგადად ფიზიკოსებმა ჩამოაყალიბეს შემდეგი პრინციპი: ყოველი ფიზიკური აზრის მქონე კანონი ან თეორია, ინვარიანტული უნდა იყოს, ანუ ინარჩუნებდეს თავის სახეს, ათვლის სისტემის ნებისმიერი მობრუნების მიმართ.

1918 წელს გერმანელმა მათემატიკოსმა ქალმა ემი ნიოთერმა დაამტკიცა ზოგადი დებულება, რომელსაც ნიოთერის თეორემა ეწოდება: „თეორიის ინვარიანტობას სისტემის რაიმე უწყვეტი გარდაქმნის მიმართ აუცილებლად თან სდევს რაღაც ფიზიკური სიდიდის შენახვა.“ [19;67].

აღმოჩნდა, რომ ელექტროდინამიკის განტოლებები ინვარიანტულია გარკვეული გარდაქმნების მიმართ, რომლთაც გლობალური **ყალიბური გარდაქმნები** ეწოდებათ. სწორედ

ელექტროდინამიკის განტოლებების გლობალური ყალიბური გარდაქმნების მიმართ ინვარიანტობის შედეგს წარმოადგენს ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი.

შემდეგში აღმოჩნდა, რომ ბუნების კანონების აღმწერი ფიზიკური თეორია ინვარიანტულია ე.წ. **ლოკალური ყალიბური** გარდაქმნების მიმართაც.

იმისთვის, რომ თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკის მდგომარეობის აღმწერმა განტოლებებმა (დირაკის განტოლებამ) შეინარჩუნონ თავისი სახე ლოკალური ყალიბური გარდაქმნების მიმართ, საჭიროა, რომ ნაწილაკების ურთიერთქმედების განტოლებებში შევიტანოთ გარკვეული ტიპის ველი, რომელიც ლოკალური ყალიბური გარდაქმნების დროს ისე იცვლება, რომ ნაწილაკებისა და ველის გაერთიანებული თეორია ინარჩუნებს თავის სახეს, ანუ ინვარიანტულია. ამ ტიპის ველს, რომელიც აუცილებელია თეორიის ყალიბურობის დასაკმაყოფილებლად, ყალიბურს უწოდებენ.

აღმოჩნდა, რომ ელექტრონისათვის ასეთი ყალიბური ველი უნდა იყოს ზუსტად ელექტრომაგნიტური ველის თვისებების მატარებელი: ვექტორული, უმასო და უმუხტო.

ამრიგად მივედით ფუნდამენტული მნიშვნელობის დასკვნამდე: ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი წარმოადგენს გლობალური ყალიბური ინვარიანტობის შედეგს. ხოლო, ელექტრომაგნიტური ველის არსებობის მიზეზი ბუნების კანონების ლოკალური ყალიბური ინვარიანტობის შედეგია [19;68].

აღმოჩნდა, რომ ყალიბური გარდაქმნები ადგენენ ჯგუფს. ჯგუფი არის ისეთი გარდაქმნების ერთობლიობა, რომლისათვისაც სრულდება შემდეგი მთავარი პირობა: მიმდევრობით ჩატარებული 2 გარდაქმნის საერთო შედეგი არის ამავე გარდაქმნების რომელიმე გარდაქმნა.

გ. ნიკობაძის მიხედვით, ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებისათვის შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ელექტრომაგნიტური ველი შემოდის როგორც ყალიბური ველი იმ მოთხოვნის შედეგად, რომ ბუნების კანონები ინვარი-

ანტული უნდა იყოს ლოკალური ყალიბური გარდაქმნების ჯგუფის მხარე.

2. ყალიბური ველი ყოველთვის ვექტორულია, ანუ ველის შესაბამისი შუალედური ნაწილაკის სპინი 1-ს ტოლია.

3. ყალიბური ველის ნაწილაკები უმასოა, ამით აიხსნება ფოტონის მასის ნულთან ტოლობა.

4. ერთი ტიპის ველის შემთხვევაში ველის საშუალო ნაწილაკი – ურთიერთომოქმედების გადამტანი, უმუხტოა. სწორედ ასეთია ფოტონი.

5. მუხტის შენახვის კანონი გამომდინარეობს ყალიბური ინვარიანტობიდან ნიოთერის თეორების შესაბამისად.

ამავე იდეებზე დაყრდნობით უნდა აიგოს სხვა ურთიერთქმედების თეორიებიც [19;71].

4. ფერის ძლიერი ძალები

დღეისთვის ცნობილია 6 კვარკი, რომლებიც დაყოფილია 3 თაობად. ჯერჯერობით გაურკვეველი მიზეზების გამო თაობები იმეორებენ ერთმანეთის თვისებებს. გარდა ამისა ჩვეულებრივი მატერია აგებულია პირველი თაობის ნაწილაკებისაგან ამიტომ საკმარისია შემოვიფარგლოთ მხოლოდ პირველი თაობის – u და d კვარკებისა და მათი ანტიკვარკების განხილვით [19;77]

თითოეული კვარკი შეიძლება იყოს 3 სხვადასხვა ფერისა: წითელი (R), მწვანე (G) და ლურჯი (B). ანტიკვარკების ფერი – ანტიფერი ისეთია, რომელიც მის შესაბამის ფერთან ერთად ქმნის ნეიტრალურ ფერს, ანუ უფეროს. ფერსა და ანტიფერს, სხვა მუხტების (ელექტრული, ბარიონული, ლაპტონური) მსგავსად არ ახასიათებენ სანინალმდეგო ნიშნის რიცხვებით. ისმის კითხვა: რატომ? კვარკების 3 ფერის არსებობა შეუძლებელს ხდის ფერის მუხტის დახასიათებას უბრალოდ დადებითი და უარყოფითი რიცხვებით. ამიტომ არის, რომ შემოღებულია ფერების, ერთი შეხედვით **ღვარჯლიანი** (ამ ქართული სიტყვის გამოყენება წარმოადგეს გ. ნიკობაძის მახვილგონივრულ მიგნებას), ტერმინოლოგია, რომელიც ძალიან მოხერხებულად ესადაგება მატერიის სამფეროვან ბუნებას [19;78].

სამივე ფერი ერთნაირი ურთიერთქმედებით ხასიათდება. სამი ფერი ერთმანეთის მიყოლებით ნებისმიერად **RGBRGB...** რომ გადავანაცვლოთ სამყარო უცვლელად დარჩება. ეს კი ნიშნავს, რომ ბუნების კანონები და, კერძოდ, ძლირი ურთიერთქმედების თეორია, სახეს არ უნდა იცვლიდეს (ინვარიანტული უნდა დარჩეს) სამი ფერის გადანაცვლების შედეგად [19;79].

ფერის მუხტების ფიზიკა არსებითად განსხვავდება ელექტრული მუხტების ფიზიკისაგან. ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკების შემთხვევაში ნეიტრალური მდგომარეობა მიიღწევა მხოლოდ ერთი გზით: თუ ერთი ნიშნის მუხტის რაოდენობა გაბათილებულია ასეთივე სიდიდის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტით. ფერის მუხტის შემთხვევაში კი, ნეიტრალური, ანუ უფერო სისტემის მიღება შესაძლებელია მხოლოდ სამი ფერის კომბინაციით. უფერო ბარიონები სწორედ ასეა აგებული 3 სხვადასხვა ფერის კვარკისაგან. უფერონი არიან აგრეთვე მეზონებიც, მაგრამ აქ უფერობა მიიღწევა კვარკის ფერისა და ანტიკვარკის ანტიფერის ურთიერთ განეიტრალებით. ცნობილია, რომ ბუნებაში თავისუფალი სახით არსებობენ და ცდაზე დაიკვირვებიან მხოლოდ ასეთი უფერო ნაწილაკები. ხოლო ერთი ფერის ნაწილაკი, ანუ ცალკეული კვარკი, ბუნებაში არ დაიკვირვება.

აღმოჩნდა, რომ სამი ფერიდან მარტო ორი ფერია დამოუკიდებელი, მესამე ფერი კი პირველი ორის კომბინაციით გამოიხატება.

თეორიაში ფერის ძალების გადამტანი ველი შემოდის იმ მოთხოვნის შედეგად, რომ თეორია ინვარიანტული იყოს სამი ფერის გადანაცვლების მიმართ, რასაც მათემატიკურად შეესაბამება ე. წ. $SU_c(3)$ გარდაქმნათა ჯგუფი. ეს არის მესამე რიგის უნიტარული მატრიცებით გამოსახული გარდაქმნები. S ასო ნიშნავს, რომ მატრიცების დეტერმინანტი 1-ს ტოლია. ხოლო C ინდექსი მიუთითებს, რომ ეს ჯგუფი ფერების გადანაცვლებით გარდაქმნებს წარმოადგენს [19;79].

კვარკებს შორის ურთიერთქმედების მექანიზმი თავის საწყისებში ჰგავს ელექტრომაგნიტური ძალების მექანიზმს: კვარკი ასხივებს სათანადო ველის ნაწილაკებს, რომლებიც

შთაინთქმება მეორე კვარკის მიერ. კვარკების ფერებს შორის ურთიერთმოქმედება მოითხოვს 8 სახის გადამტანის – კვანტის არსებობას. მათ გლუონებს უწოდებენ.

	q_R	q_B	q_G
q_R	$G_1 G_2$	$G_{R\bar{B}}$	$G_{R\bar{G}}$
q_B	$G_{B\bar{R}}$	$G_1 G_2$	$G_{B\bar{G}}$
q_G	$G_{G\bar{R}}$	$G_{G\bar{B}}$	$G_1 G_2$

ნახ. 1.8 SU(3) ფერის სიმეტრია

სვადასხვა ფერის კვარკების ურთიერთქმედებისათვის საჭიროა 6 ფერადი გლუონი. მათ გარდა საჭიროა ისეთი უფერო გლუონები, რომლებიც ურთიერთქმედებას ახდენენ ერთი ფერის მქონე გლუონებს შორის. რადგანაც სამი ფერიდან მხოლოდ ორია ურთიერთდამოუკიდებელი, ამიტომ საჭიროა 2 უფერო გლუონის არსებობა. მათი გამოსხივებითა და შთანთქმით კვარკის ფერი არ იცვლება. ამრიგად სულ გვაქვს 8 გლუონი. მათ მიერ განხორციელებული სხვადასხვა გაცვლის შედეგად წარმოიქმნება ძლიერი ურთიერთქმედება კვარკებს შორის [19;81].

სხვადასხვა ფერი კვარკების ერთმანეთთან ურთიერთქმედებისათვის საჭირო გლუონები თავისი თვისებებით მოცემულია ნახ. 1.8 -ზე.

G_1 და G_2 გლუონები ფერის თვალსაზრისით უფერონი არიან. ხოლო დანაჩენი 6 გლუონი ფერადი – ფერისა და ანტიფერის მატარებელი გლუონებია. მაგალითად $G_{R\bar{B}}$ არის წითელი ფერისა და ლურჯი ანტიფერის მატარებელი, რომელიც წითელი ფერის კვარკს გგადააქცევს ლურჯი ფერის კვარკად.

გლუონები, ისე როგორც ყოველი ყალიბური ველის ნაწილაკები, ფოტონის მსგავსად, 1-ს ტოლი სპინის მქონე უმასო ნაწილაკებია. ამიტომ მათი გაცვლით წარმოქმნილი ძალები ისეთივე შორსქმედი უნდა იყოს, როგორიც უმასო

ფოტონების გაცვლით წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ძალები. მაგრამ გლუონების ფერადობის გამო სულ სხვა სურათი მიიღება.

ყოველი კვარკი თავის გარშემო ქმნის ვირტუალური გლუონების ღრუბელს. გარდა ამისა ვაკუუმიდან განუწყვეტილი იბადებიან და ქრებიან კვარკ-ანტიკვარკების წყვილები. ფერად კვარკების შემთხვევაში ვირტუალური კვარკ-ანტიკვარკების წყვილების არსებობის ეფექტი მოახდენს ძირითადი კვარკის მუხტის ეკრანირებას, მაგრამ ამჯერად სივრცული მუხტის განაწილებაში გავლენას ახდენენ ფერადი გლუონებიც. წერტილოვანი ფერის ნაცვლად ვლუბულობით სასრულო არეში გართხმულ ფერს. რაც უფრო ღრმად შევიჭრებით კვარკის მახლობლობაში, ფერის მუხტის მით უფრო მცირე ნაწილის ზემოქმედებას ვიგრძნობთ. მაშასადამე კვარკების ერთმანეთთან მიახლოვებისას მათ შორის ურთიერთქმედების ინტენსივობა მცირდება. ამიტომ ახლო მანძილებზე კვარკები მოქმედებენ როგორც თავისუფალი ნაწილაკები. მანძილის ზრდასთან ერთად ფერადი მიმზიდავი ძალები, პირიქით, იზრდება. ეს ზრდა იმდენად დიდია, რომ შეუძლებელი ხდება კვარკების ურთიერთ დაცილება. ამის გამო შეუძლებელი ხდება კვარკის ამოგდება მათ მიერ შექმნილი უფერო ჰადრონებიდან. სწორედ ამიტომ ისინი ბუნებაში არ დაიკვირვებიან თავისუფალი სახით [19;85].

ამითაა განპირობებული ფერით გამოწვეული ძლიერი ურთიერთქმედების შესუსტება მცირე მანძილებზე (დიდი ენერგიების არეში) და გაძლიერება შედარებით დიდ მანძილებზე [19;86].

შესაბამისად, მიუხედავად იმისა, რომ ძლიერი ურთიერთქმედების გადამტანი გლუონების მასა ნულის ტოლია, რის გამოც მისი ურთიერთქმედების რადიუსი უსასასრულობის ტოლი უნდა იყოს, მაგრამ გლუონების ფერადოვნების გამო ძლიერი ურთიერთქმედება ახლოქმედებით ხასიათდება.

5. სუსტი ძალები

სუსტი ძალები მთელი რიგი თვისებებით მკვეთრად განსხვავდება ელექტრომაგნიტური და ძლიერი ძალებისაგან. მათ ახასიათებთ ყველაზე რთული აღნაგობა [19;86].

ჩვეულებრივ პირობებში სუსტი ძალები თავს იჩენს ნაწილაკთა დაშლის მოვლენებში. მაგალითად ასეთ პროცესს წარმოადგენს ნეიტრონის β დაშლა, როცა ის გამოასხივებს ელექტრონს e^- და ანტინეიტრინოს $\bar{\nu}_e$, და გადაიქცევა პროტონად p .

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

ნეიტრონი და პროტონი კვარკებისაგან შედგებიან:

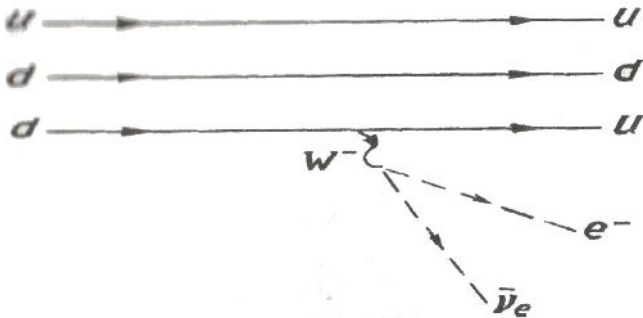
$$n \rightarrow (u, d, d) \text{ და } p \rightarrow (u, u, d)$$

ამიტომ მისი დაშლაც უნდა აიხსნას კვარკების ურთიერთქმედებით.

ნეიტრონის შემადგენლობაში მყოფი d კვარკი, გამოასხივებს რა ელექტრონს e^- და სათანადო ანტინეიტრინოს $\bar{\nu}_e$, გადაიქცევა u კვარკად და ნეიტრონის მაგიერ ვლელულობთ პროტონს. იმისთვის, რომ სუსტი ურთიერთქმედება დამსგავსებოდა ურთიერთქმედების სტანდარტულ სქემას, მიჩნეულ იქნა, რომ ის მიმდინარეობს საშუალოდ ნაწილაკების ე. წ. W ბოზონების გაცვლის მეშვეობით. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონიდან გამომდინარეობს, რომ W ბოზონი დამუხტული უნდა იყოს.

ნეიტრონის დაშლის დროს ნეიტრონში შემავალი d კვარკი გამოასხივებს W^- ბოზონს, რომლის მუხტი -1 -ს ტოლია, ხოლო W^- ბოზონის ანტინაწილაკი W^+ ბოზონისა $+1$ -სა. W^- შემდეგ იშლება ელექტრონად e^- და ანტინეიტრინოდ (იხ. ნახ. 1.9).

აღმოჩნდა, რომ სუსტი ძალები მოქმედებენ ძალიან მცირე 10^{-16} სმ მანძილზე, რის გამოც W ბოზონების მასა ძალიან დიდი უნდა იყოს.



ნახ. 1.9

1970 წლისათვის აღმოჩენილ იქნა ისეთი სუსტი პროცესები, რომლებიც ელექტრულად ნეიტრალური საშუალებო ბოზონით ხორციელდება, და რომელსაც Z^0 ბოზონი ეწოდა.

აღმოჩნდა, რომ W^\pm და Z^0 ბოზონები 1-ს ტოლი სპინით ხასიათდება, ანუ ვექტორული ნაწილაკებია.

ამრიგად, ყველა ჩვენთვის ცნობილი ურთიერთქმედება ვექტორული საშუალებო ნაწილაკებით ხორციელდება. რაც იმაზე მეტყველებს, რომ სამივე ძალას გააჩნია წარმოქმნის ერთიანი მექანიზმი [19;89].

თვალში საცემია ერთი არსებითი განსხვავება:

აღმოჩნდა, რომ სუსტი ძალები ძალიან მცირე მოქმედების რადიუსით $- 10^{-16}$ სმ გამოირჩევა. ეს კი, ურთიერთქმედების გადამტანების ენაზე, იმას ნიშნავს, რომ სუსტი ძალების გადამტანი საშუალებო ვირტუალური ნაწილაკი $- W$ ბოზონი $-$ ძალიან დიდი მასის უნდა იყოს. 10^{-16} სმ რიგის მანძილებს ეთანაება 100 გევ მასის ნაწილაკები (მაშინ, როცა პროტონის მასა 1 გევ-ზე ნაკლებია). ელექტრომაგნიტური და ძლიერ ურთიერთქმედებების საშუალებო ნაწილაკები უმასოა.

ეს გარემოება, ერთი შეხედვით, წარმოადგენს გადაულახავ სიძნელეს სუსტი ძალების წარმოქმნის მექანიზმის სტანდარტული $-$ ყალიბურ ინვარიანტობაზე დაყრდნობით ახსნისათვის, რომლის მიხედვით საშუალებო ნაწილაკები უნდა იყოს

1-ს ტოლი სპინის მქონე ნაწილაკები, ნულის ტოლი მასით. თეორიის ეს მოთხოვნა კი, არ შეესაბამება ექსპერიმენტს. ფიზიკოსებმა მრავანლიანი შრომით გადალახეს ეს წინააღმდეგობა. ამის განსახილავად საჭიროა პასუხი გაეცეს შემდეგ კითხვას:

რა წარმოადგენს სუსტი ურთიერთქმედების წყაროს?

ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებებში მონაწილეობენ მხოლოდ დამუხტული ნაწილაკები. ძლიერ ურთიერთქმედებებში – მხოლოდ ფერადი ნაწილაკები, ანუ კვარკები და გლიონები. აღმოჩნდა, რომ სუსტ ურთიერთქმედებებში მონაწილეობენ როგორც კვარკები, ისე ლეპტონები, და როგორც დამუხტული, ისე ნეიტრალური ნაწილაკები. აქედან გამომდინარე სუსტი ურთიერთქმედების წარმომქმნელი მუხტის-მაგვარი სიდიდე ნაწილაკების ისეთ თვისებებში უნდა ვეძებოთ, რაც დამახასიათებელია ყველა ნაწილაკისათვის. ასეთ თვისებას კი **სპინი** წარმოადგენს. მართლაც აღმოჩნდა, რომ სუსტი ურთიერთქმედების წყაროს წარმოადგენს სპინი [19;90].

სპინი განისაზღვრება მარჯვენა და მარცხენა სპირალობით. მარჯვენად მიჩნეულია ისეთი ნაწილაკის სპირალობა, რომლის სპინის ვექტორი მიმართულია ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულების – სიჩქარის გასწვრივ. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ ნაწილაკის სპირალობა $+1/2$ -ს ტოლია, ან ნაწილაკი მარჯვენაა. სპინის საწინააღმდეგო მიმართულების შემთხვევაში კი – ნაწილაკი მარცხენაა და მისი სპირალობა – $1/2$ -ს ტოლია.

ამრიგად, ნაწილაკები სხვა კვანტურ როცხვებთან ერთად შეიძლება აგრეთვე დახასიათდეს სპირალობით. სწორედ სპირალობა განსაზღვრავს ნაწილაკის თვისებებს სუსტი ურთიერთქმედების თვალსაზრისით.

აღებული ნაწილაკისათვის სპირალობა არ არის უცვლელი. ერთი და იგივე ნაწილაკი, მაგალითად ელექტრონი, შეიძლება იყოს როგორც მარჯვენა სპიტალობის მდგომარეობაში, ისევე – მარცხენაშიც. უფრო მეტიც ეს მდგომარეობები შეიძლება ერთმანეთში გადავიდნენ. ნეიტრინო, რომლის მასა ნულის ტო-

ლია და, მაშადაძე, ყოველთვის მოძრაობს სინათლის სიჩქარით, ყოველთვის ინარჩუნებს თავის სპირალობას.

ცდებით დადგენილია, რომ ნეიტრინოს სპირალობა ყოველთვის უარყოფითია (მარცხენაა), ანტინეიტრინოს სპირალობა კი ყოველთვის დადებითია (მარჯვენაა).

მრავალი ექსპერიმენტული მონაცემის ანალიზის შედეგად გამოირკვა, რომ სუსტ ურთიერთქმედებაში მონაწილეობენ მხოლოდ მარჯვენა ნაწილაკები და მარცხენა ანტინაწილაკები. ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ სუსტი ურთიერთქმედების წყაროს წამომქმნელი მუხტის როლს ასრულებენ ნაწილაკების მარცხენა სპირალობა და ანტინაწილაკების მარჯვენა სპირალობა. დანარჩენი ნაწილაკებისათვის „სუსტი მუხტი“ ნულის ტოლია (ანუ ნეიტრალურია სუსტი მუხტის თვალსაზრისით) [19;94].

სპირალობის მიხედვით ბუნებაში არსებობს მხოლოდ მარცხენა ნეიტრინოები და მარჯვენა ანტინეიტრინოები [19;93].

უმასობის გამო ნეიტრინო ყოველთვის ინარჩუნებს თავის სპირალობას (სპინის მიმართულებასა და მნიშვნელობას) [19;99].

უმასო კვარკებისა და ლეპტონებისაგან აგებულ წარმოსახვით (ვირტუალურ) სამყაროში ყველა ფუნდამენტარულ ნაწილაკს ექნება გარკვეული უცვლელი სპირალობა [19;93]

სუსტი მუხტი არ ინახება. ის შეიძლება გაქრეს ან წარმოიშვას [19;98].

როგორც აღვნიშნეთ მეორე და მესამე თაობის ფუნდამენტული ნაწილაკები (ლეპტონები და კვარკები) იმეორებენ პირველი თაობის ნაწილაკების თვისებებს და არ მონაწილეობენ ჩვეულებრივი მატერიის აღნაგობაში.

ამიტომ სავსებით საკმარისია შემოვიფარგლოთ მხოლოდ პირველი თაობის ნაწილაკებით.

ეს 4 ნაწილაკი და ანტინაწილაკი სპირალობის გათვალისწინებით ბუნებრივად ჯგუფდება 2 წყვილად, მარცხენა სპირალობის L-ის მიხედვით:

$$\begin{pmatrix} \epsilon_L \\ e_L^- \end{pmatrix} \text{ და } \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}$$

და მარჯვენა სპირალობის R-ს მიხედვით:

$$\begin{pmatrix} e_R^+ \\ \bar{\epsilon}_R \end{pmatrix} \text{ და } \begin{pmatrix} \bar{d}_R \\ \bar{u}_R \end{pmatrix}$$

სუსტი გაცვლები ხდება მხოლოდ დუბლეტში შემავალ ნევრებს შორის.

SU(2) სიმეტრიის შესახებ. აღმოჩნდა, რომ სპირალობის მქონე ფუნდამენტული ნაწილაკების ორივე დუბლეტის ქვედა ნევრი, სუსტი ურთიერთქმედების მიმართ, ერთნაირად იქცევა:

$$d \rightarrow u + W^-$$

$$e^- \rightarrow \epsilon_e + W^-$$

იგივე ითქმის ზედა ნევრებზეც. მაშასადამე ϵ_L და u_L ერთნაირი სუსტი მუხტით უნდა დახასიათდეს, ისევე როგორც e_L^- და d_L .

ნაწილაკების გაერთიანებას დუბლეტებად ღრმა ფიზიკური შინაარსი გააჩნია. იგი ასახავს სუსტი ურთიერთქმედების თეორიის სიმეტრიის თვისებებს. ყველა დუბლეტში ზედა ნაწილაკი ქვედა ნაწილაკით რომ შევცვალოთ, მივიღებთ იგივე თეორიას იგივე შესაძლი პროცესებით. ასეთ სიმეტრიას SU(2) სიმეტრია ეწოდება (თუმცა აქ მხოლოდ მიახლოებით სიმეტრიაზეა ლაპარაკი) [19;96].

თეორიის სიმეტრიულობიდან კი, ნიოთერის თეორემის თანახმად, გამოდის შენახვადი სიდიდის არსებობის აუცილებლობა. ამ შემთხვევაში ეს სიდიდე სუსტი მუხტია. თეორიის თანახმად სუსტი მუხტის მნიშვნელობა დუბლეტების ზედა ნევრებისათვის (ϵ_L და u_L) $+1/2$ -ის ტოლია, ხოლო ქვედა ნევრებისათვის (e_L და d_L) კი $-1/2$ -ს ტოლი.

რაც შეეხება ნაწილაკთა მარჯვენა სპირალობის და ანტინაწილაკთა მარცხენა სპირალობის მდგომარეობას, ისინი არ მონაწილეობენ სუსტ ურთიერთქმედებებში. მათ შორის

გადასვლები არ ხდება და, ისინი სინგლეტებად რჩებიან. რის გამოც მათ ნულოვანი სუსტი მუხტი მიენერება. ეს ყველაფერი შეჯამებულია ცხრილში 1. 3.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ W^- და W^+ ბოზონების სუსტი მუხტი შესაბამისად $+1$ -სა და -1 -ს ტოლია, მაშინ სუსტი პროცესები ისეთნაირად ჩაინერება, რომ ჯამური სუსტი მუხტი ინახებოდეს. მაგრამ, ელექტრული და ფერადი მუხტისგან განსხვავებით სუსტი მუხტი არ ინახება: იგი შეიძლება გაქრეს ან წარმოიშვას. ყველა ნაწილაკი რომ უმასო ყოფილიყო, ნეიტრინოს მსგავსად, მაშინ სუსტი მუხტის შენახვის კანონი ძალაში იქნებოდა, ხოლო $SU(2)$ სიმეტრია – ზუსტი [19;98].

სწორედ ასეთ ვითარებას მიუახლოვდებით ძალიან დიდი ენერგიების შემთხვევაში, როცა ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიები იმდენად დიდია, რომ შეიძლება მათთან შედარებით მასების უგულვებლყოფა. მაშინ ასეთი ნაწილაკები თავისი თვისებებით ნეიტრინოებს დაემსგავსება. ანუ დიდი ენერგიების ზღვრულ შემთხვევაში აღდგება ზუსტი სიმეტრია და შენახვადი იქნება სუსტი მუხტი.

ამრიგად, სუსტი ურთიერთქმედების შესახებ შეიძლება გამოითქვას შემდეგი მოსაზრებები:

1. დიდი ენერგიის პირობებში, ელექტრომაგნიტურისა და ძლიერის მგავსად, სუსტ ურთიერთქმედებასაც გააჩნიათ თავისი სიმეტრია, სახელდორ, $SU(2)$ სიმეტრია;

2. სუსტი ძალების წყაროდ შეიძლება მივიჩნიოთ ნაწილაკთა გარკვეული სპირალობა და დაუკავშიროთ მას შესაბამისი სუსტი მუხტი;

3. სხვა ძალების მსგავსად, სუსტი ურთიერთქმედებაც ხორციელდება ვექტორული ბოზონების მეშვეობით, ოღონდ, ფოტონებისა და გლუონებისაგან განსხვავებით, მათთვის დამახასიათებელია დიდი მასები;

4. შედარებით დაბალი ენერგიების დროს სუსტი ურთიერთქმედების სიმეტრია დარღვეულია, რაც გამოიხატება იმაში, რომ სათანადო მუხტი არ ინახება. ამით სუსტი ურთიერთქმედება არსებითად განსხვავდება ელექტრომაგნიტურისა

და ფერის ურთიერთქმედებისაგან, სადაც საქმე გვაქვს ზუსტ სიმეტრიებთან. რაც უფრო მაღალი იქნება ენერგიები, მით უფრო კარგად შესრულდება სუსტი ურთიერთქმედების $SU(2)$ -სიმეტრია და მით უფრო დაემსგავსება სუსტი ურთიერთქმედების თვისებები სხვა სახის ურთიერთქმედებს. უკანასკნელი 2 მუხლი შეიძლება აიხსნას ე.წ. სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის მექანიზმის საფუძველზე.

სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა. სუსტი ურთიერთქმედება, სხვათა მსგავსად, აღინერება ლოკალური ყალიბური სიმეტრიის მქონე ურთიერთქმედებით, რომლის მიხედვით სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანებს წარმოადგენენ W^\pm და Z^0 ვექტორული ბოზონები. მათი არსებობა ექსპერიმენტულად დადასტურდა, მაგრამ მიუხედავად ამისა, რომ სუსტი ურთიერთქმედება კარგად აღინერება ყალიბური ველის მეშვეობით, მისი აღიარება აწყდებოდა დიდ წინააღმდეგობას. საქმე იმაშია, რომ ყალიბური ველები თავისი ბუნებით შორსქმედია, ამიტომ მისი გადამტანების მასა, ფოტონების მსგავსად, ნულის ტოლი უნდა იყოს. სინამდვილეში, როგორც აღვნიშნეთ, სუსტ ურთიერთქმედებას ადგილი აქვს მხოლოდ ძალიან მცირე მანძილებზე და მის გადამტანებს გააჩნია ძალიან დიდი მასა. ამ შემთხვევაში კი ყალიბური ინვარიანტობა ირღვევა. როგორ შეიძლება შეთავსდეს ყალიბური სიმეტრიისა და მისი არანულოვანი მასის მქონე გადამტანების არსებობა [75;132].

ამ თავსატეხი ამოცანის ამოხსნა 1967 წელს მოიძებნა ვაინბერგისა და სალამის მიერ. მათ წამოაყენეს გონებამახვილური იდეა, რომელიც შემდეგ სახელდებულ იქნა სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის სახელწოდებით.

ამრიგად, 60-იანი წლებისთვის, ოფიციალური მეცნიერების მიხედვით, არსებობს ოთხი სახის ფუნდამენტალური ურთიერთქმედება, რომლებიც განაპირობებენ მინერალურ სამყაროში მიმდინარე ყოველგვარ პროცესებს:

1. შორსქმედი გრავიტაციული ძალა;
2. შორსქმედი ელექტრომაგნიტური ძალა;

3. ახლოქმედი „ფერის“ ძლიერი ძალები;

4. ახლოქმედი სუსტი ძალები.

ისინი ხასიათდებიან ურთიერთქმედების ინტენსივობით, რომლის ზომად მიჩნეულია უგანზომილებო სიდიდეები. ძლიერი ურთიერთ ქმედებისათვის, ის მიღებულია 1-ის ტოლად. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ინტენსიობა ძლიერთან შედარებით 137-ჯერ, სუსტისა - 10^{13} -ჯერ, გრავიტაციულისა კი - 10^{38} -ჯერ ნაკლებია.

ძალები		გადამტ. სახე		მასა (გევ)	სპინი(S)	ელ. მუხ. q/e	სიჩ. (v/c)
მიკროსამყარ.	ძლიერი	გლუონი	G	0	0	0	1
	სუსტი	ბოზონები	W^-	81,8	1	1	≤ 1
			W^+	81,8	1	1	
Z^0			93	1	0		
კოსმოსური	ელექ.მა	ფოტონი		0	1	0	1
	გრავიტ.	გრავიტონი		0	2	0	1
ინფორმა	ბიონფორმაციონი			0	~	0	≤ 1
	გონინფორმაციონი			0	~	0	?

ცხრილში 1.3 ურთიერთქმედების გადამტანი საშუალებდო ნაწილაკების თვისებები*ჰიპოთეზური გადამტანები

ჩვენი მოსაზრებით ბიოსფეროში უნდა მოქმედებდეს „ბიონფორმაციული ძალები“, ხოლო ადამიანებს შორის დამატებით უნდა მოქმედებდეს მეექვსე ტიპის ძალაც, რომლითაც განპირობებულია „აზრისეული“ ურთიერთქმედება. ინფორმაციული

ურთიერთქმედების გადამტანებს წარმოად-გენენ „ინფორმაციონები“, რომლებიც ჩვენი აზრით ხასიათდებიან ურთიერთქმედების უსასრულო რადიუსით და ურთიერთქმედების გადაცემის ნებისმიერი შეუზღუდავი სიჩქარით. ამჟამად, მეცნიერების მიერ შემოტანილია „ინფორმაციული ურთიერთქმედების“, „ინფორმაციული ველისა“ და „ინფორმაციული დინამიკის“ ცნებები [134].

ამრიგად, შეიძლება ითქვას, რომ ჰიპოთეზურ „ინფორმაციონებთან“ ერთად გვექნება ექვსი სხვადასხვა ტიპის ურთიერთქმედების გადამტანი (იხ. ცხრილი 1.3).

დასკვნა: მინერალური სამყარო სავსებით დამაკმაყოფილებლად აღინერება ოთხი სახის ფუნდამენტური > გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი ურთიერთქმედებით. მაგრამ ცოცხალი ბუნებისა და საზოგადოებრივი ურთიერთობის აღსანერად აუცილებელია სასიცოცხლო ძალის, გონიერებისა და ინფორმაციული ურთიერთქმედების გათვალისწინებაც.

თავი 1. 9 ძალთა გაერთიანება

შესავალი

მეცნიერების დანიშნულება არსობრივად ერთიანობის ძიებაში მდგომარეობს.

ფუნდამენტური ფიზიკა ყოველთვის იკვლევდა გზას ცოდნათა გაერთიანებისაკენ. ამჟამად ფიზიკოსებს შორის იზრდება რწმენა, რომ იწყება ყოვლიმომცველი ერთიანი თეორიის გამომჟღავნება.

ახალი კავშირების აღმოჩენა არა მარტო უბრალოდ აერთიანებს ჩვენს ცოდნას, არამედ გზას გვიჩვენებს ჩვენთვის ადრე უცნობი მოვლენისაკენ. მაგალითად, მასისა და ენერგიას შორის კავშირის აღმოჩენამ გზა გაუხსნა ბირთვულ ენერგეტიკას.

ჯერ კიდევ საუკუნის წინ ფარადეიმ და მაქსველმა უჩვენეს, რომ ელექტრული და მაგნიტური ველები შეიძლება აღინეროს ერთიანი ელექტრომაგნიტური ველის თეორიის მეშვეობით. ამ გაერთიანებამ უდიდესი გავლენა მოახდინა შემდეგდროინდელ მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებაზე.

ძალთა გაერთიანების მიმართულებით შემდგომი ნაბიჯი გადადგა აინშტაინმა. მან სცადა შეექმნა ერთიანი თეორია ელექტრომაგნიტური და გრავიტაციული ველებისათვის, მაგრამ უშედეგოდ.

ფიზიკოსების ნატურის საგანს წარმოადგენდა და წარმოადგენს ბუნებაში არსებული 4 ფუნდამენტური ძალების გაერთიანება ერთი სუპერძალის ფარგლებში.

XX საუკუნის 60-იან წლებში 4-დან ყოველი ურთიერთქმედება აღინერებოდა თავისი თეორიით, რომელთაგან მხოლოდ კვანტური ელექტროდინამიკა იყო ყოველმხრივ დამაკმაყოფილებელი. ფიზიკოს-თეორეტიკოსებმა დაიწყეს ფიქრი იმის შესახებ, თუ რა განსაკუთრებული თვისებებით განსხვავდება ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება სხვებისაგან. თუ ეს საკითხი გარკვეული იქნებოდა, მაშინ სხვა ურთიერთქმედების თეორია შეიძლება ისე შეეცვალოს, რომ მასშიც გაგეთვალისწინებინა კვანტური აღწერაც.

ფიზიკოსების ბოლოდროინდელი აღმოჩენები იმიტომ იწვევენ ენთუზიაზმს, რომ საშუალებას იძლევიან ერთიანი თეორიის ფარგლებში მოიცვან ბუნების ყველა მოვლენა (ისინი თითქოსდა აერთიანებენ ჩვენი უაღრესად რთული სამყაროს ნაწილებს) [75;11].

ამ მხრივ წარმატებული ნაბიჯი გადაიდგა მხოლოდ გასული საუკუნის 60-იან წლებში, როცა ნაჩვენებ იქნა, რომ მათემატიკურად ელექტრომაგნიტიზმი შეიძლება გაერთიანდეს ე.წ. სუსტ ურთიერთქმედებასთან. ამ ახალმა თეორიამ იწინასწარმეტყველა სინათლის ახალი სახე, საიდუმლოებით მოცული Z^0 ნაწილაკების სახით, რომლებიც 1953 წელს აღმოჩენილ იქნა ჟენევაში აშენებულ ახალ, დიდი ენერგიის მქონე, ამარქარებელზე. შემდეგში ფიზიკოს-თეორეტიკოსები

უფრო წინ წავიდნენ. მათ ჩამოაყალიბეს უფრო ამბიციური თეორია, რომელიც აერთიანებს სამ – ელექტრომაგნიტურ, სუსტ და ძლიერ ურთიერთქმედებას, და რომელსაც დიდი გართიანება უწოდეს. ჯერ განვიხილოთ ელექტროსუსტი ურთიერთქმედება.

1. ელექტროსუსტი ურთიერთქმედება

ძალების უნიფიკაციის მიმართულებით უნიშვნელოვანესი როლი შეასრულა გლემოუს და სალამის ჰიპოთეზამ, რომლის თანახმად ელექტრომაგნიტური ძალა და სუსტი ურთიერთქმედება ერთიანი „ელექტროსუსტი“ ურთიერთქმედების განსხვავებული ასპექტებია.

1961 წელს, კალიბრული სიმეტრიის კონცეფციაზე დაყრდნობით, გლემოუმ გამოთქვა ელექტრო-სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი ოთხი კვანტის არსებობის ჰიპოთეზა, რომელთა შორის ერთ-ერთი ელექტრო-მაგნიტური ველის კვანტი – ფოტონი შედიოდა. დანარჩენი სამი ნაწილაკი – W^+, W^- და Z^0 (ვექტორული ბოზონები) – სუსტი ურთიერთქმედების გადატანას ემსახურებოდა.

იმისთვის, რომ მოინახოს მსგავსება ელექტრომაგნიტურსა და სუსტ ურთიერთქმედებებს შორის გ. ნიკობაძემ განიხილა ფუნდამენტული ნაწილაკების დუბლეტები. მან ყურადღება გაამახვილა დუბლეტებში შემავალი ნაწილაკების ელექტრული მუხტების საშუალო მნიშვნელობაზე.

მაგალითად $\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}$ დუბლეტში შემავალი u და d კვარკების მუხტების საშუალო \bar{q} - ს მნიშვნელობა ტოლია: $\bar{q} = (2/3 - 1/3)/2 = 1/6$. ამგვარად გამოთვლილი დუბლეტებისა და სინგლეტების საშუალო მუხტის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 3. მეტად საინტერესოა, რომ ყველა შემთხვევაში ცალკეული ნაწილაკის ელექტრული მუხტი ტოლია ადებული ნაწილაკის საშუალო მუხტისა და სუსტი მუხტის ჯამისა (იხ, ცხრილი 1.4). [19;100].

ნანი ლაკი	სუსტი მუხტი	საშ. \bar{q} მუხტი	ელ. მუხტი
U e_L^-	+1/2 -1/2	-1/2	0 -1
u_L d_L	+1/2 -1/2	+1/6	+2/3 -1/3
e_R^+ $\bar{\nu}_R$	+1/2 -1/2	+1/2	+1 0
\bar{d}_R \bar{u}_R	+1/2 -1/2	-1/6	+1/3 -2/3
e_R^-	0	-1	-1
e_L^+	0	+1	+1
u_R	0	+2/3	+2/3
\bar{u}_L	0	-2/3	-2/3
d_R	0	-1/3	-1/3
\bar{d}_L	0	+1/3	+1/3

ცხრილი 1. 4

მაგალითად u კვერკისათვის გეჟნება: $1/6 + 1/2 = 2/3$, ხოლო d კვარკისათვის: $1/6 - 1/2 = -1/3$. ამ თანაფარდობების გამო ნანილაკი შეიძლება დახასიათდეს საშულო და სუსტი მუხტით, ნაცვლად ელექტრული და სუსტი მუხტისა, რადგანაც ისინი ცალსახად განსაზღვრავენ ნანი-ლაკის ელექტრული მუხტის სიდიდესაც. სუსტი ურთიერთ-ქმედების თეორიაში ელექტრული მუხტის საშუალო მნიშვნე-ლობას $u(1)$ მუხტს უწოდებენ.

რადგანაც ცალკეული ნაწილაკების მუხტები ინახება, საშუალო $u(1)$ მუხტიც უნდა ინახებოდეს. ამიტომ $u(1)$ მუხტის შენახვა რაღაც სიმეტრიას უნდა შეესაბამებოდეს.

განვიხილოთ დუბლეტში შემავალ ნაწილაკებს შორის ისეთი ურთიერთქმედება, რომელიც ელექტრონს გადაიყვანს ელექტრონში, ხოლო ნეიტრინოს – ნეიტრინოში. ასეთ ურთიერთქმედებას შეესაბამება $U(1)$ სიმეტრია, რომელიც ხორციელდება V^0 ნეიტრალური ბოზონით. მისი გამოსხივება ან შთანთქმა არ ცვლის ნაწილაკის გვარობას. $U(1)$ ის შესაბამისი ურთიერთქმედება მოცემულია შემდეგ ნახაზზე:

	ϵ_e	e^-
ϵ_e	V^0	-
e^-	-	V^0

ნახ.1.10 $U(1)$ სიმეტრიის შესაბამისი ურთიერთქმედება

$U(1)$ ურთიერთქმედებას საფუძვლად უდევს შემდეგი ძირითადი პროცესები:

$$\begin{aligned} \epsilon_e &\rightarrow \epsilon_e + \nu^0 \\ e^- &\rightarrow e^- + \nu^0 \\ u &\rightarrow u + \nu^0 \\ d &\rightarrow d + \nu^0 \end{aligned}$$

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ამგვარი $U_{em}(1)$ სიმეტრიის შედეგია, ოღონდ მოქმედებს მხოლოდ ელექტრულად დამუხტულ ნაწილაკებს შორის.

	ϵ_L	e_L^-
ϵ_L	W^0	W^+
e_L^-	W^-	W^0

ნახ.1.11 $SU(2)$ სიმეტრიის შესაბამისი ურთიერთქმედება

ნახ. 1.11 ზე გამოსახულია $SU(2)$ სიმეტრიით დაკავშირებული 2 ნაწილის ყველა შესაძლო ურთიერთგადასვლა. რომელიმე სტრიქონში მითითებული ნაწილაკი ასხივებს რა ამ სტრიქონის ერთ-ერთ უჯრედში მოთავსებულ ბოზონს, გადაიქცევა ამ უჯრედის სვეტის თავზე მოთავსებულ ნაწილაკად:

$$e_L^- \rightarrow \nu_L + W^-$$

$$e_L^- \rightarrow e_L^- + W^0$$

W^0 საშუალოდ ბოზონიც ν^0 -ვით ნეიტრალურია ყველა სახის მუხტის მიმართ.

$SU(2)$ ურთიერთქმედება ხორციელდება სამი საშუალოდ ბოზონით, რომელთაგან ერთი ნეიტრალურია. W^0 ბოზონი იბადება ან შთაინთქმება მხოლოდ მარცხენა სპირალობის ნაწილაკის მიერ.

როგორც ვიცით, ექსპერიმენტის მიხედვით, ელექტრომაგნიტური ძალების საშუალოდ ბოზონია X კვანტი, ხოლო სუსტი ძალების ერთერთი გადამტანია Z^0 ბოზონები. ახლა კი თეორიიდან შემოვიდა კიდევ 2 ასეთი ნეიტრალური ν^0 და W^0 ბოზონები. ისმის კითხვა: რა კავშირი უნდა ჰქონდეთ მათ ბუნებაში არსებულ X -სთან და Z^0 -თან?

გავიხსენოთ, რომ ელექტრული მუხტი წარმოადგენს $U(1)$ სიმეტრიის და $SU(2)$ სიმეტრიის შესაბამისი მუხტების ჯამს. მაშესადამე X კვანტი წარმოადგენს ν^0 და W^0 ბოზონების გარკვეულ წრფივ კომბინაციას; ხოლო Z^0 ბოზონი კი – მეორე წრფივ კომბინაციას. X კვანტი და Z^0 ბოზონიც ν^0 და W^0 ბოზონების მსგავსად ჭეშმარიტად ნეიტრალური ვექტორული ნაწილაკებია. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ X კვანტი ურთიერთქმედებს მხოლოდ ელექტრულად დამუხტულ ნაწილაკებთან, Z^0 ბოზონი კი – მხოლოდ სუსტი მუხტის მქონე ნაწილაკებთან.[19;103].

ამრიგად, ჩვენი პირველადი $U(1)$ და $SU(2)$ სიმეტრიები ერთმანეთს დაუკავშირდა და მოხდა მათი გაერთიანება ერთ

სიმეტრიაში, რომელსაც $SU(2) \times U(1)$ სიმეტრიას უწოდებენ. გამრავლების ნიშანი აქ სწორედ გაერთიანების აღმნიშვნელი მაჩვენებელია. სუსტი და ელარქტრომაგნიტური ძალების გაერთიანებული სიმეტრიის შესაბამისი თვალსაჩინო სურათი მოცემულია ნახ. 1.12-ზე [19;104].

	ϵ_L	e_L^-
ϵ_L	$(\nu^0, W^0) \sim Z^0$	W^+
e_L^-	W^-	$(\nu^0, W^0) \sim Z^0$

ნახ. 1.12

ამ თეორიას სერიოზული პრობლემა შეექმნა. მასში ურთიერთქმედების გადამტან ნაწილაკებს არ გააჩნიათ მასა, ამიტომ სუსტი ურთიერთქმედების რადიუსი უსასრულოების ტოლი უნდა იყოს, რაც ექსპერიმენტურ რეალობასთან აშკარა წინააღმდეგობაშია, რადგან სუსტი ურთიერთქმედება მხოლოდ ძალიან მცირე მანძილებზე ვლინდება.

ამ პრობლემიდან კარგი გამოსავალი მონახა ამერიკელმა ფიზიკოსმა **სტივენ ვაინბერგმა** (1933-1979). მან 1967 წელს გამოაქვეყნა ელექტროსუსტი თეორიის საკუთარი ვარიანტი. მისი თეორიის ქვაკუთხედს სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა წარმოადგენს. ფოტონი ამ თეორიაში კვლავინდებურად უმასოა, მაგრამ დანარჩენი სამი ნაწილაკი გარკვეული მასით ხასიათდება. ამრიგად ყალიბური სიმეტრიისა და მისი სპონტანური დარღვევის იდეებზე დაყრდნობით მოხერხდა ელექტრომაგნიტურისა და სუსტი ძალების ყველა ძირითადი თვისობრიობის ახსნა და ამ ძალების ერთიანი თეორიის აგება. დღეისთვის არ არსებობს არც ერთი ექსპერიმენტული ფაქტი, რომელიც ეწინააღმდეგება ამ თეორიას. პირიქით, თეორიამ იწინასწარმეტყველა ბევრი მოვლენა, რომლებიც შემდგომში ცდებით იქნა დადასტურებულ [21;110].

1983 წლის იანვარში ცერნში აღმოჩენილ იქნა W^\pm -ბოზონები. შედეგების საბოლოო დამუშავების შემდეგ გამოა-

ქვეყნის სტატია, რომელსაც ხელს აწერდა 138 ავტორი. 1984 წელს აღმოჩენილ იქნა ნეიტრალური Z^0 ბოზონიც. მათი მასების სიდიდეები შემდეგია[121;337]:

$m_w=(81 \pm 2)$ გავ; $m_z=(94 \pm 2)$ გევ. ელექტროსუსტი თეორიის შექმნაში შეტანილი ფუნდამენტული წვლილის გამო **შ. გლეშოუს, ს. ვაინბერგსა და ა. სალამის** მიენიჭათ 1979 წლის ნობელის პრემია ფიზიკაში.

მაღალ ენერგიაზე სუსტი და ელექტრომაგნიტური ძალები იდენტურია. მათი ინტენსივობა ერთნაირია, რადგან ვექტორული ბოზონების გაჩენის ალბათობა ენერგიის მაღალ მნიშვნელობებზე ფოტონების გაჩენის ალბათობას უტოლდება. დაბალ ენერგიებზე ფოტონები გაცილებით ხშირად იბადებიან, ვიდრე სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკები (ბოზონების დიდი მასის გამო მათ დაბადებას მაღალი ენერგია სჭირდება, მასა და ენერგია ფარდობითობის თეორიის თანახმად, ეკვივალენტური სიდიდეებია), რის გამოც სუსტი ურთიერთქმედება დაბალი ინტენსივობისაა და თავს ექსტრემალურად მცირე მასშტაბებზე იჩენს. ს. ვაინბერგის თეორიის მიხედვით, $SU(2)$ სიმეტრია, რომელიც არ ირღვევა ძალიან მაღალ ენერგიებზე, დაბალ ენერგიებზე სუსტ ურთიერთქმედებებში სპონტანურად ირღვევა. ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედების გამაერთიანებელი $SU(2) \times U(1)$ თეორია უშვებს, რომ არსებობს სკალარული ველი, რომელსაც უმასო და ნულოვანი სპინის მქონე ნაწილაკები (ჰგის ნაწილაკები) ეთანადება. ეს ნაწილაკები შეადგენენ დუბლეტებს სუსტი მუხტის მიხედვით და ურთიერთქმედებენ როგორც ფუნდამენტურ ნაწილაკებთან, ისე ერთმანეთთანაც. რაც მთავარია, სკალარული ველების თვისებები ისეთია, რომ მდგომარეობაში, რომელშიც არა გვაქვს რეალური ნაწილაკები და შესაბამისად ყველა ველი ნულის ტოლია (მდგომარეობა, რომელსაც ჩვეულებრივ ვაკუუმს ვუნოდებთ) აღარ არის ყველაზე დაბალი ენერგიის მქონე მდგომარეობა. სკალარული ნაწილაკების ერთმანეთთან ურთიერთქმედების შედეგად უფრო დაბალი ენერგია ექნება ისეთ მდგომარეობას, როდესაც

ვაკუუმში არსებობს ნულისაგან განსხვავებული, გარკვეული სიდიდის სკალარული ველი – ე.წ. სკალარული ველის ვაკუუმური კონდენსატი [19;108].

კვანტური ფიზიკის მიხედვით ასეთი სკალარული ველი წარმოადგენს ერთობას ნეიტრალური ბოზონებისა, რომლებიც ცნობილია **ჰიგსის ბოზონების** სახელწოდებით. მათ ზოგი მეცნიერი **ღვთაებრივ ნაწილაკებსაც** უწოდებს.

ღვთაებრივი ნაწილაკები. ელემენტარული ნაწილაკების აღწერის სტანდარტული მოდელი ყველა ცნობილი ელემენტარული ნაწილაკებისა და იმ საშუალებების აღწერას ახერხებს, რითაც ისინი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ. მაგრამ სტანდარტული მოდელი ვერ პასუხობს მარტივ შეკითხვაზე: რატომ აქვს ელემენტარული ნაწილაკების უმრავლესობას მასა? ერთი შეხედვით, მასის კონცეფციას ნაწილაკების ფიზიკის სტანდარტულ მოდელში ადგილი არ გააჩნია. როგორც ვნახეთ, მოდელის მიერ აღწერილი ძალებიდან ორი – ელექტრომაგნეტური და სუსტი ძალა – შეიძლება ერთი თეორიით, ელექტროსუსუტი ურთიერთქმედებით აღინეროს. თუმცა თეორიის განტოლებები სწორია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ძალის მატარებელი ყველა ელემენტარული ნაწილაკი მასის გარეშე იქნება. ექსპერიმენტმა კი აჩვენა, რომ სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკები მასის მატარებელნი არიან. ფიზიკოსებმა პეტერ ჰიგსმა, რობერტ ბროუტმა და ფრანსუა ანგლერტმა (**Peter Higgs, Robert Brout, Francois Englert**) შემოგვთავაზეს ამ ამოცანის ამოხსნა, რომელიც წარმოადგენს სტანდარტული მოდელის შესწორებას. მათი თეორია მდგომარეობს იმაში, რომ ზუსტად სამყაროს „დიდი აფეთქების“ შემდეგ არცერთ ნაწილაკს წონა არ ჰქონდა. როდესაც სამყარო გაცივდა და ტემპერატურა კრიტიკულ ზღვარამდე დაეცა, შეიქმნა უხილავი ძალის ველი, სახელად „ჰიგსის ველი“. სტანდარტული მიდგომის მიხედვით, ბუნებაში არსებობს ელექტროსუსტი, ძლიერი და გრავიტაციული ურთიერთქმედება. კვანტური თეორიის მიხედვით ელემენტარული ნაწილაკები მიკროსკოპულ მყარ ბურთულებს

კი არ წარმოადგენენ, არამედ ველის რხევად პატარა „ნაკუნებს“ – კვანტებს. ელექტრონები ელექტრონული ველის კვანტებია, ფოტონები ელმაგნიტური ველისა და ა.შ. ყველა ველს აქვს უდაბლესი ენერგეტიკული მდგომარეობა – ვაკუუმი, ანუ როცა მასში ნაწილაკები საერთოდ არ არიან და ველის ენერგია ნულის ტოლია. ჰიგსის ველი კი იმით განსხვავდება სხვა ველებისაგან, რომ მისი ვაკუუმი ყოველთვის ნულზე მეტია. ეს არის მდგომარეობა, როცა მთელი სივრცე ჰიგსის ველითაა სავსე და მის ფონზე მოძრაობენ დანარჩენი ელემენ-ტარული ნაწილაკები. ჰიგსის ველის მოქმედება განსაკუთრებულია, ის ხელს უშლის ნაწილაკების აჩქარებას, თუმცა მათი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას არ ეწინააღმდეგება. ველის მოქმედების შედეგად ნაწილაკები უფრო ინერტულები ხდებიან, ძნელად გადაადგილდებიან, რაც იმას ნიშნავს, რომ ისინი იძენენ მასას. თითქოს ველი სქელდება მათ გარშემო და უფრო მეტად რაც უფრო მაღალია ნაწილაკების აჩქარებული მოძრაობა. ელექტრომაგნიტური ველის კვანტებზე (ფოტონებზე) ეს ველი არ მოქმედებს, რადგანაც ძალიან სუსტია მათ შორის „მოჭიდება“, რის გამოც ისინი უმასოდ რჩებიან და მოძრაობენ უდიდესი c სიჩქარით. ჰიგსის ველის კვანტებს ჰიგსის ბოზონები წარმოადგენენ.

ჰიგსის ბოზონის ასეობას ხსნის თანამედროვე თეორიულ ფიზიკაში არსებულ არათავსებადობას.

სამყაროში ყველგან გავრცელებულ ამ ველთან ურთიერთქმედება საშუალებას აძლევს დამუხტულ ნაწილაკებს, შეიძინოს მასა ჰიგსის ბოზონის შუამავლობით. რაც მეტად ურთიერთქმედებენ ნაწილაკები ჰიგსის ველთან, მით უფრო მეტად მძიმდებიან. და პირიქით, იმ ნაწილაკებს, რომლებიც არ ურთიერთქმედებენ ამ ველთან, მასა არ უჩნდებათ. ამრიგად, ნაწილაკებს შორის მოქმედი ყველა ფუნდამენტული ძალა სავსებით სიმეტრიული, ხოლო მათი გამოვლინება ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებში ასიმეტრიულია იმის გამო, რომ ვაკუუმი ხდება ასიმეტრიული. დარღვეული სიმეტრიის შესაბა-

მისი მუხტი აღარ უნდა ინახებოდეს. $SU(2)*U(1)$ სიმეტრიაში ჩაქსოვილი ერთ-ერთი მუხტი, სახელდობრ, ელექტრული მუხტი, როგორც ვიცით ყოველთვის ინახება. რაც იმას ნიშნავს, რომ ელექტრული მუხტის წარმომქმნელი $U_{el}(1)$ სიმეტრია ძალაში რჩება. სუსტი და ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებების გაერთიანებული თეორია სწორედ ისეა აგებული, რომ ის არ ცვლის ვაკუუმის თვისებებს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების მიმართ, რის გამოც არ ირღვევა ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი. γ კვანტებიც ახალ ვაკუუმში ისევე თავისუფლად ვრცელდება, როგორც პირველად ცარიელ ვაკუუმში და ისევე უმასო რჩება. რაც შეეხება W^\pm და W^0 ბოზონებს, ისინი ურთიერთქმედებენ ვაკუუმურ კონდენსატთან, რადგანაც მათ გაჩნიათ სუსტი მუხტი. ამ ურთიერთქმედების გამო მათი გავრცელება ფერხდება (მუხრუჭდება), რის გამოც მოძრაობის სიჩქარე c -ზე ნაკლები ხდება. რაც იმას ნიშნავს, რომ მათ გაუჩნდათ ნული-საგან განსხვავებული მასა. ამრიგად ყალიბური სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის შემდეგ ამ სიმეტრიის შესაბამისი ველის საშუალებდო ბოზონები მასიურნი ხდებიან [19;109].

სწორედ ამაში მდგომარეობს ნაწილაკის მასის გაჩენის **ჰიგსის მექანიზმის** არსი. ჰიგსის მექანიზმის თანახმად, საშუალებდო ბოზონების მასების წარმოქმნას ეწიებიან სკალარული ნაწილაკები, რომლებიც ინვევენ სიმეტრიის სპონტანურ დარღვევას. სხანაირად სკალარული ნაწილაკები შეიჭამა სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი W^\pm და W^0 ბოზონების მიერ, რომელთაც მასები შეიძინეს.

ამიტომ თეორიაში თავდაპირველად შემოტანილი, ვაკუუმში არსებული, 4 უმასო სკალარული ნაწილაკიდან საბოლოოდ გაქრება სამი, ხოლო მეოთხე – ჰიგს ბოზონი თავის მხრივ მასური გახდება. მაღალი ენერგიების ფიზიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს მისი არსებობის ექსპერიმენტული დადასტურება. არ არის გამორიცხული, რომ

მისი მასა ძალიან დიდი, 1000-მდე გევის (1 ტევი) რიგისა იყოს, რამაც ძალიან გააძნელა მისი აღმოჩენა [19;110].

2. სტანდარტული მოდელის შესახებ

ამჟამად სტანდარტული მოდელი ეწოდება თეორიას, რომელიც საუკეთესოდ ასახავს ჩვენ წარმოდგენებს მატერიის ამოსავალი სანყისების შესახებ, რომლებსაგანაც შედგება ჩვენი სამყარო. ის აგრეთვე აღწერს თუ როგორ წარმოიქმნებიან ამ ბაზუური კომპონენტებისაგან ნივთიერი მატერია, და მათ შორის ურთიერთმოქმედების მექანიზმებს.

სტანდარტული მოდელი თავის თავში შემდეგ ძირითად ინგრედიენტებს აერთიანებს:

*მატერიის ფუნდამენტური „სამშენებლო აგურები“ – ლეპტონების ექვსი სახე და კვარკების ექვსი სახე. მრავალრიცხოვანი ადრონები, რომლებიც მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებაში, შედგებიან კვარკებისგან.

*ფუნდამენტურ ფერმიონებს შორის მოქმედებს სამი ტიპის ძალა – ელექტრომაგნიტური, სუსტი და ძლიერი. ამასთან სუსტი და ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ერთიანი ელექტრო-სუსტი ურთიერთქმედების ორი მხარეა. ძლიერი ურთიერთქმედება ცალკე დგას, სწორედ ის აკავშირებს კვარკებს ადრონებთან.

*ყველა ეს ძალა კალიბრული პრინციპით აღინერება. თეორიაში ისინი „ძალდატანებით“ კი არ არიან შემოტანილი, არამედ სიმეტრიულობის დაცულობის მოთხოვნის გამო, განსაზღვრული გარდაქმნების დროს, თითქოს თავისთავად ჩნდებიან.

*მიუხედავად იმისა, რომ თვითონ თეორიაშია ელექტროსუსტი სიმეტრია ინახება, სამყაროში ის თავისთავად ირღვევა. სტანდარტული მოდელის ჩარჩოებში ეს დარღვევა ჰიგსის მექანიზმის ხარჯზე ხდება.

*სტანდარტულ მოდელში გამოყენებული კონსტანტების დაახლოებით ორი ათეულის რიცხვითი მნიშვნელობები: ფუნდამენტური ფერმიონების მასები, ურთიერთქმედებათა კავშირის

კონსტანტების რიცხვითი მნიშვნელობები, რომლებიც მათ ძალას ახასიათებენ, ერთხელ და სამუდამოდ, ექსპერიმენტულთან შედარებით მიიღება და შემდგომ გამოთვლებში აღარ ზუსტდება.

„სტანდარტული მოდელი“ ბოლო 30 წლის განმავლობაში ხსნის ყველა ექსპერიმენტულ ფაქტს, და ამ პერიოდში მხოლოდ იმის ექსპერიმენტული დადასტურება ხდება, რასაც ეს მოდელი წინასწარმეტყველებს. დარჩა ერთადერთი შემორჩენილი ნაწილაკის, ჰიგსის ნაწილაკის დაკვირვება [58;44].

ჰიგსის ნაწილაკის აღმოჩენის მიზნით სპეციალურად აშენდა დიდი ჰადრონული კოლეიდერი LHC-ს სახელწოდებით. ცხადია, თუ ეს ბოზონი აღმოჩენილ იქნა, 79 წლის პეტერ ჰიგსის მიაკუთვნებენ ნობელის პრემიას.

თავი 10 დიდი ადრონული კოლეიდერი

1. ამაჩქარებელი

მეცნიერება, რომელიც ატომის დაშლას შეეხება არის ფართო მეცნიერება, რომელიც მოიცავს გიგანტურ ექსპერიმენტულ დანადგარებს, უზარმაზარი ბიუჯეტებითა და ნობელის პრემიების ლომის წილით. ატომის დაშლა ხდება მასზე დიდი ენერჯის ნაწილაკების დაჯახებით, რომლის დროსაც ხდება ახალი ნაწილაკების წარმოქმნა. მიღებული ნაწილაკები თავის თავში შეიცავენ ბუნების უაღრესად დიდ საიდუმლოებას, რომლის შესაცნობად აუცილებელია ახალი ნაწილაკების შესწავლა.

ახალი ნაწილაკების წარმოქმნა კი შესაძლებელია დიდი ენერჯის ნაწილაკების ურთიერთდაჯახებისას. ნაწილაკების აჩქარება დიდ ენერჯებმდე ხორციელდება ე.წ. ამაჩქარებლების მეშვეობით. ამაჩქარებელი საშუალებას იძლევა დაბადოს მრავალი, პროტონზე მძიმეც, ეგზოტიკური ნაწილაკ-ანტინაწილაკები, რომელთა შესწავლა შეეძლება ფიზიკოს-ექსპერიმენტატორებს. ასეთი ნაწილაკები თავისთავად იბადებიან კოსმოსურ სხივებშიც, მაგარამ ისინი ჩნდებიან უეცრად და

მალევე იშლებიან, რის გამოც ძნელად შესამჩნევნი არიან. ამაჩქარებელი კი წარმოადგენს მრავალი ეგზოტიკური პროცესისა და ნაწილაკის დაბადების ადვილად რეგულირებად წყაროს. მათთან აყენებენ ხელსაწყოებს, რომელთაც შესაძლებელია წარმოქმნილი ნაწილაკების გამოჭერა და თვისებების დაფიქსირება [90;53].

რაც უფრო დიდია ამაჩქარებლის ენერგია მით მეტია დაბადებული ნაწილაკების სიმრავლე და მით მეტია დიდი მასის მქონე ნაწილაკის დაბადების ალბათობა და შესაბამისად ეგზოტიკური ნაწილაკების დაკვირვების შესაძლებლობა.

ამრიგად ამაჩქარებლები წარმოადგენენ ბირთვული ფიზიკისა და მაღალი ენერგიების ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ ინსტრუმენტებს. მასში მიღებულ ჩქარ ნაწილაკებს შეუძლიათ გადალახონ ბირთვების ძლიერი ველები, შეაღწიონ მასში და დაშალონ ისინი. ბირთვი შედგება ნუკლონებისაგან, ანუ ნეიტრონებისა და პროტონებისაგან. ცალკეული ნუკლონის რადიუსი $r_0 = 10^{-13}$ სმ რიგისაა. A რაოდენობის ნუკლონისაგან შედგენილი ბირთვის რადიუსი ტოლია $r = r_0 A^{1/3}$ სმ. ბირთვში შესაღწევად პროტონს უნდა გააჩნდეს 10^7 ევ = 10 მეგ ენერგია.

თვით ელემენტარული ნაწილაკების შესასწავლად საჭიროა ისეთი ენერგიის პროტონების მიღება რომლის შესაბამისი დე ბროილის ტალღის სიგრძე ნაკლები იქნებოდა ნუკლონის ზომაზე. ამისთვის კი აჩქარებულ პროტონს უნდა გააჩნდეს 1000 მეგ = 1 გევ ენერგია. მაშინ ის ბირთვში მოხვედრისას იმოქმედებს მხოლოდ ერთ ნუკლონზე.

ამაჩქარებელი წარმოადგენს წრიული რგოლის ფორმის არხს, რომელიც მოთავსებულია დიდი წრიული მაგნიტის პოლუსებს შორის. რგოლიდან ტუმბავენ ჰაერს და მასში ასხურებენ დამუხტულ ნაწილაკებს, მაგალითად პროტონებს. მაგნიტური ველის მოქმედებით ისინი იწყებენ მოძრაობას ამაჩქარებლის რგოლის გასწვრივ, ხოლო ელექტრული ველის მოქმედებით ჩქარდებიან. სიჩქარის ზრდასთან ერთად იზრდება მათი ენერგია და მასა.

გარკვეულ მომენტში მათი მოძრაობის გზაზე ათავსებენ სამიზნეს – წყალბადის ბირთვებს (პროტონებს), რომლის ენერგია მისი უძრაობის მასის ტოლია: $E = m_p$.

თუ დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკების ერთობლიობას განვიხილავთ, როგორც ერთ მთლიან ფიქტიურ O ნაწილაკს, მაშინ მისი M_o მასა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$M_o = \sqrt{2m_p^2 + 2m_p E} \quad (1)$$

რაც უფრო დიდი ამაჩქარებლის ენერგია, მით მეტია დაბადებული ნაწილაკების სიმრავლე და მით მეტია დიდი მასის მქონე ნაწილაკის დაბადების ალბათობა და შესაბამისად ახალი ეგზოტიკური ნაწილაკის დაკვირვების შესაძლებლობა.

ამაჩქარებლები, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება დიდი ენერგიის ნაწილაკების დაჯახება, გვოცებენ თავისი ზომებითა და ფასით. ისინი ზომით რამდენიმე კილომეტრს აღწევენ და მათთან შედარებით ლაბორატორიები, რომლებშიც ხორციელდება ნაწილაკების დაჯახება, ციცქნებად გვეჩვენება [75;91].

პირველი მძლავრი ამაჩქარებელი აშენდა მოსკოვის ჩრდილოეთით დუბნაში. დუბნის ამაჩქარებელი აჩქარებს პროტონებს 10 გევამდე. პროტონის უძრაობის მასა 0,94 გევის ტოლია. შესაბამისად მისი ენერგია, სამიზნესთან (გაჩერებულ პროტონთან) დაჯახებისას 10,044 გევის ტოლია. მაშინ ყველა წარმოქმნილი ნაწილაკის სრული ენერგია გამოითვლება ფორმულით:

$$E_o \approx \sqrt{S} \approx M_o = \sqrt{2m_p^2 + 2m_p E} \\ \approx \sqrt{2 \cdot 0.94^2 + 2 \cdot 10,04 \cdot 0,94} = 4,54 \text{ გევ}$$

საბჭოთა კავშირში შემდეგი დიდი ამაჩქარებელი აშენდა 1976 წელს ქ. სერპუხოვოში, რომელიც პროტონებს აჩქარებს 69 გევ ენერგიამდე, რის გამოც ყოველი ციკლის ბოლოს პროტონი 74-ჯერ უფრო მასიური ხდება. დაჯახებისას საწყისი პროტონები ქრებიან და წარმოიქმნება ფიქტიური O ნაწილაკი რომლის უძრაობის მასის m_o -ს მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$\sqrt{S} \approx m_0 = 11,6 \text{ გეე.}$$

აი ასეთი ენერგიის მარაგი გააჩნია ამაჩქარებელში 2 პროტონის დაჯახებით წარმოქმნილ ფიქტიურ O ნაწილაკს შემოქმედებისათვის – ძველი და ახალი ნაწილაკების წარმოქმნისათვის.

მისი დაშლის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას m_0/m_p რაოდენობის პროტონ-ანტიპროტონები, ხოლო საშუალოდ \bar{n} რაოდენობის ნაწილაკი.

შემდეგში, სხვადასხვა ქვეყნებში, აშენებულ იქნა ამაჩქარებლები 102, 205, 303 და 405 გეე ენერგიაზე.

ცერნში – ბირთვული გამოკვლევების ევროპულ ცენტრში, ჟანევის მახლობლად გაიხსნა 27კმ-ის სიგრძის წრიული ამაჩქარებელი, დიდი ელექტრონ პოზიტრონული რგოლო, სახელწოდებით ЛЕП, რომლის მიერ აჩქარებული ნაწილაკების სიჩქარე მხოლოდ ერთი ბენოთი ნაკლებია სინათლის სიჩქარეზე. იგი ითვლება ნაწილაკებია ერთ-ერთ მლავრ ამაჩქარებლად.

2. დანადგარები შემხვედრი ნაწილაკებით

როგორც აღვნიშნეთ ამაჩქარებლის ეფექტურობა ახალი ნაწილაკების წარმოქმნის თვალსაზრისით ხასითდება სანყისი ნაწილაკების სისტემის ეფექტური მასით M_0 , პროტონ-პროტონული ურთიერქმედების შემთხვევაში გამოითვლება (1) ფორმულით.

ჩვეულებრივი ამაჩქარებლები, იმის გამო, რომ სანყისი ნაწილაკების ჯამური იმპულსი ნოლისაგან განსხვავდება, სანყისი ენერგიის დიდი ნაწილი იხარჯება მეორადი ნაწილაკების ინერციის ცენტრის მოზრაობაზე. რის გამოც ასეთი ამაჩქარებლები არ არიან ეფექტურნი ახალი ნაწილაკის წარმოქმნის თვალსაზრისით.

იმ შემთხვევაში, როცა ერთმანეთს ეჯახება 2 ერთნაირი m მასის მქონე ნაწილაკი E ენერგიით. ასეთი სისტემის ჯამური იმპულსი ნულის ტოლია, რის გამოც სისტემის მთელი ენერგია შეიძლება დაიხერჯოს ახალი ნაწილაკების წარმოქმნაზე. ამ შემთხვევაში $M_0 = 2 E$.

დანადგარებს შემხვედრ კონებზე უნოდებენ კოლაიდერებს. მათ მიერ წარმოქმნილი ნაწილაკების კონების სიმკვრივის გასაზრდელად გამოიყენება ე.წ. დამაგროვებელი რგოლი, რომელშიც ხდება ძირითად ამაჩქარებელში მიღებული აჩქარებული პროტონების დაგროვება.

დამაგროვებელ რგოლში არსებული მაღალი ვაკუუმი საშუალებას იძლევა შენახულ და გამოყენებულ იქნას მასში არსებული მაღალი ენერგიის პროტონები საჭირო ექსპერიმენტების ჩასატარებლად. პირველი ასეთი დანადგარი ამუშავებულ იქნა შვეიცარიაში ჟენევაში ბირთვული გამოკვლევების ევროპის ცენტრში – CERN-ში 31 გევ ენერგიის მქონე ამაჩქარებლის გამოყენებით [99;68].

ფიზიკოსებმა CERN-ში არსებული მომუშავე ამაჩქარებლის გვერდით, სახელმწიფო საზღვრის მეორე მხრეზე ააგეს დიდი დამაგროვებელი რგოლი. აჩქარებული პროტონები არსებული ამაჩქარებლიდან, ორი მხრიდან შესხურდებოდა დამაგროვებელ რგოლში. ამაჩქარებლის მუშაობასთან ერთად აჩქარებული პროტონების სულ ახალი და ახალი ულუფები შესხურდება დამაგროვებელში. როცა მასში დაგროვდება აჩქარებული პროტონების რგოლის ორივე მხარეს მოძრავი საკმარისი რაოდენობა, ნაკადებს მიმართავენ ერთმანეთს საპირისპიროდ და იწყება აჩქარებული პროტონების წყვილების ინტენსიური ურთერთდაჯახება.

31 გევ ენერგიის მქონე პროტონების ურთიერთდაჯახებისას სანყის მომენტში ისინი ქრებიან და წარმოიქმნება ფიქტიური O ნაწილაკი მასით

$$m_o = \sqrt{S} = (31+31) \text{ გევ} = 62 \text{ გევ}.$$

ეს კი ძალიან დიდი ენერგიაა. შემხვედრ ნაკადებზე აგებულ ამაჩქარებელზე მიღებული ენერგია მთლიანად იხარჯება ახალი ნაწილაკების წარმოშობაზე. ამიტომ შემდეგ აგებულ იქნა ამაჩქარებლები შემხვედრ ნაკადებზე 30, 44, 53, 63, 540 გევ ენერგიებზე.

მაგრამ ამ ენერგიებმა ც ველარ დააკმაყოფილეს ფიზიკოსების გაზრდილი მოთხოვნილებები. მათ მოინდომეს ისეთი

ამაჩქარებლის აშენება რომლის მეშვეობით შესაძლებელი იქნება ლეგენდარული ჰიგსის მეზონის დაკვირვება.

ამიტომ გადაწყდა, რომ CERN-ში აეგოთ დიდი ადრონული კოლოიდერი 14 ტეევ ენერგიაზე.

3. დიდი ადრონული კოლოიდერი

დიდი ადრონული კოლოიდერი (ინგლისურად – Large Hadron Collider – LHC; რუსულად – БАК.) წარმოადგენს ამაჩქარებლს შემხვედრი დამუხტული ნაწილაკებით, რომლის მიზანია ძირითადად პროტონების აჩქარება და მათი დაჯახების შედეგად მიღებული პროდუქტების შესწავლა [141].

LHC-ს პროექტი დაიბადა 1984 წელს, ხოლო საბოლოოდ მოწონებულ იქნა 1994 წელს. მისი აშენება დაიწყო 2001 წელს, ხოლო მშენებლობა დამთავრებულ იქნა 2007 წელს, როცა დამონტაჟდა ბოლო ზეგამტარი მაგნიტი. 2008 წელს ჩატარდა პირველი წარმატებული გამოცდა, ხოლო 21 ოქტომბერს ჩატარდა LHC-ს გახსნის საზეიმო ცერემონიალი.

2010 წლის 30 მარტს მოხდა პროტონების დაჯახება 7 ტეევ ენერგიაზე და დაიწყო LHC-ზე მეცნიერული მუშაობის პირველი ხანგრძლივი ეტაპი.

LHC – კოლეიდერი აშენებულია ბირთვული გამოკვლევების ევროპულ ცენტრში – CERN, შვეიცარიისა და საფრანგეთის საზღვარზე, ჟენევის მახლობლად.

LHC არის ყველაზე დიდი ამაჩქარებელი დანადგარი მსოფლიოში. პროექტის ხელმძღვანელია ლინ ევანსი.

ცერნის კოლოიდერს დიდი ჰქვია მისი ზომების გამო: მისი ძირითადი ამაჩქარებელი რგოლის სიგრძეა 26,7 კმ; ადრონული – იმიტომ, რომ ის აჩქარებს კვარკებისაგან შემდგარ ადრონებს – პროტონებს; ხოლო კოლაიდერი (collide – დაჯახება) იმიტომ, რომ ნაწილაკები ჩქარდება ურთიერთ საწინააღმდეგო მიმართულებით და ეჯახება ამისთვის წინასწარ განსაზღვრულ სპეციალურ წერტილებში.

LHC-ში ერთმანეთს ეჯახება $p \rightarrow \leftarrow p$ პროტონების ურთიერთ შემხვედრი ნაკადი, რომელთა ენერგიაა 7 ტეევ + 7 ტეევ = 14 ტეევ = 14000 გეევ. ასეთ ენერგიას შეესაბამება მიკრო-

სკოპი, რომლის შეღწევადობა (გარჩევის უნარიანობა) 10^{-17} სმ-ს ტოლია.

LHC-ს მშენებლობაზე დაიხარჯა 6 მილიარდი დოლარი. LHC-ს მშენებლობა, მისი ნულიდან დაწყების შემთხვევაში, რამდენჯერმე გაძვირდებოდა.

4. LHC-ს ტექნიკური მახასიათებლები.

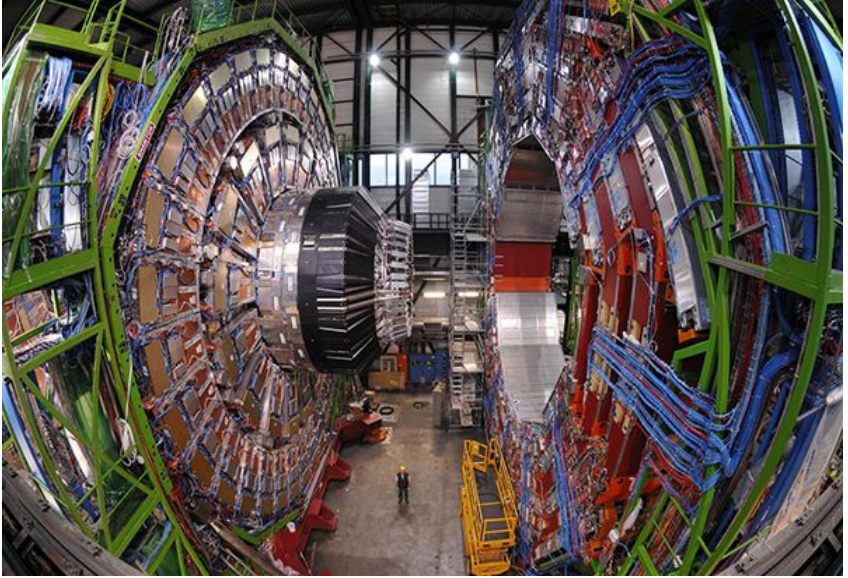
ამაჩქამაჩქარებლისათვის განკუთვნილი 26,7 კმ სიგრძის ტუნელი მოთავსებულია საშუალოდ 120 მ-ს სიღრმეში.

პროტონების ნაკადის შენარჩუნებისა და კორექტივებისათვის გამოყენებულია 1624 ზეგამტარული მაგნიტი, რომლებიც მუშაობენ $1,9\text{K}(-271\text{ C}^{\circ})$ ტემპერატურაზე. პროტონები ერთმანეთს ეჯახება ჯამური ენერგიით 14 ტეე = $14 \cdot 10^{12}$ ევ. ეს 1 რიგით მეტია სხვა მოქმედ კოლოიდერების ენეგიებთან შედარებით.

დეტექტორი ATLAS-ის შესახებ. LHC-ს ცემტრალური დანადგარია მეფედეტექტორი ATLAS-სი. იგი ცილინდრის ფორმისაა, დიამეტრით 32 მეტრი და სიგრძით 44 მეტრი, ხოლო მასით 7000 ტონა. (იმდენი, რამდენსაც ინონის ეიფელის კოშკი!) ატლასი აენყო მინის ქვეშ 120 მეტრის სიღრმეზე. მასში მონაწილეობს 37 ქვეყანა; 169 უნივერსიტეტი; 2900 ფიზიკოსი და 700 სტუდენტი სხვადასხვა ქვეყნიდან და ყველა თავის საქმეს აკეთებს.

ნაწილაკების დეტექტორ ATLAS-ის შექმნაში ქარველი ფიზიკოსებიც მონაწილეობდნენ. ისინი მუშაობენ ნაწილაკების დეტექტორ კალორიმეტრზე, რომელიც დუბნაში დამზადდა და 2002 წელს გადატანილ იქნა ცენრში. კალორიმეტრი ითვლის პროტონების დაჯახებისას წარმოქმნილი ნაწილაკების რაოდენობას.

2001 წლიდან კონკურსის საფუძველზე ATLAS-ის შექმნაში მონაწილეობენ აგრეთვე ქართველი ინჟინრები ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორის პროფესორ **ლაშა შარმაზანაშვილის** ხელმძღვანელობით. მათ დიდი წვლილი მიუძღვით ატლასის აწყობასა და დამონტაჟებაში.



ცერნის ექსპერიმენტში 34 ქვეყნის 2000-მდე მეცნიერი მონაწილეობს, მათ შორის 35 ქართველია. პროექტი ჩართულია თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტი, ელევთერ ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ილიას უნივერსიტეტი.

ეს ჯგუფი ძირითადად ATLAS დეტექტორზე მუშობს, რომელიც ჰიგსის მასის წარმომქმნელი ელემენტარული ნაწილაკებისა და ბნელი მატერიის აღმოჩენისთვისაა განკუთვნილი. პროექტი მონაწილეობს ნიუ იორკის უნივერსიტეტის პროფესორი, გიორგი დვალიც. ექსპერიმენტის წარმატებით დასრულების შემთხვევაში ის შეიძლება ნობელის პრემიის ლაურეატი გახდეს, რაც ქართველი ფიზიკოსისათვის უდიდესი მიღწევა იქნება.

5. LHC-ზე დასმული მეცნიერული ამოცანები

თეორეტიკოსების ინტერესი LHC-ს მიმართ ძალიან დიდია. მასზე დასმული ამოცანები სრულიად მოიცავენ ამჟამინდელი ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის ყველა მხარეს:

1. როგორც აღვნიშნეთ, ბოლო 30 წლის განმავლობაში ექსპერიმენტულად დადასტურდა „სტანდარტული მოდელის“ ყველა წინაწარმეტყველება. დარჩა ერთადერთი შემორჩენილი ნაწილაკის, ჰიგსის ბოზონის დაკვირვება. ეს ნაწილაკი ჯერჯერობით არ არის აღმოჩენილი. LHC-ს ერთ-ერთ ძირითად მიზანს წარმოადგენს ჰიგსის H^0 -ბოზონების არსებობის ექსპერიმენტული დადასტურება. მეცნიერთა ვარაუდით, ჰიგსის ბოზონის აღმოჩენა დაეხმარებოდა მათ სამყაროში მასის წარმოშობის გარკვევაში. ასეთი დიდი მნიშვნელობისა და მოლოდინის გამო მეცნიერები ხშირად მას „ღვთიური ნაწილაკი“-ს სახელითაც მოიხსენიებენ.

2. მეცნირებმა ფუნდამენტური ურთიერთქმედებების შემდგომი გაერთიანების მიზნით გამოიყენეს „სუპერსიმეტრიებისა“ და სიმების თეორია. ამ თეორიების ექსპერიმენტული დასაბუთება არ არსებობს. LHC საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ექსპერიმენტები, რომლებიც საშუალებას იძლევა დავამტკიცოთ ან უგულვებელვყოთ ამ თეორიების წინასწარმეტყველებანი. მაგალითად „სუპერსიმეტრიის“ თეორიის სისწორის დადგენა, რომლის მიხედვით ყოველ ელემენტარულ ნაწილაკს გააჩნია გაცილებით დიდი მასის მქონე პარტნიორი – „სუპერნაწილაკი“. „სუპერნაწილაკის“ არსებობის დამტკიცება იქნება ზემოხსენებული თეორიების არაპირდაპირი დასაბუთება.

3. b და t -კვარკების დაბადებისა და დაშლის პროცესების შესწავლა. t -კვარკი ყველაზე მძიმე კვარკია: $m_t = 173,1 \pm 1,3$ გეე. t -კვარკი მეცნიერებს აინტერესებთ როგორც სამუშაო ინსტრუმენტი ჰიგსის H^0 ბოზონებისათვის, რომელიც ასოცირდება t -კვარკისა და \bar{t} ანტიკვარკის ერთობლივ დაბადებასთან ($H^0 \rightarrow t + \bar{t}$).

4. W^\pm და Z^0 ბოზონების თვისებების შესწავლა.

5. გია დვალის ჰიპოთეზის შემოწმება უსასრულო დამატებითი განზომილების არსებობის შესახებ.

6. მიკრო შავი ხვრელების წარმოშობის ზღვარის დადგენა. ისინი წარმოადგენენ მძიმე ნაწილაკებს, რომლებიც სწრაფად იშლებიან. ამარქარებელს შეუძლია დაბადოს მიკრო შავი ხვრელები რომელთა დაკვირვება შესაძლებელია.

7. მიკროსამყაროს შემსწავლელი მეცნიერება პარადოქსულად ერწყმის კოსმოლოგიას, რომელიც შეისწავლის მაკროსამყაროს: ექსპერიმენტებმა, რომლებიც იგეგმება LHC-ზე მჭიდროდ გვაახლოებს სამყაროს არსებობის პირველი წამის მდგომარეობასთან. მეცნიერები მიიჩნევენ, რომ დიდი აფეთქების შემდგომ მომენტში სტაბილური მატერია მაშინვე კი არ წარმოიქმნა, არამედ მცირე, მაგრამ გარკვეული დროის განმავლობაში სამყარო წარმოადგენდა ძირითადი საამშენებლო აგურაკების: ლეპტონების, კვარკების, გლუონებისა და X-კვანტების კონგლომერატს. ამჟამად მეცნიერმკვლევარები იმედოვნებენ დააკვირდნენ ელემენტარული ნაწილაკების სამყაროს იმ სახეს, როგორც ის იყო მიკროწამების შემდეგ სამყაროს აფეთქების მომენტიდან.

ამჟამინდელი მდგომარეობა. რა იყო ცნობილი ადრე? რა იქნა აღმოჩენილი ეხლა? მეცნიერები უკვე დაახლოებით 30 წლის განმავლობაში მუშაობენ ჰიგსის ბოზონის არსებობის დასა-დასტურებლად ან უარსაყოფად. ამგვარად, ცნობილი იყო, რომ ჰიგსის ბოზონის მასა უნდა ყოფილიყო 0-დან 1000 პროტონის მასის ტოლი. სამეცნიერო დანადგარებმა, რომლებიც LHC-მდე არსებობდნენ, აჩვენეს, რომ ბოზონის მასა 115-ჯერ აღემატება პროტონის მასას.

2011 წლის 13 დეკემბერს CERN-ის მკვლევარებმა ოფიციალური ბრიფინგი ჩაატარეს, რომელიც უკანასკნელი ექსპერიმენტების შედეგებს ეძღვნებოდა. უკანასკნელი მონაცემების თანახმად, ჰიგსის ბოზონის წონა, თუ კი იგი ნამდვილად არსებობს, (115-127) გეევ-ს ფარგლებში უნდა იყოს.

ნიგნი გამომცემლობაში მქონდა მიტანილი, როცა 2012 წლის 4 ივლისს ტელევიზორით მოვისმინე სენსაციური ცნობა CERN-ში LHC-ზე ჰიგსის ნაწილაკის აღმოჩენის შესახებ.

ჩატარდა ელემენტარულ ნაწილაკთა ფიზიკის მთავარი კონფერენცია, რომელზეც წარმოდგენილი იქნება ახალი შედეგები ჰიგსის ბოზონის ძებნასთან დაკავშირებით.

უზარმაზარი სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგად აღმოჩენილ იქნა 125 გიგაელექტრონვოლტის მასის მქონე ნაწილაკი, რომელიც შეიძლება მივიჩნიოთ ჰიგსის H^0 -ბოზონად. თავად ჰიტერ ჰიგსს, რომელიც ამ კონფერენციას ესწრებოდა, ვერ შეუკავებია სიხარულის ცრემლი.

ამჟამად შეიძლება დაბეჯითებით ითქვას, რომ ჰიგსის ბოზონი აღმოჩენილია და მეცნიეები ცდილობენ მისი თვისებების დაზუსტებას.

ჰიტერ ჰიგსმა დაიმსახურა 2013 წლის ნობელის პრემია ფიზიკაში.

ჰიგსის ბოზონის აღმოჩენა არის საუკუნის ყველაზე მნიშვნელოვანი აღმოჩენა. ის უმაღლესი მწვერვალია, რომელიც ამტკიცებს ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის სტანდარტული მოდელის სისწორეს.

მისი არსებობა იმასაც ამტკიცებს, რომ ამჟამინდელი მეცნიერება იყენებს სწორ მეთოდს კოსმოსური სამყაროს წარმოშობის ასახსნელად.

LHC – კი აგრძელებს აურაცხელი რაოდენობის ექსპერიმენტებს. რაც იმაზე მიუთითებს, რომ – კაცობრიობამ გადადგა უმნიშვნელოვანესი ნაბიჯი ფუნდამენტალური აღმოჩენებისა და ღმერთის ჩანაფიქრის გახსნის ახალი ეპოქისაკენ!

6. მრავლობითობის შესახებ

გარდა ზემოთ აღნიშნული საკითხებისა LHC-ზე ATLAS-ს მეშვეობით შეიძლება შესწავლილ იქნას ნაწილაკების მრავლობითი დაბადების პროცესიც. მაღალი ენერგიების ფიზიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს წარმოქმნილი მეორადი ნაწილაკების მრავლობითობის შესწავლა.

აღმოჩნდა, რომ ადრონ-ადრონულ ურთიერთქმედებისას დაბადებული პირველადი ურთიერთქმედი ნაწილაკები ინარჩუნებენ თავის „ინდივიდუალურობას“, ამიტომ აზრი აქვს განვიხილოთ ე.წ. ახლად დაბადებული ნაწილაკების რიცხვის ($n^{\circ} = n - 2$) ცნება [139].

ჩემს მიერ შესწავლილ იქნა f^{-p} ახლად დაბადებული ნაწილაკების სრული რიცხვის განაწილება მრავლობითობის მიხედვით 5-40 გევ ენერგიებზე. აღმოჩნდა, რომ n° ნაწილაკის დაბადების ალბათობა კარგად აღინერება შემდეგი მათემატიკურად უმარტივესი და ლამაზი გამოსახულებით, რომელიც არ შეიცავს არვითარ დამატებით პარამეტრს:

$$P_{n^{\circ}} = \frac{f}{2} \frac{n^{\circ}}{\bar{n}^{\circ 2}} \exp\left\{-\frac{f}{4} (n^{\circ} / \bar{n}^{\circ})^2\right\} \quad (1)$$

სადაც \bar{n}° წარმოადგენს ახლად დაბადებული n° ნაწილაკების საშუალო სიმრავლეს [139]

თავის დროზე Z. Koba, B. Nielson, P. Oleson (KNO) მიერ ნაჩვენებ იქნა, რომ მაღალ ენერგიებზე ადრონ-ადრონულ ურთიერთქმედებებში წარმოქმნილი ნაწილაკების განაწილებას მრავლობითობის მიხედვით აღინერება უნივერსალური ფუნქციით

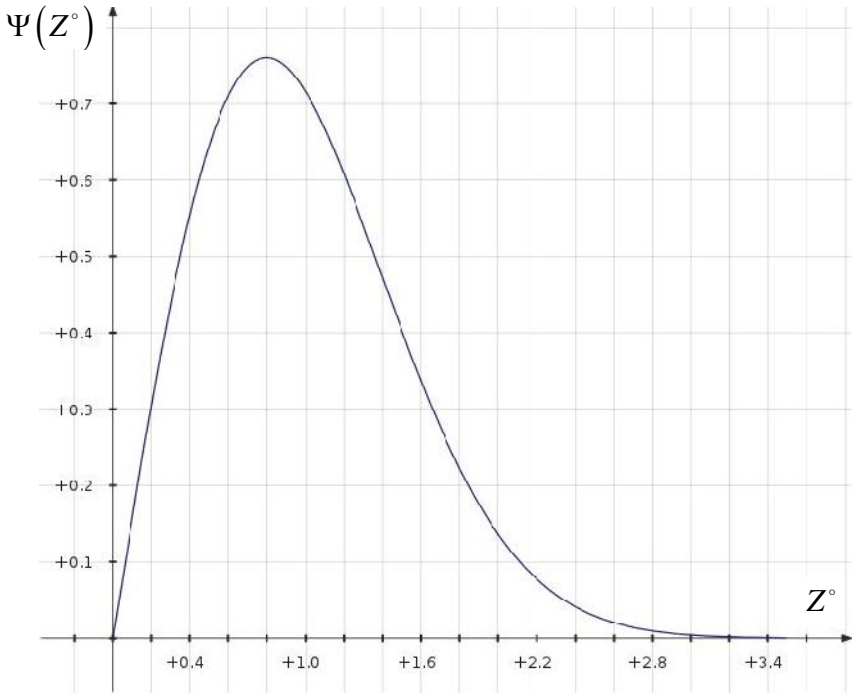
$$\Psi\left(\frac{n}{\bar{n}}\right) = \Psi(Z) = \bar{n} P_n$$

რომელიც ერთიდაიგივეა ნებისმიერი ენერგიისათვის. ანუ ამჟღავნებს ე.წ. KNO-სკელინგურ ხასიათს [140].

ის ფაქტი, რომ ახლადდაბადებული ნაწილაკების სრული რიცხვი კარგად აღინერება (1) უმარტივესი ფორმულით, მეტყველებს იმაზე, რომ ამ განაწილებას აქვს KNO სკელინგური ხასიათი. თუ შემოვიტანთ ახალ ცვლადს $Z^{\circ} = n^{\circ} / \bar{n}^{\circ}$, მაშინ (1) ფორმულა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\bar{n}^{\circ} P_{n^{\circ}} = \Psi(Z^{\circ}) = \frac{f}{2} Z^{\circ} \exp\left(-\frac{f}{4} Z^{\circ 2}\right) \quad (2)$$

ეს გამოსახულება წარმოსგენს ახლად დაბადებული ნაწილაკების სრული რიცხვის მრავლობითობის მიხედვით განაწილებას ე.წ. **KNO** წარმოდგენაში, რომელსაც გააჩნია უმარტივესი და ულამაზესი მათემატიკური ფორმა, ყოველგვარი დამატებითი პარამეტრის გარეშე. შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ ის წარმოადგენს ფიზიკური პროცესის აღმწერლამაზი მათემატიკური ფორმულის ერთ-ერთ მაგალითს, რომელიც არ შეიძლება რომ ჭეშმარიტი არ იყოს.



ნახ. 1.20

აღსანიშნავია, რომ $\Psi(x)$ ფუნქცია წარმოადგენს 2 უმარტივესი ფუნქციის ნამრავლს. ერთია მზარდი ნრფივი

ფუნქცია: $f(x) = f x / 2$, ხოლო მეორე – სწრაფად კლებადი ექსპონენციალური ფუნქცია $f(x) = \exp(-f x^2 / 4)$. $\Psi(x)$ ფუნქცია გრაფიკული ფორმით წარმოდგენილია ნახ. 1.20-ზე. $\Psi(x)$ ფუნქცია ერთზე ნორმირებულია. რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ გრაფიკით შემოსაზღვრული ფიგურის ფართი ერთის ტოლია.

პროტონ-პროტონ ურთიერთქმედებაში ახლად წარმოქმნილი ყველა ნაწილაკის განაწილება მრავლობითობის მიხედვით შეესაბამება უნივერსალურ $\Psi(x)$ ფუნქციას. მაგრამ ექსპერიმენტში ძნელია ყველა ნეიტრალური ნაწილაკის დაფიქსირება, რის გამოც ძირითადად ფიქსირდება განაწილება დამუხტული ნაწილაკების მრავლობითობის n_{\pm} მიხედვით. ცხადია, რომ განაწილების ფუნქცია მარტო დამუხტული ნაწილაკების მიხედვით, არ დამთხვევა განაწილების ფუნქციას ყველა სახის ნაწილაკის მიხედვით, მაგრამ როგორც ექპერიმენტული მონაცემები გვიჩვენებენ განსხვავება მათ შორის არც თუ ისე დიდია. ის შეიძლება გამოიხატოს დამატებითი Γ პარამეტრით.

თუ ახლად დაბადებულ დამუხტული ნაწილაკების რიცხვს განმარტავთ შემდეგნაირად:

$$n_{\pm}^{\circ} = n_{\pm} - 2 + \Gamma$$

ამ შემთხვევაში მათი საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$\bar{n}_{\pm}^{\circ} = \bar{n}_{\pm} - 2 + \Gamma .$$

მაშინ:

$$Z_{\pm}^{\circ} = \frac{n_{\pm} - 2 + \Gamma}{\bar{n}_{\pm} - 2 + \Gamma} = \frac{n_{\pm} - (2 - \Gamma)}{\bar{n}_{\pm} - (2 - \Gamma)} = \frac{n_{\pm} - S}{\bar{n}_{\pm} - S}$$

სადაც $S = 2 - \Gamma$.

შესაბამისად დამუხტული ნაწილაკების მრავლობითი განაწილებისათვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$\bar{n}_{\pm} P_{\pm} = \Psi(Z_{\pm}^{\circ}) = \frac{f}{2} Z_{\pm}^{\circ} \exp\left(-\frac{f}{4} Z_{\pm}^{\circ 2}\right) \quad (3)$$

ჩემ მიერ ჩატარებულმა $p-p$ ურთიერთქმედებაში დაბადებული დამუხტული ნაწილაკების ანალიზმა მიჩვენა, რომ $S = 0,59 \pm 0,03. \approx 0,6$; ანუ, პარამეტრი $r \approx 1,4$.

ცხადია, რომ

$$(Z_{\pm}) = \frac{n_{\pm}^{\circ}(1+r/n_{\pm})}{\bar{n}_{\pm}(1+r/\bar{n}_{\pm})} = Z_{\pm}^{\circ} \left(\frac{1+r/n_{\pm}}{1+r/\bar{n}_{\pm}} \right)$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ დამუხტული ნაწილაკების ექსპერი-
მენტული განაწილება უნივერსალურ (3) განაწილებასთან

შედარებით დეფორმირებული და ნანაცვლებულია $\left(\frac{1+r/n_{\pm}}{1+r/\bar{n}_{\pm}} \right)$ -

ჯერ. დიდი საშუალო სიმრავლის შემთხვევაში, როცა $(r/\bar{n}_{\pm}) \ll 1$, ეს დეფორმირება დაიყვანება $(1+r/n_{\pm})$ სიდიდეზე.

ხოლო როცა ახლად წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილა-
კების რიცხვი $n_{\pm} \gg r$, ანუ $r/n_{\pm} \ll 1$, მაშინ შესაძლებელია
შესწორების უგულებლყოფა, ანუ მათი განაწილება **KNO**
წარმოდგენაში აისახება (3) სახის უმარტივესი უნივერსალური
ფუნქციით.

ჩემი აზრით, კოლოიდერზე დაბადებული ნაწილაკების გა-
ნაწილება n_{\pm} სიმრავლის მიხედვით ზუსტად უნდა შეესაბა-
მებოდეს ზემოხსენებულ უმარტივეს (3) განაწილებას.

ცერნის დიდ ელექტონ-პოზიტრონულ კოლოიდერზე 1500
მეორადი ნაწილაკი.

გამოთვლები გვიჩვენებენ, რომ LHC ამაჩქარებელზე შემხვე-
დრი პროტონების ერთი დაჯახებისას წარმოქმნილი
დამუხტული ნაწილაკების საშუალო რიცხი დაახლოებით
 $\bar{n}_{\pm} \approx 10^{10}$ ტოლია. ამ შემთხვევაში, რადგანაც $(r/\bar{n}_{\pm}) \ll 1$,
წარმოქმნილი ნაწილაკების განაწილება რაოდენობის მიხედვით
აღინერება უმარტივესი თანაფარდობით (3).

დაჯახების პროცესების შედეგების გაშიფრვა მოხდება
დეტექტორების ვეებერთელა სისტემებით, რომლებიც აფიქ-

სირებენ მეორადი ნაწილაკების გზებსა (ტრეკებს) და ენერგიებს. ამჟამად ეს შესაძლებელია: თანამედროვე გამზომი კოპლექსური დანადგარები შეიცავენ მილიარდობით ტრანზისტორს და 100 ათასობით ინდივიდუალურ დეტექტორს – „სილიციუმის სენსორებს“, სადრეიფო მილაკებს, აერ განმუხტვით კამერებს, ფოტოდიოდებსა და ელექტრონულ გამამრავლებლებს. მთელ ამ სისტემას, სხვადასხვა მასისა და ენერგიის მქონე დამუხტული ნაწილაკების ურთიერთ განმხილოებისა და ამოცნობისათვის, ედება მუდმივი მაგნიტური ველი. გაზომვითი მონაცემების ნაკადები იქნება უზარმაზარი. მისი დამუშავებისათვის საჭირო იქნება ინფორმაციის შენახვისა და დამუშავების ახალი მეთოდების მოფიქრება და დაფუძნება. მსოფლიოს ათასობით მეცნიერი ემზადება და მოუთმენლად ელოდება ინფორმაციის ამ ზღავს.

იმედია, რომ ეს სიტემა საშუალებას მოგვცემს დადგენილ იქნას მეორადი დამუხტული ნაწილაკების განაწილება მრავლობითობის მიხრდვით, რომლის შესწავლით შეიძლება შემონმდეს თუ უმაღლეს ენერგიბზე რამდენად ჭეშმარიტია ზემოხსენებული უმარტივესი და ულამაზესი მათემატიკური ფორმულა:

$$\Psi(Z_{\pm}) = \frac{f}{2} Z_{\pm} \exp\left(-\frac{f}{4} Z_{\pm}^2\right)$$

თავი 11 სუპერდიდი გაერთიანება

1. დიდი გაერთიანება

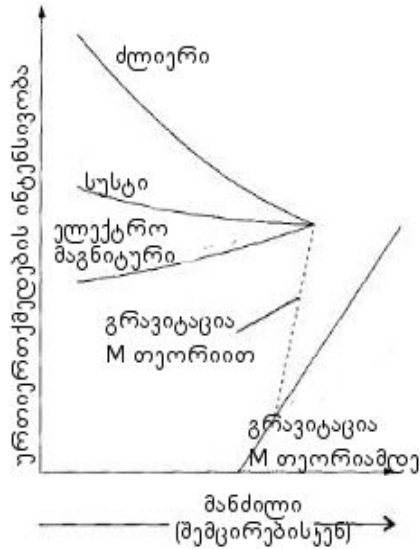
სიმეტრიის იდეებმა მიგვიყვანეს სუსტი და ელექტრო-მაგნიტური ძალების გაერთიანებამდე. ამიტომაც, რომ წლების განმავლობაში უაღრესად დიდი პოპულარობით სარგებლობს სხვადასხვა სახის სიმეტრიების გამოკვლევა. სიმეტრიების საშუალებით ცდილობენ ერთი მხრივ სხვადასხვა სახის ძალის – ელექტრომაგნიტურის, სუსტისა და ძლიერის – ერთ ურთიერთქმედებაში გაერთიანებას [19;112].

ამ იდეას საფუძვლად უდევს შემდეგი მოსაზრებები. ამჟამინდელი მეცნიერების მიხედვით სამყარო აგებულია 2 განსხვავებული ბუნების ნაწილაკებისაგან – კვარკებისა და ლეპტონებისაგან. კვარკებსა და ლეპტონებს აქვთ მსგავსი თვისებები, რომლებითაც ისინი ენათესავებიან ერთმანეთს. ყველა ფუნდამენტურ ნაწილაკს აქვს ერთნაირი $1/2$ -ს ტოლი სპინი, ყველას ახასიათებს ერთნაირი სუსტი ურთიერთქმედება მარცხენა სპირალობის მდგომარეობაში. დუბლეტებში შემავალი ნაწილაკების ელექტრული მუხტების სიდიდეთა სხვაობა ერთნაირია როგორც კვარკებისათვის, ისე ლეპტონებისათვის და ა.შ. შთაბეჭდილება ისეთია, რომ თითქოს ორივე ტიპის ნაწილაკებში რაღაც ერთნაირი კონსტრუქციული ელემენტებია ჩაქსოვილი.

იბადება კითხვა: ხომ არ შეიძლება კვარკები და ლეპტონები გავაერთიანოთ რაღაც უფრო ზოგადი სიმეტრიით, ხოლო 3 ფუნდამენტული ურთიერთქმედება ამ ზოგადი სიმეტრიით წარმოქმნილი ერთიანი ურთიერთქმედების სხვადასხვა გამოვლინებას წარმოსგენენ. ეს არის დიდი გაერთიანების თეორიის (დგთ) ამოსავალი იდეა [19;113].

გარდა ამისა, როგორც აღმოჩნდა ვაკუუმში არსებულ ვირტუალურად არსებულ დამუხტული ნაწილაკ-ანტინაწილაკებთან ურთიერთქმედების გამო მანძილის შემცირებისას ელექტრო-მაგნიტური ურთიერთქმედების მუდმივა უნდა იზრდებოდეს, ხოლო ძლიერი და სუსტი ძალების ურთიერთქმედების

მუდმივები უნდა მცირდებოდეს. დღეისათვის გამოკვლეულ მცირე მანძილაზე (10^{-16} - 10^{-17})სმ ძლიერი ურთიერთქმედების მუდმივა 1/10-ის ტოლია, ელექტრომანიტურისა - 1/200-ს რიგისაა, ხოლო სუსტისა - 1/30-ს ტოლია. ადვილი მისახედრია, რომ მუდმივების ზემოაღ-ნიშნული ყოფაქცევის შედეგად უფრო მცირე მამძილებზე ისინი დაუახლოვდებიან ერთმანეთს.



ნახ. 1.13

და ბოლოს, რალაც ძალიან მცირე მანძილზე, ერთმანეთს გაუტოლდებიან. რაც სამივე ურთიერთქმედების გაერთიანებას შეესაბამება. თანამედროვე შეფასებით გაერთიანება უნდა მოხდეს (10^{-28} - 10^{-29})სმ მანძილებზე, რასაც (10^{14} - 10^{15})გევ ენერგიებს შეესაბამება [19;114].

ამ შემთხვევაში სამივე არაგრავიტაციული ძალა ერთმანეთს ერწყმის ერთ ნერტილში(იხ. ნახ. 1.13).

სტანდარტული მოდელი აღმოჩნდა ბუნებრივი სასტარტო ნერტილი ყალიბურ ინვარიანტობაზე დამყარებული ურთი-ერთქმედებათა თეორიების გასაერთიანებლად ერთ მარტივ

$SU(5)$ ყალიბურ ჯგუფში რომლის სიმეტრიის სპონტანური დარღვევის შემდეგ იქმნება სტანდარტული მოდელი.

ამრიგად, დგთ-ის ზოგადი სიმეტრია უნდა შეიცავდეს ფერის $SU_c(3)$ და $SU(2) \times U(1)$ სიმეტრიებს, როგორც კერძო შემთხვევებს. ამ მიდგომითაა აგებული დიდი გაერთიანების თეორია (დგთ) (GUT) [58;42].

1974 წელს შემუშავებულ იქნა დიდი გაერთიანების თეორიის მოდელი **შელდან გლემოუსა და ჰოვარდ ჯორჯის** (აშშ) მიერ, რომელიც ცნობილია $SU(5)$ სიმეტრიის სახელწოდებით. იგი თავის ქვეჯგუფად შეცავს $SU(3) \times SU(2) \times SU(1)$ ჯგუფს.

$SU(5)$ სიმეტრია ნიშნავს, რომ საქმე გვაქვს 5 ობიექტთან, რომელთა ერთმანეთში გარდაქმნის შედეგად ურთიერთქმედება იგივე რჩება. ამ ხუთ ობიექტად შერჩეულია 3 სხვასხვა ფერის მარჯვენა სპირალობის მქონე d კვარკები, მაჯვენა პოზიტრონი და მარჯვენა ანტინეიტრინო. ანუ ერთ ოჯახში შემავალი ხუთივე ნაწილაკი მარჯვენაა. ნაწილაკები ხასიათდებიან ოთხი სახის დამოუკიდებელი მუხტებით: ელექტრული, სუსტი და ძლიერი ფერის 2 მუხტით (რადგანაც 3 შესძლო ფერიდან მხოლოდ ორია დამოუკიდებელი). ნაწილაკების ყველა სახის მუხტების რიცხვითი მნიშვნელობა ჩვენთვის უკვე ცნობილია .

დადგენილია, რომ ერთ თაობაში ნაწილაკ-ანტინაწილაკების რიცხვი 30-ს შეადგენს. აღმოჩნდა, რომ $SU(5)$ თეორია იძლევა სწორედ 30 ნაწილაკს, რომლებიც თავისი მუხტებით ზუსტად შეესაბამება ცნობილ ფუნდამენტულ ნაწილაკებს, არც ერთი ნაწილაკი არ რჩება სქემის გარეთ და, მეორე მხრივ სქემას არ შემოქვს არც ერთი ზედმეტი ნაწილაკი. ეს არის $SU(5)$ მოდელის მეტად შთამბეჭდავი წარმატება და ერთ-ერთი საბუთი იმის სასრგებლოდ, რომ ეს სიმეტრია შეიძლება ნამდვილად სწორედ ასახავდეს ბუნების აღნაგობას [19;116].

გადავიდეთ ახლა $SU(5)$ თეორიით ნაწინასწარმეტყველები ურთიერთქმედებების განხილვაზე. ნახ. 1.14 პირველ სტრიქონში და პირველ სვეტში განლაგებულია მარჯვენა სპირალობის მქონე 5 ფუნდამენტალური ნაწილაკი – 3 სხვასხვა ფერის d კვარკი ანტინეიტრინო და პოზიტრონი. დანარჩენ უჯრედებში მოცემულია ყველა შესაძლო გადასვლები ამ 5

ნაწილაკს შორის. ნახაზიდან ჩანს, რომ $SU(5)$ სიმეტრია ქვესიმეტრიების სახით შიდავს კვარკების დამაკავშირებელ $S_c(3)$ სიმეტრიას (კვარკების დამაკავშირებელი 9 უჯრედიანი კვადრატი, იხ. ნახ. 1.8, სადაც q კვარკად ახლა მარჯვენა d კვარკია აღებული) და ლეპტონების დამაკავშირებელ ელექტროსუსტ $SU(2)*U(1)$ სიმეტრიას (იხ. ლეპტონების დამაკავშირებელი ნახ. 1.12 შესაბამისი 4 უჯრედიანი კვადრატი).

მარჯვენა ნაწილაკები	d_R	d_B	d_G	ϵ_e	E^+
d_R	$G_1 G_2 \chi$	$G_{R\bar{B}}$	G_{RG}	$X_R^{-1/3}$	$X_R^{-4/3}$
d_B	$G_{B\bar{R}}$	$G_1 G_2 \chi$	G_{BG}	$X_B^{-1/3}$	$X_B^{-4/3}$
d_G	$G_{G\bar{R}}$	$G_{G\bar{B}}$	$G_1 G_2 \chi$	$X_G^{-1/3}$	$X_G^{-1/3}$
ϵ_e	$X_{\bar{R}}^{+1/3}$	$X_{\bar{B}}^{+1/3}$	$X_{\bar{G}}^{+1/3}$	Z^0	W^+
E^+	$X_{\bar{R}}^{+1/3}$	$X_{\bar{B}}^{+1/3}$	$X_{\bar{G}}^{+1/3}$	W^+	Z^0, χ

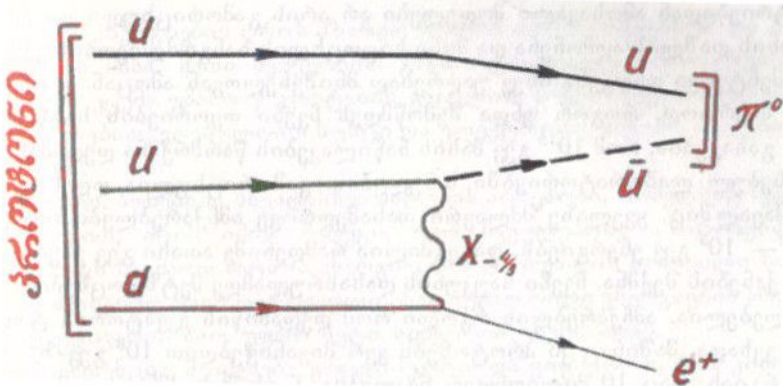
ნახ 1.14 $SU(5)$ დიდი გაერთიანება

გარდა ამისა $SU(5)$ -ში გაჩნდა კვარკებისა და ლეპტონების დამაკავშირებელი ურთიერთქმედებები მათი გადამტანი საშუალო X ბოზონებით. ამგვარი ურთიერთქმედების შედეგია მაგალითად d_R კვარკის დაშლის პროცესი e^+ ლეპტონის გამოსხივებით და $X_R^{-4/3}$ ბოზონის მონაწილეობით: $d_R \rightarrow e^+ + X_R^{-4/3}$

სხვადასხვა ფერის d კვარკები ერთმანეთთან დაკავშირებულია გლუონებითა და χ კვანტებით; ლეპტონები ერთმანეთში გადადიან W^\pm , Z^0 და χ -კვანტების მეშვეობით. მაგრამ $SU(5)$ სიმეტრია მოითხოვს სიმეტრიას ძირითადი ხუთეულის ყველა ნაწილაკს შორის, ანუ ურთიერთგადასვლას კვარკებსა და ლეპტონებს შორისაც [19;118].

ამრიგად, იმ 12 საშუალო ბოზონის გარდა, რომლებიც ადრე გვქონდა: 8 გლუონი, W^\pm , Z^0 ბოზონები და χ -კვანტი,

თეორიას შემოაქვს 12 ახალი ბოზონი. ისინი აღინიშნებიან X -ით და თითოეულს სხვადასხვა მუხტების თავთავსი კრებული ახასიათებთ, რომლის დადგენაც ძნელი არ არის. ყველა X ბოზონის ელექტრული მუხტი $1/3$ -ის ტოლია. განხილულ თეორიაში ისაა მთავარი, რომ კვარკებისა და ლეპტონების მუხტების სიდიდეები აღმოჩნდა მკაცრად დაკავშირებული ერთმანეთთან, რის გამოც ყველა პროცესში მოქმედებს ელექტრული მუხტის მკაცრი შენახვის კანონი [19;119].



ნახ.1.15 პროტონის დაშლის ერთ-ერთი შესაძლო სქემა $SU(5)$ სიმეტრის მიხედვით

აღსანიშნავია, რომ თეორია არ შეიცავს ბარიონების შენახვის კანონს. ბარიონული რიცხვი არ წარმოადგენს რაიმე ურთიერთმოქმედების წყაროს, ამიტომ არც შესაბამისი აუცილებელი სიმეტრია არსებობს მისგან გამომდინარე შენახვის კანონებით. $SU(5)$ მოდელის მიხედვით შესაძლებელია პროტონის დაშლის ისეთი ვარიანტი, რომელიც გამოსახულია ნახ. 1.15-ზე.

ამრიგად დიდი გაერთიანების თეორიის მიხედვით პროტონი არა სტაბილურია და იშლება. [99;371].

მაშ რატომ არ აღმოაჩინეს აქამდე პროტონის დაშლა.

პროტონის დაშლის შემთხვევაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება X -ნაწილაკების მასას. თუ X -ნაწილაკები მასიურია მისი

განარბენი ძალიან მცირეა და მისი მოქმედების რადიუსიც ძალიან შემოსაზღვრულია. ყველაზე ზუსტ შეფასებაზე დაყრდნობით ფიზიკოსები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ X-ნაწილაკის მასა 10^{14} პროტონის მასის ტოლია, ანუ კოლოსალური სიდიდისაა [19;145].

პროტონის შიგნით ასეთი მასის არსებობა განისაზღვრება ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპით, რომლის მიხედვით ნაწილაკის არსებობის დრო იმდენად მცირეა, რომ მას არსებობის განმავლობაში მხოლოდ 10^{-32} სმ-ის მანძილზე შეუძლია გადაადგილდეს. სწორედ ამ მანძილზე უნდა მიუახლოვდეს 2 კვარკი, რომ მათ შორის მოხდეს X-ნაწილაკით გაცვლა, რასაც პროტონის დაშლამდე მივყავართ [19;146].

ალბათობა იმისა, რომ კვარკები ასეთ მცირე მანძილზე მიუახლოვდებიან ერთმანეთს, ძალიან მცირეა, რის გამოც პროტონის სიციცხლის ხანგრძლივობა $10^{32\pm 3}$ წლის ტოლია [99;371].

ამჟამად პროტონის დშლის გაცხოველებული ექსპერიმენტული ძიება მიმდინარეობს. ამიტომ ფიზიკოსები პროტონის დაშლის შემთხვევების აღმოსაჩენად ატარებენ სპეცილურ ექსპერიმენტებს.

IMB სახელწოდებით ცნობილი მსოფლიოში უდიდეს დანადგარზე (ქვამარილის შახტში მოთავსებული $(20*20*25)m^3$ ზომების წყლით სავსე კამერა, რომელსაც 2400 ფოტოგამამრავლებელი უთვალთვალეებს. დანადგარმა უნდა დააფიქსროს სწრაფად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების არსებობა. ამ დანადგარზე 1982 წელის გაზაფხულზე ფიზიკოსთა იაპონიანდური ჯგუფის მიერ ჩატარებულ ექსპერიმენტში აღმოჩენილ იქნა პროტონის დაშლის რამდენიმე „კანდიდატი-შემთხვევა“, რომლის მიხედვით გაკეთებული პროტონის დაშლის ხანგრძლივობა შეფასდა 10^{31} წლით. რამდენიმე თვის შემდეგ ანალოგიური შედეგი დააფიქსირეს ცერნის ჯგუფის ფიზიკოსებმა მომბლანის ქვეშ ჩატარებულ ექსპერიმენტში.

ერთ-ერთი ყველაზე ზუსტი ექსპერიმენტი ჩატარდა ტბა ერის (ავსტრალიაში) ქვეშ არსებული 600 მ-ის სიღრმის ღრმულში. ამ ექსპერიმენტში გამოიყენებოდა 8000 ტონა

გულდასმით გასუფთავებული წყალით სავსე 18 მ სიგრძის ნიბოს მქონე კუბური ფორმის რეზერვუარი. ექსპერიმენტს პირველი 3 თვის განმავლობაში უნდა დაეფიქსირებინა რამდენიმე პროტონის დაშლა. მაგრამ ვერც ერთი დაშლა ვერ დაფიქსირდა. რაც იმას ნიშნავს, რომ დგთ-ის მარტივი ვერსია გამორიცხულია. მაგრამ არსებობენ ამ თეორიის უფრო რთული ვერსიებიც, რომლებიც წინასწარმეტყველებენ პროტონების უფრო ხანგრძლივ არსებობას, თუმცა მისი ექსპერიმენტზე შემოწმება ძალიან რთულია [75;154].

პროტონის დაშლის საკითხი უმნიშვნელოვანეს საკითხს წარმოადგენს, რადგანაც მასზეა დამოკიდებული ჩვენი სამყაროს ბედი შორეულ მომავალში.

ამჟამად პროტონის დაშლის აღმოსაჩინად ტარდება ურთულესი ექსპერიმენტები შეერთებულ შტატებში, რუსეთში, დასავლეთ ევროპაში და იაპონიაში. მისი აღმოჩენა იქნება საუკუნის ექსპერიმენტი. თუ პროტონის დაშლა ვერ იქნა აღმოჩენილი, ეს ჯერ კიდევ არ ნიშნავს დიდი გაერთიანების თეორიის მცდარობას [99;371].

ლოკალურ ყალიბურ სიმეტრიებზე დაფუძნებულმა ელექტროსუსტი და ძლიერი ურთიერთქმედებების თეორიებმა ბუნებრივად შეავსეს ერთმანეთი. ამ სამივე ურთიერთქმედების სინთზს, რომელიც ეყრდნობა შემდეგ ყალიბრულ ჯგუფს:

$$SU(3) \times SU(2) \times SU(1)$$

მას უწოდებენ „ნაწილაკთა ფიზიკის სტანდარტულ მოდელს“.

ამრიგად, სტანდარტული მოდელის ფარგლებში შესაძლებელი გახდა 3 ტიპის ურთიერთქმედების გაერთიანება, და ისინი აღარ განიხილებიან ცალკე-ცალკე და ითვლებიან ერთიანი ბუნების ძალის 3 სხვადასხვა გამოვლინებად.

საერთოდ როგორ უნდა შემოწმდეს დგთ-ს სისწორე? გასაგებია, რომ 10^{15} გევ = 1000 ტევ მასის მქონე ნაწილაკების წარმოქმნა დედამიწაზე არსებულ ლაბორატორიებში გამო-

რიცხულია. 2010 წელს ჟენევაში ამუშავდა კოლეიდერი 14 ტევენერგიაზე, რაც არ არის საკმარისი 1000 ტევის მასის მქონე ნაწილაკების დასაბადებლად.

10^{15} ენერგიაზე, რადგანაც ყველა საშუალებო ბოზონი შეიძლება უმასოდ ჩაითვალოს, მეფობს დიდი გაერთიანების სიმეტრია, ყველა ურთიერთქმედება ტოლფასოვანია, და ბუნებას ერთი სახის ძალა მართავს. ყველა პროცესი, რომელსაც ჩვენ ძლიერს, ელექტრომაგნიტურს ან სუსტს ვუნოდებთ, ერთნაირი ინტენსივობით, ანუ ერთნაირი ალბათობით წარიმართება [19;122].

უფრო ნაკლებ ენერგიაზე თავს იჩენს სანყისი დიდი სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა, X საშუალებო ბოზონები ჰიგსის მექანიზმის მეოხეობით იძენენ უზარმაზარ მასებს. რის გამოც მათი შუამავლობით მიმდინარე პროცესები ფერხდება და ხდება ნაკლებ ალბათური.

ნახ. 1.14-ზე სათანადო გადასვლების გამომხატველი უჯრედები პრატიკულად ცარიელად ითვლება, რაც ნიშნავს $SU(5)$ ძლიერი და $SU(2) \times U(1)$ ელექტროსუსტი ძალების გაყოფას. რაც უფრო ნაკლებია ენერგია მით უფრო მკაფიოდაა გამოხატული გადახრა სანყისი სიმეტრიებიდან [19;122].

100 გევენერგიაზე W^\pm და Z^0 ბოზონებით განპირობებული პროცესების ალბათობა მცირდება X -კვანტების გაცვლით მიმდინარე პროცესებთან შედარებით და ვლბულობთ სუსტი და ელექტრომაგნიტური პროცესების გამიჯვნას. ამრიგად, ის ფაქტი. რომ ბუნებაში სხვადასხვა ძალების არსებობა, იმის შედეგია, რომ ჩვეულებრივ პირობებში საქმე გვაქვს საკმაოდ მცირე ენერგიებთან და ბუნების ძალების ნამდვილი სიმეტრია ძლიერადაა დარღვეული [19;123].

რაც უფრო დიდ ენერგიებზე გადავიდვართ, მით უფრო მეტი სიმეტრია იჩენს თავს. დიდი გაერთიანების ენერგიაზე უფრო მეტ ენერგიაზე გასვლით ზემოხსენებულ 3 ძალასთან გრავიტაციული ურთიერთქმედებაც გაერთიანდება. ასეთ ენერგიად მიჩნეულია პლანკისეული ენერგია 10^{19} გევე, რაც 10000 -ჯერ მეტია დგთ-ს ენერგიაზე.

დგთ ფლობს რამდენიმე მოულოდნელ უპირატესობას. ერთ-ერთი მათგანი იმაში მდგომარეობს, რომ ნაწილაკის ელექტრული მუხტები ყოველთვის ერთსადაიმავე ფუნდამენტული სიდიდის ჯერადაა. ელექტრონისათვის ის -1 -ის ტოლია, პროტონისათვის $+1$ -სა, ხოლო d კარკისთვის $-1/3$ -სა. ყველა დანარჩენი ნაწილაკების მუხტებიც ამ მუხტების მთელ ჯერადს წარმოადგენენ.

გაერთიანებული თეორია, რომლის მიხედვით ყველა ნაწილაკები ერთი ოჯახის წევრებს წარმოადგენენ, არ შეიძლება არ ფლობდნენ ერთმანეთის ჯერად ელექტრულ მუხტებს, ან საერთოდ არ ფლობდნენ მას.

განხილულ თეორიაში ისაა მთავარი, რომ კვარკებისა და ლეპტონების მუხტების სიდიდეები აღმოჩნდა მკაცრად დაკავშირებული ერთმანეთთან, რის გამოც ყველა პროცესში მოქმედებს ელექტრული მუხტის მკაცრი შენახვის კანონი [19;119].

მართალია, დიდი გაერთიანების თეორიის ექსპერიმენტულად შემოწმება ძალიან ძნელია. რადგანაც იმ ენერგიების მიღწევა, რომელიც საჭიროა ამ თეორიის შესამოწმებლად ამარქარებლის საშუალებით მიუღწეველია, მისი უზარმაზარი ზომების გამო. მაგრამ, ასეთი ენერგიის პროცესებს ადგილი ჰქონდა ჩვენ სამყაროში მისი წარმოშობის საწყის სტადიაში. ამ დროს მიმდინარეობდა დიდი გაერთიანების თეორიის შესაბამისი პროცესები, რომელთა კვალი შემონახულია დღევანდლამდე. ერთ-ერთი იმათგანი არის სამყაროს ბარიონული ასიმეტრია [99;371].

ფიზიკოსებმა დაინეს ფიქრი ოთხივე ძალის გამაერთიანებელი თეორიის შექმნაზე [75;154].

სწორედ ასეთი სუპერდიდი გაერთიანების თეორიის შექმნისაკენ არის მიმართული ფიზიკოსთა მისწრაფება. ფიზიკოსებმა მოინადინეს ერთიანი ველის თეორიის ჩამოყალიბება, რომელიც მოიცავს 4-ვე ურთიერთქმედებას. მათი 4-ვე ველს ერთ სქემაში მოქცევის ცდა წარმატებული აღმოჩნდა. შეიქმმა ერთიანი M -თეორია, რომელსაც ყოველის თეორია უწოდეს.

2. სუპერდიდი გაერთიანებისაკენ

არსებობს მრავალი მაგალითი ფიზიკაში, როცა აბსტრაქტული ცნებებით აიხსნება გარე სამყაროში არსებული მოვლენები. ამის თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორია. აინშტაინის თეორიის სილამაზე განპირობებულია არა მარტო გრავიტაციული ველის განტოლებების ელევანტურობით და სიმძლავრით, არამედ მისი შეხედულებების ყოვლისშემუსვრელი რადიკალიზმით. აინშტაინის თეორიამ არა მარტო ერთი მოსმით წაშალა ნიუტონის გრავიტაცია და მექანიკა, არამედ დაანგრია წარმოდენა გრავიტაციაზე, როგორც ძალაზე. ფზთ-ამ საქვეყნოდ განაცხადა, რომ გრავიტაცია წარმოადგენს გამრუდებული სივრცის გეომეტრიას [75;162].

ამ დროს ერთადერთი ძალა, რომლის არსებობაში ეჭვი არავის ეპარებოდა იყო ელექტრომაგნიტიზმი, რომელსაც ბრწყინვალედ აღწერდა მაქსველის თეორია.

აღ. აინშტაინი ცდილობდა ამ ორი თეორიის გაერთიანებას გეომეტრიის საფუძველზე, მაგრამ უშედეგოდ. მის დიდ მეცნიერულ ოცნებას წარმოადგენდა ბუნების ყვალა ძალის გაერთიანება ერთი უნივერსალური თეორიის ფარგლებში.

გავიხსენოთ, რომ აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალურმა თეორიამ ერთ არსად გააერთიანა სივრცე და დრო – 4-განზომილებიანი სივრცე-დროის კონტინიუმის სახით.

აინშტაინის ფზთ წარმოადგენს გრავიტაციის თანამედროვე თეორიას, რომელიც ეყრდნობა იმ აზრს, რომ გრავიტაცია წარმოადგენს 4-განზომილებიანი სივრცე-დროის გამრუდებას. გრავიტაციული მასები ამრუდებენ სივრცე-დროს, ხოლო თავისუფალი სხეულები ამ გამრუდებულ სივრცე-დროში მოძრაბენ ინერციით, უმცირესი მანძილის გავლით. გამრუდებულ სივრცეში უმცირეს გზას წარმოადგენს მრუდე წირი და არა სწორი ხაზი.

ფზთ-ში აინშტაინი ღრმად იყო დარწმუნებული, რომ ელექტრომაგნიტური ველის ბუნებაც აგრეთვე გეომეტრიული უნდა იყოს.

აინშტაინის გრავიტაციული ველის განტოლებაში მარცხენა მხარეს დგანან სივრცე-დროის სიმრუდის ამსახველი სიდიდეები (სიმრუდის ტენზორი), ხოლო მეორე მხარეს – მიზიდულობის წყარო, სიმრუდის წყარო – ნივთიერების განაწილების აღმწერი სიდიდეები (მატერიის ენერგია-იმპულსის ტენზორი).

აინშტაინი თვლიდა, რომ ასეთი წარმოდგენა მიუღებელია საბოლოო – ჭეშმარიტი თეორიისათვის. იგი მიიჩნევდა, რომ თუ განტოლების მარცხენა მხარეში დგანან გეომეტრიული სიდიდეები, მაშინ მარჯვენა მხარეშიც უნდა იდგნენ თვისობრივად გეომეტრიული ბუნების სიდიდეები. რაც იმას ნიშნავს, რომ ნივთიერება და ველები უნდა გეომეტრიულად აღინერებოდეს [73;89]..

ჩემი აზრით, ალ. აინშტაინის ეს ბრწყინვალე მოსაზრება უნდა მივანეროთ მის **გენიალურ ინტელექტუალურ ინტუიციას**.

როგორც ადრეც აღვნიშნეთ, ალ. აინშტაინს თურმე უთქვამს, რომ ფზთ ეფუძნება 2 ბურჯს. რომეთაგან ერთია მძლავრი და მშვენიერი, თითქოს უზადო, მარმარილოსაგან გამოძერწილი, ტაძარი – ესაა სივრცე-დროის სიმრუდის ტენზორი. ხოლო მეორე – გაურანდავი ფიცრებისაგან ნაგები და მორყეული ჯარგვალი – ესაა ენერგია-იმპულსის ტენზორი ... და ამ პრობლემის გადაწყვეტა მომავლის საქმეაო [73;89].

3. სუპერძალა

ბუნებაში არსებულ სხვა ძალებთან შედარებით, ფიზიკოსების მიერ გრავიტაცია მიჩნეული იყო „თეთრ ყვავად“. სხვა ურთიერთქმედებებს გააჩნიათ სივრცესა და დროში გავრცობადი ძალური ველის ხასიათი, ხოლო გრავიტაცია თავად წარმოადგენს სივრცე-დროს. აინშტაინის ფზთ გრავიტაციას აღწერს როგორც სივრცე-დროის დეფორმაციასა და გამრუდებას [89;155].

გრაიტაციული ველის გეომეტრიულ ბუნებას ახსიათებს არაჩვეულებრივი სიფაქიზე, რაც ქმნის სერიოზულ სიძნელეს ველის კვანტური აღწერის მცდელობისას.

ათეული წლების გნმავლობაში აინშტაინის ფზთ არ ექვემდებარებოდა მკვლევართა კვანტური აღწერის ფორმულირებას.

მიუხედავად იმისა, რომ გრავიტაციას შეესაბამება ყალიბრული ველი მისი აღწერა გრავიტონების გადამტანის ენაზე გონივრულ შედეგებს იძლევა მხოლოდ უმარტივესი პრცესებისათვის. ხოლო განტოლებებში ჩაკეტილი გრავიტაციული მარყუჟების გათვალისწინებისას წარმოიქმნებიან უსასრულობები. გრავიტაციული ველის განშლადობის პრობლემა გამოწვეულია იმით, რომ გრავიტონი თავადაც ატარებს გრავიტაციულ მუხტს – ენერგიის (მასის) სახით [75;155].

როგორც ენერგიის ყოველი ფორმა, გრავიტონებიც წარმოადგენენ გრავიტაციის წყაროს. ანუ შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ გრავიტონებიც „გრავიტირებენ“. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ 2 გრავიტონი ერთმანეთზე მოქმედებს მესამე გრავიტონით. ამიტომ აღმოჩნდა, რომ ძალიან ბევრია გრავიტონებს შორის ურთიერთქმედებების ფორმები, რაც იწვევს გრავიტაციის განუზღვრელობებს. გრავიტაციული ველის განტოლებებში ჩნდება უსასრულო რაოდენობის განშლადობები, რაც კვანტური გრავიტაციის თეორიის აუცილებელ ნაკლად ითვლება. ასეთ სიტუაციას ჰქონდა ადგილი სუსტ ურთიერთქმედებაში სანამ ის გაერთიანდებოდა ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებასთან. რაც იმით იყო განპირობებული, რომ სუსტი ურთიერთქმედების ძველი თერია განიცდიდა სიმეტრიის ნაკლებობას. მასში ყალიბრული სიმეტრიის შეტანამ გამოიწვია განშლადობების გაქრობა. ამის გათვალისწინებით გრავიტაციული განუზღვრელობების მოსახსნელად თეორეტიკოსებმა დაიწყეს ისეთი ახალი სიმეტრიების ძებნა, რომლებიც მოხსნიდა ამ განუზღვრელობებს. ამ ძებნამ ფიზიკოსები მიიყვანა სუპერსიმეტრიის იდეამდე.

სუპერსიმეტრიის არსი დაკავშირებულია სპინის ცნებასთან. სპინის სიდიდის მიხედვით ნაწილაკები იყოფიან 2 კლასად. ერთს მიეკუთვნებიან მეზონები – ნაწილაკები, რომელთა

სპინები 0-ის, 1-ის ან 2-ის ტოლია. ხოლო მეორეს, ის ნაწილაკები რომელთა სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია ქმნიან ფერმიონების კლასს. მეზონები და ფერმიონები თავისი ფიზიკური თვისებებით ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან. ფერმიონები ხასიათდებიან განსაკუთრებული თვისებებით, რომელიც ცნობილია პაულის აკრძალვის პრინციპს სახელწოდებით. ამ პრინციპის მიხედვით ორი ელექტრონი არ შეიძლება არსებობდეს ერთსა და იმავე კვანტურ მდგომარეობაში. ამ პრინციპით იხსნება თუ როგორ ავსებენ ელექტრონები სხვადასხვა ენერგეტიკულ დონეებს მძიმე ატომებში. რის შედეგადაც ახსნილ იქნა მენდელეევის ელემენტების პერიოდული სისტემა.

ფერმიონებისაგან განსხვავებით, ბოზონები მიისწრაფიან და ლაგდებიან მინიმალური ენერჯის მქონე დონეზე ერთსა იმავე კვანტურ მდგომარეობაში. ფიზიკოსებისათვის ბოზონები ასოცირდებიან ურთიერთქმედებასთან. ხოლი ფერმიონები ნივთიერებასთან. ამიტომ ძალიან ძნელი წარმოსადგენი იყო ამ 2 ჯგუფის გაერთიანება ერთი სუპერსიმეტრიის ფარგლებში. აღმოჩნდა, რომ სუპერსიმეტრია მჭიდროდაა დაკავშირებული გეომეტრიასთან. გრავიტაცია, რომელიც წამოადგენს სუფთა სახით სივრცის სიმრუდეს, შეიძლება ბუნებრივი სახით გამოისახოს სუპერსიმეტრიის ენაზე. სუპერსიმეტრია ერთ ოჯახად აერთიანებს 0, $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$, და 2 სპინის მქონე ნაწილაკებს. ანუ სუპერსიმეტრიამ იწინასწარმეტყველა $\frac{3}{2}$ სპინის მქონე ნაწილაკების არსებობაც [75;158].

ამ ოჯახის დეტალური სტრუქტურა დამოკიდებულია სუპერსიმეტრიის მათემატიკურ წარმოდგენაზე. ყველაზე ნაყოფიერ წარმოდგენას ეწოდება სუპერგრავიტაცია „N = 8“.

სუპერსიმეტრიების ენაზე გრავიტაციის აღწერას სუპერგრავიტაციას უწოდებენ.

სუპერგრავიტაცია ჩვეულებრივი გრავიტაციისაგან იმით განსხვავდება, რომ აქ გრავიტაციული ურთიერთქმედების გადამტანი აღარაა მარტო გრავიტონი.

თეორეტიკოსებმა ნაწილად 3/2 სპინით „გრავიტინო“ უწოდეს. სუპერსიმეტრიებში ურთიერთქმედების გადამტანებს გარდა გრავიტონისა, წარმოდგენენ სხვადასხვა სპინის მქონე ნაწილაკები, მათ შორის გრავიტინოც [75;159].

სუპერგრავიტაცია იძლევა ნივთიერებისა და ურთიერთქმედების ერთიან აღწერას. სუპერგრავიტაციაში გაერთიანებული არიან ფოტონები, გლუონები, კვარკები და ლეპტონები. მიუხედავად იმისა, რომ სუპერგრავიტაცია ჯერ კიდევ იმყოფება ფორმირების სტადიაში, იგი იმედს იძლევა, რომ გადანყვეტს თეორიული ფიზიკის შემდეგ ძირითად პრობლემებს:

როგორ გაერთიანდეს ოთხივე ფუნდამენტული ურთიერთქმედება;

როგორ აიხსნას ყვალა ფუნდამენტალური ნაწილაკის არსებობა;

რით არის გამოწვეული გრავიტაციული ძალის სისუსტე სხვა ძალებთან შედარებით?

სტივენ ხოუკინგი სუპერგრავიტაციაში ხედავს თეორიული ფიზიკის კულმინაციას.

ზოგი ფიზიკოსის აზრით, სუპერგრავიტაცია იდეალურ თანხვედრაშია რეალურ სამყაროსთან. მაგრამ, თეორეტიკოსების ერთუაზიან ანეიტრალებს ის ფაქტი, რომ შეუძლებელია თეორიის ექსპერიმენტით შემოწმება, რაც ძალიან ართულებს მდგომარეობას. მაგრამ ვაინბერგის აზრით, ექსპერიმენტატორები მონახავენ რაიმე გამოსავალს [75;161].

4. კალუცა-კლეინის თეორია

აინშტაინის ნატურის რეალიზაციასთან ახლოს მივიდა ნაკლებად ცნობილი პოლონელი ფიზიკოსი ტეოდორ კალუცი. მან მოინდომა აინშტაინის თეორიის განზოგადება [75;163].

მან ინტუიციით მიაგნო განსაცვიფრებლად მარტივ ამოხსნას, გეომეტრიის ისეთი განზოგადებით, რომელიც მოიცავდა მაქსველის განტოლებებსაც. ტ. კალუცამ დაუშვა, რომ სამ-

განზომილებიან სივრცესთან ერთად არსებობს უჩინარი დამატებითი მეოთხე სივრცული განზომილება, ანუ არსებობს 5 განზომილებიანი სივრცე-დროითი კონტინიუმი [75;169].

ამ დაშვებით ტ. კალუცამ აჩვენა, რომ შეიძლება მოხდეს მათემატიკური სასწაული. ასეთ ხუთგანზომილებიან სამყაროში გრავიტაციული ველი თავს ამჟღავნებს როგორც ჩვეულებრივი გრავიტაციული ველი, პლუს მაქსველის ელექტრომაგნიტური ველი.

დამატებითი განზომილებები. ჩვენი ინტუიცია იკვებება ცხოვრებისეული ცდებით. არსებობს მოვლენების ქსელი, რომლის ქმედბასაც ყველა განიცდის და რომლებიც თითქოს ყველასთვის გასაგები და მისაღებია. ექპერიმენტები გვიჩვენებენ, რომ ნებისმიერი ნერტილის მდებარეობა სამყაროში მოიცემა სამი რიცხვით, ანუ სამი კოორდინატით. აინშტაინმა უჩვენა, რომ დრო შეიძლება განხილულ ქნეს როგორც მეოთხე კოორდინატი. ყველასთვის ცხადია, რომ სამყაროში მოვლენა განისზღვრება ადგილისა და დროის ჩვენებით. ამ თვალსაზრისით არსებობს სივრცე-დროითი კონტინიუმი, რომელიც 4-განზომილებიანია [73;129].

ტ. კალუცას მიხედვით, ელექტრომაგნიტური ველი არის გრავიტაციული ველის ნაწილი სივრცის მეხუთე განზომილებაში. ამ თეორიაში ელექტრომაგნიტური ტალღა არის მეხუთე განზომილების პულსაცია. ფიზიკოსებს შორის დაისვა კითხვა, თუ სად უნდა გამქრალიყო კალუცას მე-5 განზომილება.

1926 წელს შვედმა ფიზიკოსმა ოსკარ კლეინმა წამოაყენა მარტივი და ბრწყინვალე იდეა, რომლის მიხედვით მეხუთე დამატებითი განზომილება ჩახვეულია ძალიან მცირე ზომით. ის შეიძლება აიხსნას შლანგის მაგალითზე. შორიდან შლანგი ჩანს როგორც წირი, რომლის რომელიმე ერთი ნერტილი ახლოს მისვლისას აღმოჩნდება, რომ წრეა. ის რასაც ჩვენ წერტილად ვთვლით სამგანზომილებიან სივრცეში, სინამდვილეში არის მეოთხე სივრცითი განზომილების უმცირესი ზომის წრე.

მართლია ჩვენ გვიჭირს ამის თვალსაჩინო წარმოდგენა, მაგრამ მეოთხე განზომილება მანც შეიძლება არსებობდეს. ამასთან მეოთხე განზომილება არ წარმოიქმნის ორბიტების მდგრადობის პრობლემას. საქმე იმაშია, რომ დამატებით განზომილებაში არ გადაადგილდება ნივთიერება და არც ველები (ტალღები) [75;171].

ო. კლეინის გამოთვლებით დამატებითი განზომილების ჩახვევის რადიუსი 10^{-32} სმ-ს ტოლია, რაც 10^{20} -ჯერ ნაკლებია ატომის ზომაზე. ამიტომ, რომ ჩახვეულ განზომილებებს ჩვენ ვერ ვამჩნევთ [75;172].

მისი აზრით ჩვენი სამყაროს სივრცითი სტრუქტურა შეიცავს როგორც გრძივ ისე ჩახვეულ განზომილებას, რომელიც, მისი ზომების სიმცირის გამო, არ ემორჩილება უშუალო დაკვირვებას.

ჩახვეული განზომილების თვალსაჩინი მაგალითს წარმოადგენს ძუა. მას გააჩნია ერთი გრძივი სივრცითი განზომილება, რომელიც უშუალოდ დაკვირვებადია და მეორე (ჭრილი), ჩახვეული განზომილება, რომელიც გაცილებით ძნელად აღმოჩენად-დაკვირვებადია.

კალუცამ, მეოთხე განზომილების შემოტანით, დაადგინა, რომ მიღებული განტოლებათა ახალი სისტემა შეიცავდა როგორც აინშტაინის განტოლებებს, ისე მაქსველის განტოლებებს ელექტრომაგნიტური ველისათვის. ფაქტიურად კალუცამ დამატებითი განზომილების შემოტანით გააერთიანა აინშტაინის გრავიტაციული ველის თეორია ელექტრომაგნიტური ველის თეორიასთან. გრავიტაცია ვრცელდება ტალღებით ჩვეულებრივ სამგანზომილებიან სივრცეში, ხოლო ელექტრომაგნიტიზმი ვრცელდება ტალღებით, რომლებიც იყენებდნენ მეოთხე – ჩახვეულ განზომილებას. მიუხედავად ასეთი წარმატებისა, შემდგომმა დაწვრილებითმა ანალიზმა უჩვენა, რომ ეს მიდგომა წინააღმდეგობაშია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან [75;135].

მიუხედავად მისი არაჩვეულებრივობისა კალუცა-კლეინის თეორია მთელი ნახევარი საუკუნის განმავლობაში მიჩნეული

იყო მათემატიკურ კურიოზად. საჭირო შეიქმნა წინა საუკუნის 30-იან წლებში აღმოჩენილი ძლიერი და სუსტი ურთიერთქმედებების გააზრება.

70-იანი წლების ბოლოს, დიდი გაერთიანების თეორიითა და სუპერგრაფიტაციით დაბერილი ახალი სიოს გამოისობით, ფიზიკოსებმა გაიხსენეს კალუცა-კლეინის ძველი თეორია. მას ჩამოაშორეს ნაფტალინი, გადაბერეს მტვერი და ჩართეს მასში ყველა ცნობილი ურთიერთქმედება.

დიდი გაერთიანების თეორიაში თეორეტიკოსებმა შეძლეს ერთი კონცეფციის ჩარჩოში, სტანდარტული მოდელის ფარგლებში, გაერთიანებინათ 3 მეტად განსხვავებული ურთიერთქმედება. ეს იმით არის განპირობებული, რომ სამივე ურთიერთქმედება შეიძლება აღწერილ იქნენ ყალიბური ველების საშუალებით. ყალიბური ველის ძირითადი თვისება კი მდგომარეობს აბსტრაქტული სიმეტრიების არსებობაში. კალუცა-კლეინის თეორიაში ყალიბური ველების სიმეტრიები იძენენ სივრცის დამატებითი განზომილებებთან დაკავშირებული გეომეტრიული სიმეტრიების ფორმას. მაგრამ, რადგანაც ამჟამად თეორეტიკოსებმა მოინადინეს სამი სხვადასხვა ძალის გაერთიანება, საჭირო შეიქმნა შემოეტანათ 7 დამატებითი განზომილება [75;173].

საბოლოო ჯამში, დროის გათვალისწინებით, სივრცედროითი კონტინუმი ითვლის 11 განზომილებას. ამრიგად, კალუცა-კლეინის თეორიის ამჟამინდელი ვარიანტი აღწერს 11-განზომილებიან სამყაროს [75;173].

ამასთან შეიძლება დავუშვათ, რომ დამატებითი განზომილებანი ჩახვეულია 10^{-32} სმ რადიუსის წრეწირების სახით. თუმცა მრავალგანზომილებიანი სივრცე შეიძლება ჩახვეულ იქნეს სხვადასხვა ტოპოლოგიების (ზედაპირული ფორმების) სახით. 7-განზომილების შემთხვევაში სხვადასხვა ფორმის ტოპოლოგიებიდან ყველაზე საინტერესო ვარიანტია 7-განზომილებიანი სფერო, რომელსაც შეიძლება გააჩნდეს სიმეტრიის მრავალი თვისება. ამ შემთხვევაში 3-განზომილებიანი სივრცის

ყველი წერტილი ფაქტიურად წარმოადგენს ნამცეცა სიმეტრიულ 7-„ჰიპერსფეროს“ [75;174].

სფერო – უმაღლესი რანგის სიმეტრიული ფიგურაა. ამასთან 7-სფერო ფლობს მრავალ დამატებით სიმეტრიებს, რომლებიც არ ახასიათებს ჩვეულებრივ 3-განზომილებიან სფეროს. იმ პრინციპებიდან გამომდინარე, რომ ფიზიკური სისტემა ყოველთვის მიისწრაფის მინიმალური ენერჯიის მდგომარეობისაკენ, ფიზიკოსებმა მიიჩნიეს, რომ 11-განზომილებიანი სევრცე-დროში 7-სფერო უნდა იყოს მცირედ ჩაზნექილი ფორმისა. ის ფაქტი, რომ ჩვენი სამყარო 3-განზომილებიანია, ხსნიან ანთროპული პრინციპით, რომლის მიხედვით ჩვენ სხვა განზომილების მქონე სამყაროში უბრალოდ ვერ ვიარსებებდით [75;175].

ისმის კითხვა, რამდენად აუცილებელია, რომ სევრცე-დროითი სამყარო ყოფილიყო 11-განზომილებიანი, აღმოჩნდა, რომ რიცხვს 11 გააჩნია ღრმა მათემატიკური აზრი, რომელიც გამომდინარეობს სუპერგრაფიტაციიდან. სპინის ცნება დაკავშირებულია ნაწილაკის ბრუნვასთან 3-განზომილებიან სევრცეში.

რადგანაც სპინის მაქსიმალური სიდიდე 2-ის ტოლია, ხოლო მისი ცვლილება შესაძლებელია $1/2$ -ს ტოლი ბიჯით, ამიტომ სამგანზომილებია სევრცეში მას გააჩნია 8 სახის პროექცია: -2 ; $-3/2$; -1 ; $-1/2$; 0 ; $1/2$; 1 ; $3/2$; 2 . ამრიგად იმისთვის, რომ სუპერგრაფიტაციამ მოიცვას ყველანირი სპინის მქონე ნაწილაკი, სამგანზომილებიან სევრცეში საჭიროა „ $N=8$ “ ოპერაცია. აღმოჩნდა, რომ 11 განზომილებიან სევრცეში, სუპერგრაფიტაციისათვის საჭირო „ $N=8$ “ ოპერაცია გამოიხატება ერთი მობრუნებით, ანუ 1 ოპერაციით, „ $N=1$ “. რაც იმას ნიშნავს, რომ სუპერგრაფიტაციას, კალუცა-კლეინის თეორიაში შეესაბამება, არც მეტი და არც ნაკლები, 11-განზომილებიანი სევრცე.

მრავალი ფიზიკოსიის აზრით, არსებობს ღრმა კავშირი სუპერგრაფიტაციასა და კალუცა-კლეინის თეორიებს შორის, და ფიზიკის ორი მიმართულება – სუპერგრაფიტაცია და დიდი

გაერთიანების თეორია შეიძლება გაერთიანდეს ერთიანი თეორიის სახით [75;177].

ბუნების გეომეტრიზაცია. კალუცა-კლეინის ამჟამინდელ თეორიაში ყველა ძალა, გრავიტაციის მსგავსად განიხილება როგორც სივრცე-დროითი სტრუქტურის გამოვლინება. ამასთან, გრავიტაცია განპირობებულია 4-განზომილებიანი სივრცე-დროის სიმრუდის გამოვლინებით, ხოლო დანარჩენი ძალები განპირობებული არიან მაღალი განზომილების მქონე სივრცის სიმრუდის გამოვლინებებით. ამრიგად, ბუნების ყველა ძალა წარმოგვიგება როგორც ფარული გეომეტრიის გამოვლინებები [75;177].

სამყარო საბოლოო ჯამში არის თვითორგანიზებადი ვაკუუმი. ხოლო, ველები და ურთიერთქმედებები ახსნას ლებულბენ გეომეტრიის ენაზე [75;178].

ფარული განზომილებების გამოკვლევა. რაც არ უნდა მშვენიერ იყოს ბუნება, თავისთავად მხილოდ თეორიის სილამაზე და სიმშვენიერე ფიზიკოსებს მაინც ვერ დააჯერებს მის ჭეშმარიტებაში. აუცილებელია უდაო ფიზიკური დასაბუთებაც.

თუ არ მოიძებნა რაიმე საშუალება იმისა, რომ დამტკიცდეს 7 დამატებითი განზომილების არსებობა, თეორია მნიშვნელოვნად დაკარგავს თავის მიმზიდველობას. იმისათვის, რომ დავასაბუთოთ დამატებითი 7 განზომილების არსებობა, საჭიროა შესწავლილ იქნას 10^{-32} სმ ზომის ულტრამიკოსკოპიული სტრუქტურები. მაგალითად ბირთვებს 10^{-12} სმ ზომის დიამეტრით შეესაბამება f -მეზონების მასა. დიდი გაერთიანების თეორიის შესაბამისი X -ნაწილაკების მასა 10^{14} გევ = 100 ტევ ენერგიის რიგისაა. ხოლო იმისათვის, რომ შევალწიოთ 7-სფეროს შიგნით საჭიროა 10^{19} გევ ექვივალენტური ენერგია, რომელსაც პლანკისეულ ენერგიას უწოდებენ, რადგანაც მისი ცნება პირველად შემოტანილ იქნა პლანკის მიერ, კვანტური მექანიკის შექმნისას [75;180].

ასეთ ენერგიის მიღწევა ნიშნავს სუპერძალის პრაქტიკულად დაუფლებას. ამისთვის კი ადამიანი უნდა ფლობდეს პლანკისეული ენერგიის მქონე ამაჩქარებელს, რომლის ზომა იქნებოდა 10^7 სინათლის წლისა, რაც ყველას წარმოუდგენელად მიაჩნია. თუ კაცობრიობა ოდესღაც დაეუფლება სუპერძალას, მაშინ ის დაეუფლება ბუნებას, რადგანაც სუპერძალა საბოლოო ჯამში ბადებს ყველა ურთიერთქმედებას და ყველა ფიზიკურ ობიექტს. ამ გაგებით ის არის პირველსაფუძველი ყოველი არსებისა. სუპერძალის დაუფლებით კაცობრიობა შესძლებს შეცვალოს სივრცე-დროის სტრუქტურა და თავის სურვილისამებრ მოაწერიგოს მატერია. წარმოქმნას მატერიის ახალი ფორმები, შეცვალოს სივრცის განზომილება და შექმნას ახალი სამყაროები. მაშინ კაცობრიობა, ღმერთის მსგავსად, იქნებოდა კოსმოსის ბრძანებელი! [75;181].

ჩემი აზრით, სწორედ ამ ძალას ფლობს კოსმიური გონი – ღმერთი და თავისი ნებასურვილით მიზანდასახულოდ ქმნის კოსმოსურ სამყაროს და ადამიანს, თავისივე ნების აღსასრულებლად.

დიდი გაერთიანების თეორიაში ცხადად განიხილება ენერგიის 3 ზღვრული დონე.

პირველია ვაინბერგ-სალამოს დონე, ექვივალენტური 90 პროტონის მასისა, რომლის ზევით ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედებები ერწყმიან ერთმანეთს.

მეორე ზღვრული დონეა 10^{14} გეე=100 ტეე ენერგიის შესაბამისი, რომლის ზემოთ შესაძლებელია დიდი გაერთიანება და ახალი ფიზიკის დაფუძნება.

მესამე ზღვრული დონეა 10^{19} გეე ენერგიის ექვივალენტი, რომელიც შეესაბამება 4-ვე ურთიერთქმედების გამაერთიანებელ თეორიას.

თანამედროვე ტექნიკას ძალუძს ენერგიის მხოლოდ პირველი დონის მიღწევა. ახალი დიდი ამაჩქარებელი – ცერნის

კოლეიდერის ანერგია 14 ტევია, რომელიც 1 რიგით მცირეა მეორე ზღვრულ დონეზე.

ამრიგად ენერგიის მეორე და მესამე დონის ზღვრის მიღწევის არავითარი იმედი არ არსებობს.

ნიშნავს თუ არა ეს, რომ ჩვენ ვერასოდეს შევძლებთ დავაკვირდეთ სანყისი სუპერძალის გამოვლენას და სივრცის უხილავი 7 განზომილების გამოკვლევას. ფიზიკოსებს იმედი აქვთ, რომ ამ საქმეში ჩვენ თვით ბუნება დაგვეხმარება. ჩვენი სამყარო წარმოადგენს გიგანტურ ბუნებრივ ლაბორატორიას, რომელშიც 14 მილიარდი წლის წინ ჩატარდა გიგანტური ექსპერიმენტი ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკაში, რომელსაც ფიზიკოსები დიდ აფეთქებას უწოდებენ.

ამ მოვლენის სანყის სტადიაში უმცირესი დროით ადგილი ჰქონდა სუპერძალის გამოვლინებას, რომელმაც ჩვენ სამყაროში სამუდამოდ დატოვა თავისი კვალი [75;181].

ისმის კიხვა: რა შეუძლია და რა არ შეუძლია სტანდარტულ მოდელს. იგი, უმეტესად, აღმწერი თეორიაა. ის ბევრ შეკითხვაზე ვერ იძლევა პასუხს: რატომ არიან სწორედ ასეთი რაოდენობისა და სახის ნაწილაკები? საიდან გაჩნდნენ ეს ურთიერთქმედებები? რატომ დასჭირდა ბუნებას ფერმიონების სამი თაობის შექმნა? რატომ არის სიდიდეთა რიცხვითი მნიშვნელობათა მაჩვენებლები მაინც და მაინც ასეთი?

5. სიმების თეორია

შესავალი

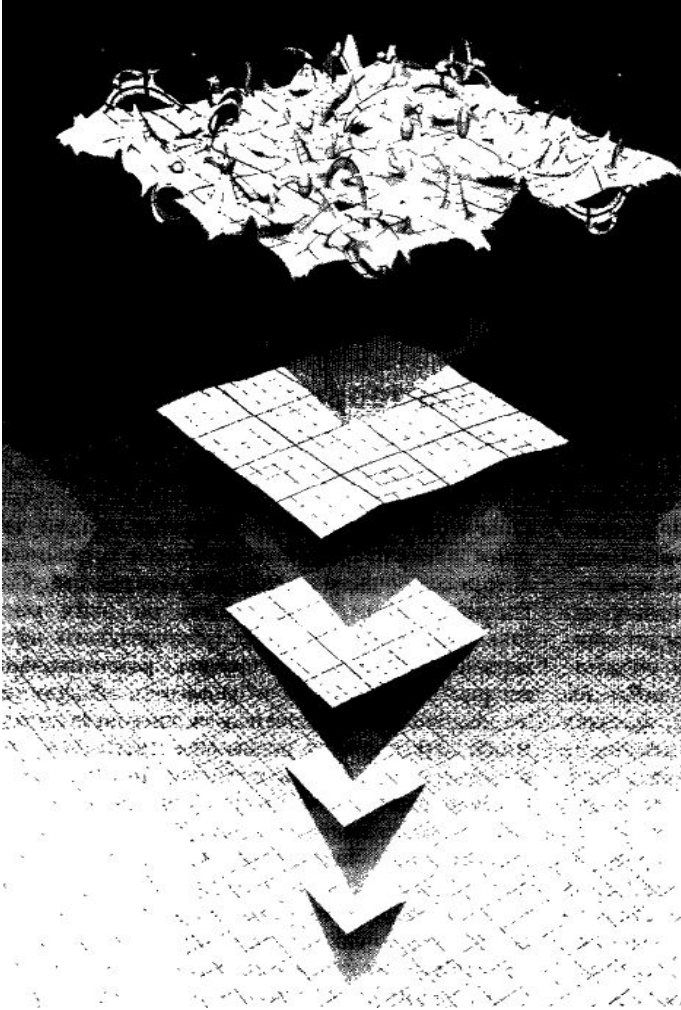
სიმების თეორიაში მომუშავე ამერიკელმა ფიზიკოს-თეორეტიკოსმა **ბრაიან გრინმა** გადანყვიტა პოპულარულ ენაზე



მოეთხრო მეცნიერების მიერ ბოლო წლებში მიღწეული წარმატებების შესახებ სამყაროს წარმოშობისა და მონყობის ერთიანი თეორიის შექმნაში. იგი აერთიანებს მაკროსამყაროსა და მიკროსამყაროს კანონებს, რომელთა მოქმედება ვრცელდება როგორც სამყაროს უკიდუგანო სივრცეებზე, ისე მისი შემადგენელ მიკრო ნაწილაკებზე და წარმოუდგენლად

უმცირეს მანძილებზე. **ბრ. გრინის** ეს წიგნი ინგლისურიდან რუსულ ენაზე გადაითარგმნა აკადემიკოს ს. გერშტეინის ხელმძღვანელობით. მე გადავწყვიტე მოკლედ მომეთხრო ძირითადი საკითხები ამ უაღრესად საინტერესო წიგნიდან.

ფზთ-სა და კვანტური მექანიკის შეუთავსებლობა. აინშტაინის ფზთ-ს გამოყენების არე ჩვეულებრივ წარმოდგენს უზარმზარი ზომის, ასტრონომიულ სივრცეები. ამ თეორიის თანახმად ამ არეებში მასის არ არსებობა იმას ნიშნავს, რომ სივრცე ბრტყელია. ანუ, მაკროსკოპულ სისტემაში სივრცე, სადაც მასა არ არის მოთავსებული, ბრტყელია. კლასიკური ფიზიკის თვალსაზრისით, სივრცე ამ თვისებას ინაჩუნებს მეტად მცირე მასტაბშიც. თუმცა კვანტური მექანიკის მიხედვით კვანტური ფლუქტუაციების ობიექტს წარმოადგენს ყველაფერი, მათ შორის გრავიტაცილი ველიც.



ნახ. 1.16

კვანტური მექანიკის მიხედვით გრავიტაციული ველი იცვლება კვანტური ფლუქტუაციების გამო, განუზღვრელობის პრინციპის ფარგლებში. ამიტომ გრავიტაციული ველის

ფლუქტუაციების ზომა მით უფრო მეტია, რაც უფრო მცირეა გამოსაკვლევი სივრცის მასშტაბი [73;92].

ასეთი კვანტური ფლუქტუაციების სახე და ფრმა ნაჩვენებია სურ 1.16-ზე, რომლის მეხუთე დონეზე. ჩანს, რომ პლანკისეულ ულტრამიკროსკოპულ (10^{-33} სმ) მასშტაბში გრავიტაციული ველის ფლუქტუაციები ლებულობს ტურბოლენტურ და ბრუნვალრეცულ ფორმებს, რომელსაც **კვანტური ქაფი** უწოდეს.

ფარდობითობის ზოგადი თეორიის პრინციპს კი სივრცედროის სიგლუვე წარმოადგენს, რომელიც კვანტური მექანიკის თანახმად ირღვევა ულტრა მიკროსკოპულ მასშტაბში. ამიტომ მისი განტოლებები ვერ უმკლავდებიან ზემოხსენებული კვანტური ქაფის უგონო ქაოსს [73;93].

ამრიგად ფზოტ-სა და კვანტური მექანიკის შუთავსებლობა მულავნდება ძალიან მცირე მანძილებზე. მეცნიერთა გარკვეულმა ჯგუფმა სავსებით მიუღებლად ჩათვალა, რომ 2 ფუდანმენტული თეორია, რომელზეც დაფუძნებული თანამედროვე ფიზიკა, ურთიერთშუთავსებელია. ფიზიკოსებმა მრავალჯერ სცადეს შეემუშავებინათ ფზოტ-ს ისეთი მოდიფიცირება, რომ თავსებადი ყოფილიყო კვანტურ მექანიკასთან, მაგრამ მათი ყოველი ცდა **უშედეგო აღმოჩნდა** [73;94].

ეს წინააღმდეგობა მოხსნილ იქნა სუპერსიმების თეორიის შექმნით [73;94].

კოსმოსური სიმფონია. ურთიერთქმედების სტანდარტული მოდელის მიხედვით სამყაროს შემადგენელი აგურაკები – ელემენტალური ნაწილაკები წარმოადგენენ შინაგანი სტრუქტურის არმქონე ნერტილოვან ნაწილაკებს.

სტანდარტული მოდელი ვერ იქცა საბოლოო თეორიად, რადგანაც მან ვერ მოიცვა გრავიტაცია. ამიტომ საჭირო შეიქმნა ბუნების უფრო ღრმა გაგების აუცილებლობა.

სამყაროს მოდელის ჩვეულებრივ წარმოდგენაში მიღებულია, რომ მთელი ნივთიერი სამყარო შედგება ელემენტარული ნაწილაკებისაგან, ხოლო მაღალი ენერგიების ფიზიკის ძირითად მიზანს წარმოადგენს ფუნდამენტული ნაწილაკების ძიება. როგორც ჩვენ ვნახეთ ურთიერთქმედების გადამტანი ძალური

ველებიც კი შედგებიან ნაწილაკ-გადამტანებისაგან. მაგრამ ამჟამად ასეთ ფუნდამენტულ დაშვებაში მეცნიერებს ეჭვი შეეპარათ. აღმოჩნდა, რომ ჩვენი ნივთიერი სამყარო ნაწილაკებისაგან კი არა, ე.წ. **სიმებისაგან შედგება**. სიმების თეორია მიიჩნევს, რომ ატომში ელექტრონები და კვარკები არიან არა ნულოვან-განზომილებიანი ობიექტები, არამედ წარმოადგენენ ერთგანზომილებიან ოსცილირებად წირებს („სიმებს“).

ადრეული სიმების მოდელით ბოზონური სიმი დაკავშირებული იყო მხოლოდ ბოზონებთან, თუმცა ეს შეხედულება განვითარდა სუპერსიმების თეორიამდე, რომელიც უშვებს კავშირის („სუპერსიმეტრიის“) არსებობას ბოზონებსა და ფერმიონებს შორის. სიმების თეორია აგრეთვე საჭიროებს რამდენიმე დაუკვირვებადი დამატებითი განზომილების არსებობას, გარდა ჩვეულებრივი ოთხ სივრცე-დროითი განზომილებისა.

სიმების თეორია წარმოიქმნა 60-იან წლებში ადრონების შინაგანი სტრუქტურების კვლევისას.

როგორც აღვნიშნეთ, კვარკების მოდელი კარგად ასახავს ადრონების დამახასიათებელ $SU(3)$ სიმეტრიას. მაგრამ ე. ნამბუს მოსაზრებით, კვარკულ მოდელში ადგილი აქვს პარადოქსალურობას, რაც შემდეგში მდგომარეობს: თეორიის მიხედვით ადრონებში კვარკები სუსტად არიან დაბმულები, ხოლო მეორე მხრივ ვერასგზით ვერ მოხერხდა ადრონიდან კვარკის გამოდევნა. ამ პარადოქსის მოსახსნელად საჭირო შეიქმნა ახალი პოსტულატების შემოღება კვარკულ მოდელში [98;132].

ესპერიმენტების ანალიზმა მეცნიერები მიიყვანა დასკვნამდე, რომ ადრონებში კვარკები დაბმულები არიან ე. წ. სიმებით. სიმის ყოველ ბოლოში დამაგრებულია კვარკი. სიმი ხასიათდება დაჭიმულობით, რომელიც მუდმივი რჩება კვარკების ერთმანეთისაგან დაშორებისას. სიმის განყვეტის შემთხვევაში განყვეტის ადგილზე წარმოიქმნება კვარკ-ანტიკვარკების წყვილი. სიმი მოგვაგონებს გრძივ მაგნიტს, რომლის ბოლოებში მოთავსებულია კვარკები. ე. ნამბუს

მიხედვით, სიმი არ არის მათემატიკური წირი (ან ძალწირი), არამედ მას გააჩნია გარკვეული სისქე. ამასთან მოკლე სიმის სიგრძე და სიგანე ერთნაირია. ამიტომ მეცნიერებმა წამოაყენეს ე.წ. „ტომრის მოდელი“. ამ მოდელის მიხედვით ადრონი წარმოადგენს რეზინის საჰაერო ბუმბულაკის მსგავს რაობას, რომელშიც დამწყვედუღნი არიან კვარკები. თუ მას მოვიყვანთ ბრუნვით მოძრაობაში იგი, ცენტრიდანული ძალების გამო გაიჭიმება და მიიღებს „დირიჟაბლის“ ფორმას. სწორედ ეს „დირიჟაბლი“ წარმოადგენს სიმს [98;141].

შემდეგში დადგინდა, რომ კვარკები ერთმანეთზე მოქმედებენ გლუონებით.

ამრიგად აღმოჩნდა, რომ ადრონებში არსებული გლუონებით დაბმული კვარკები, გარკვეული გაგებით იქცევიან როგორც სიმები, მაგრამ გარკვეული წინააღმდეგობის გამო მისი განვითარება შეფერხდა. შემდეგ, 70-იან წლებში, სიმების თეორია მნიშვნელოვნად განვითარდა. ამ დროს ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა განიცდიდა სუპერსიმეტრიების კონცეფციის გავლენას და თეორეტიკოსები გადავიდნენ სუპერსიმეტრიული სიმების განხილვაზე. გაირკვა, რომ ახალ „სუპერსიმებს“ გააჩნიათ დიდი უპირატესობა ძველ სიმებთან შედარებით. ამასთან დაბალ ენერგიებზე თეორია შეესაბამება სუპერგრაფიკაციას [75;182].

1983 წელს მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ უსასრულებებს რომლებსაც ადგილი ჰქონდა მაღალი ენერგიების ნაწილაკების თეორიაში და სიმების ძველ თეორიაში, სავსებით ქრებიან სუპერსიმების თეორიაში [75;183].

1984 წელს **მაიკლ გრინმა და ჯონ შვარცმა** პირველებმა წარმოადგინეს დამაჯერებელი მტკიცებულებები, რომ ულტრა მიკრო დონეზე სუპერსიმების თეორიას ძალუძს ორიგინალურად და ღრმად აღწეროს სამყარო და მოახდინოს ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ისეთი მოდიფიცირება, რომელიც მთლიანად თავსებადი იქნება კვანტური მექანიკის კანონებთან.

ამ თეორიის თანახმად ელემენტალური ნაწილაკები წარმოადგენენ უსასრულოდ წვრილ, დრეკად და განუწყვეტილ **ვიბრირებად სიმებს**.

პირველ რევოლუციას სიმების თეორიაში ადგილი ჰქონდა (1984-1986) წლებში. გამოქვეყნდა ათასზე მეტი სტატია, რომელთაც საბოლოოდ აჩვენეს, რომ სტანდარტული მოდელის მრავალი თვისება ბუნებრივად გამომდინარეობს სიმების თეორიიდან.

უფრო მეტიც, სიმების თეორია ნაწილაკების მრავალი თვისებისათვის იძლევა უფრო სრულ და დამაკმაყოფილებელ აღწერას ვიდრე სტანდარტული მოდელი.

მიღწევებმა მრავალი ფიზიკოსი დაარწმუნა, რომ სიმების თეორია შეიძლება გახდეს **ყოვლის გამაერთიანებელი თეორია**. თუმცა სიმების თეორია კიდევ ერთხელ რადიკალურად ცვლის წარმოდგენას სივრცე-დროის შესახებ [73;96].

მაგრამ სიმების თეორიაში მომუშავე ფიზიკოსები წააწყდნენ სერიოზულ წინააღმდეგობებს რის გამოც ბევრ ფიზიკოსს იმედი გაუცრუვდა. თუმცა სინების თეორიის სილამაზე და პოტენციური სიმძლავრე მრავალ მკვლევას ოქროს განძივით იზიდავდა.

შეფერხებას ბოლო დაუდო **ედვარდ ვიტენის** აღმაფრთოვანებელმა მოხსენებამ 1995 წელს სამხრეთ კალიფორნიაში გამართულ საერთაშორისო კონფერენციაზე სიმების თეორიაში, რომელმაც **განაცვიფრა** მსოლიოს წამყვანი ფიზიკოსებით გადაჭედილი აუდიტორია [73;98].

ნაწილაკის შესაბამისი სიმის მარყუჟის სიგრძე პლანკისეულ სიგრძეზე გაცილებით ნაკლებია. ისმის კითხვა: რისგან შედგება თვით სიმი? ამ კითხვას აზრი არა აქვს, რადგანაც სიმზე ფუნდამენტალური არაფერი არ არის. არ შეიძლება სიმი აღიწეროს როგორც რაობა, შედგენილი რაღაც კომპონენტებისაგან [73;99].

აღმოჩნდა, რომ ფოტონები, გლუონები და ყალიბული ბოზონები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან სიმების შეაბაბისი რეზონანსული რხევების კონკრეტული მოდებით. ხოლო

ურთიერთქმედების მუდმივები განისაზღვრებიან შესაბამისი რეზონანსული რხევების მახასიათებლებით.

სიმის რეზონანსული რხევის ერთ-ერთი მოდის მახასიათებლები ზუსტ თანხვედრაშია გრავიტონის მახასიათებლებთან, რაც იმას ნიშნავს, რომ გრავიტაცია სიმების თეორიის შემადგენლ ნაწილს წარმოადგენს. ეს ფაქტი არის უაღრესად მნიშვნელოვანი შედეგი [73;101].

ამრიგად ყოველი ელემენტალური ნაწილაკი შედგება ერთი და იგივე საამშენებლო მასალისაგან. თითოეული ნაწილაკი შედგება სიმის ცალკეული მარყუჟისაგან, მაგრამ ყველა სიმი ურთიერთიდენტურია. განსხვავება ნაწილაკებს შორის განპირობებულია მხოლოდ სიმების რხევების „ნოტებს“ შორის განსხვავებით. კოსმოსური სიმფონიის მსგავსად სამყარო შედგება უსასრულო რაოდენობის რხევადი სიმისაგან. ნივთიერების ყოველ ნაწილაკსა და ურთიერთქმედების ყოველ გადამტანს შეესაბამება სიმის გარკვეული მარყუჟი, რომლის რეზონანსული რხევები განსაზღვრავენ მათ კონკრეტულ თვისებებს, ამიტომ სიმების თეორია წარმოადგენს სამყაროს **უნიფიცირებულ** თეორიას. ელემენტარული ნაწილაკის ქვეშ იგულისხმება უმცირესი ზომის მერხევი სიმი[73;102].

სივრცის ულტრამიკროსკოპული მკვეთრი ფლუქტუაციების დეტალები, რომლებსაც ადგილი ჰქონდა ნერტილოვანი ნაწილაკების შესწავლისას, სიმების თეორიაში გლუვდებიან და ლეზულობენ უწყინარ (მისაღებ) ფორმებს. ამიტომ, სიმების თეორიით აღწერილ სამყაროში მიკროსამყაროსა და მაკროსამყაროს კანონები შეიძლება დაუზიანებლად გაერთიანდნენ.

გასაკვრი არ იყო რომ ბევრი ფიზიკოსი მიეცა ეიფორიას, მიიჩნიეს რა სიმების თეორია ყოვლის თეორიად. მაგრამ, აღმოჩნდა რომ მისი შედეგები მართალია თვისობრივად შეესაბამებოდა რეალურ სამყაროს, მაგრამ ვერ იძლეოდა ცალსახად განსაზღვრულ რაოდენობრივ ამოხსნებს [73;103].

სუპერსიმეტრია სიმების თეორიაში. სიმების თეორიის სანყისი ვარიანტი, რომელსაც 1960-იან წლებში ვენეციანოს შრომით დაედო საფუძველი, შეიცავდა ყოველი სახის სიმეტრიას სუპერსიმეტრიის გარდა (რომელიც იმ დროს ჯერ არ

იყო აღმოჩენილი). სიმების კონცეფციაზე დაფუძნებულ ამ პირველ თეორიას ეწოდა **სიმების ბოზონური თეორია**. ამ თეორიაში ბოზონური სიმების რხევების მოდეები ფლობდნენ მხოლოდ მთელის ტოლ სპინებს. ამ თეორიაში არ არსებობდა ისეთი რხევის მოდეები რომელთა სპინები მთელისაგან განსხვავდება $\frac{1}{2}$ სპინით. ამან წარმოშვა პრობლემა. იმისათვის სიმურმა თორიამ აღწეროს მატერიის ყველა ფორმა, იგი უნდა მოიცავდეს ფერმიონული ($\frac{1}{2}$ სპინის მქონე) მოდის რხევებსაც [73;124].

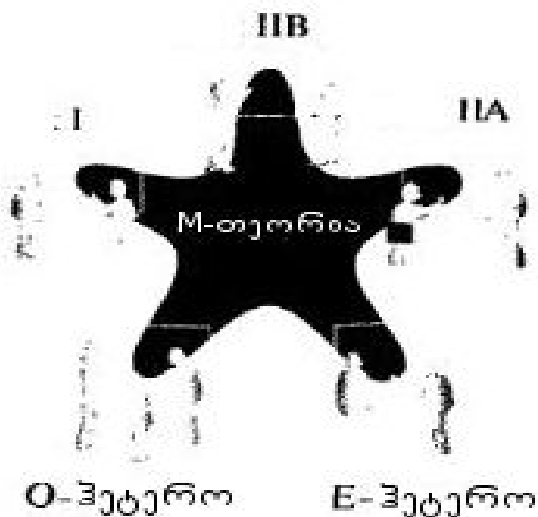
სიმების თეორიის მხოლოდ სუპერსიმეტრიული ვერსია შეიცავს სამყაროს ნივთიერების შემადგენელ ფერმიონულ მოდეებს. ამრიგად სუპერსიმეტრია სიმების თეორიასთან ხელი-ხელ ჩაკიდებული იძლევა გრვიტაციის კვანტური თეორიისა და დიდი გაერთიანების თეორიის ერთიან ამოხსნას. ფიზიკოსების აზრით თუ ჭეშმარიტია სიმების თეორია, მაშინ ჭეშმარიტია სუპერსიმეტრიაც. ამრიგად, სიმების ახალი თორია, „სუპერ-სიმების“ თეორიის საელწოდებით, ბოზონებთან ერთად მოიცავს ფერმიონებსაც [73;125].

მრავალნაირი ამონახსნები. სიმების თეორია, მიუხედავად დამსახურებული აღფრთოვანებისა, იწვევდა მეცნიერთა ნაწილის უნდობლობას, რაც გამომწვეული იყო შემდეგით. მართალია 1985 წელს ფიზიკოსებმა შეიგნეს, რომ სუპერსიმეტრია წარმოდგენს სიმების თეორიის ცენტრალურ კვანძს, მაგრამ იგი მასში თურმე შეიძლება ჩართულ იქნეს 5 სხვადასხვა საშუალებით. ამიტომ მიღებულ იქნა სუპერსიმების 5 სხვადასხვა თეორია. ესენია: **I**-ტიპის სიმების თეორია, **IIA**-ტიპის სიმების თეორია, **IIB**-ტიპის სიმების თეორია, **O**-ჰეტეროტული სიმების თეორია და $E_8 \times E_8$ -ჰეტეროტული სიმების თეორია. (იხ. ნახ. 1.17).

თითოეული მათგანისთვის ძირითადი თვისებები ერთნაირია. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ შედარებით ფაქიზ დეტალებში.

ყოველ ვერსიას გარკვეული სამყარო შეესაბამება.

სპეციალიტების აზრით, ცხადია, რომ 3 ურთიერთეკმედების გამაერთიანებელი და ყოვლის აღმწერი თეორიისათვის 5 სხვადასხვა თანაბარი მნიშვნელობის მქონე ვერსიის არსებობა, მეტად ბევრია. ჩვენ ვცხოვრობთ ჰარმონიულ, ერთიან, მთლიან სამყაროში და საფიქრობელია, რომ მისი აღმწერი თეორიაც ერთადერთი უნდა იყოს. შემდგომში გაირკვა, რომ სიმების თეორიის ეს 5 სხვადასხვა ვერსია სინამდვილეში წარმოადგენს ერთსა და იმავე გაერთიანებული თეორიის აღწერის 5 სხვადასხვა საშუალებას [73;126].



ნახ. 1.17

ამისთვის კი საჭირო შეიქმნა კიდევ ერთხელ გვეთქვა უარი ჩვენთვის ჩვეულებრივ წარმოდგენებზე სივრცე-დროის შესახებ.

როგორც აღვნიშნეთ, სიმების თეორიის ერთ-ერთ ვარიანტს წარმოადგენს სიმების $E_8 \times E_8'$ -ჰეტეროტული ტიპის თეორია, რომელიც ცალსახად განსაზღვრავს ყალიბური სიმეტრიების ჯგუფს $E_8 \times E_8'$. იგი, თავის მხრივ, შეიცავს $SU(3)$ -ჯგუფს,

რომელიც დაბალ ენერგიებში დაკავშირებულია ძლიერ, სუსტ და ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებებთან. $E_8 \times E_8'$ ჯგუფი ხსნის იმის შესაძლებლობას, რომ ერთმანეთთან თანაარსებობდეს 2 სხვადასხვა სამყარო, რომელთაგან თითოეული აღინერება E_8 და E_8' ჯგუფით. E_8 ასახავს ჩვეულებრივი ნაწილაკების ყალიბურ ურთიერთქმედებას. E_8' შეესაბამება ამ ნაწილაკების სარკულად არეკვლილ ნაწილაკებს და ასახავს სარკულად არეკვლილ სამყაროს, რომელიც შეიძლება მივაკუთვნოთ ე.წ. „ჩრდილოვან“ – უხილავ სამყაროს [124].

ეს იმას ნიშნავს, რომ თითოეულ სამყაროში არსებობენ სხვა და სხვა სახის ნაწილაკები, რომლებიც ხასიათდებიან ყველა ჩვეულებრივი თვისებით, გარდა იმისა, რომ სხვადასხვა სმყაროს ნაწილაკებს შორის მოქმედებს სხვადასხვა ძალების ერთობლიობა. ე.ი. ერთ სისტემაში არსებულ ელემენტარულ ნაწილაკებზე მოქმედებებს ერთი სახის ძალთა ერთობლიობა, ხოლო მეორე სისტემის ელემენტარულ ნაწილაკებზე, სხვა ძალთა ერთობლიობა. აქედან გამომდინარეობს უაღრესად მნიშვნელოვანი დასკვნა:

ჩვენ რეალურად არსებულ აღქმად სამყაროში არსებულ ელემენტარულ ნაწილაკებზე (კვარკებსა და ლეპტონებზე) მოქმედებს ერთი ტიპის ძალების ერთობლიობა, რომლებიც განსაზღვრავენ ჩვენი გრძნობადი სამყაროს არსებობასა და უნიკალურობას. მის პარალელურად არსებობს სხვა სამყარო, რომელშიც მოქმედებს სულ სხვა ძალების ერთობლიობა, რომელიც განსაზღვრავს ამ სხვა სამყაროში არსებულ სტრუქტურებს. საერთო ამ ორ სამყაროებს შორის მარტო გრავიტაციული ურთიერთქმედებაა. მათი არსებობის საფუძველს ენერგია წარმოადგენს.

დევისის აზრით, შესაძლებელია, რომ „სხვა“ – „სარკულად არეკვლილ“ სამყაროში არსებული გარკვეული ეფექტები გამომჟღავნდეს ჩვენ სამყაროში.

ამ იდეას მივყავართ ახალ ფანტასტიკურ იდეამდე სარკულად არეკვლილი – „მოჩვენებითი სამყაროს“ არსებობის

შესახებ, რომელიც რალაცნაირად ინფორმაციულად მოქმედებს ჩვენ სამყაროზე, მაგრამ ჩვენთვის იგი შეუმჩნეველი რჩება [75;185].

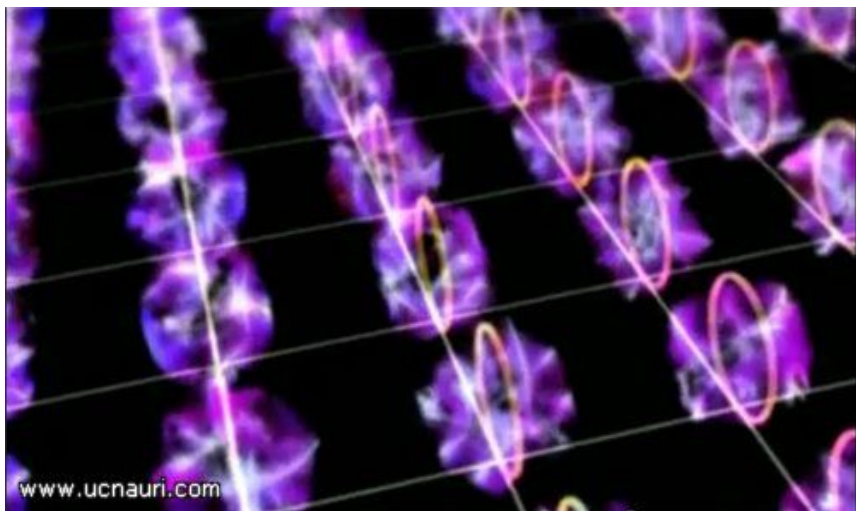
შესაძლებელია აგრეთვე ვივარაუდოთ, რომ „მოჩვენებით სამყაროში“ იქმნებიან და არსებობენ გარკვეული სტრუქტურები, ნამდვილი სამყაროს სხეულების სარკულად არეკვლილი სტრუქტურების სახით, რომლებიც შეიძლება მივიჩნიოთ ასტრალურ სხეულებად, რომელთაც მატერიის უჩინარი ფორმა უძევს საფუძვლად. თუ სამყაროს გაფართოების შედეგად ჩვეულებრივი ნივთიერების დაშლის გამო ფიზიკური სხეულები გაქრებიან, ხოლო „მოჩვენებითი“ (უჩინარი) ნივთიერების ნაწილაკები დაშლას არ ექვემდებარებიან, მაშინ ამას მივყავართ ე.წ. ასტრალური სამყაროს არსებობასა და მისი უკვდავების იდეასთან.

ამას კი მივყავართ ფანტასტიკურ იდეამდე მოჩვენებითი სამყაროს არსებობის შესახებ, რომელიც გადახლართულია რეალურ სამყაროსთან [75;185].

დამატებითი განზომილებანი სიმების თეორიაში. აღმოჩნდა, რომ სიმების თეორია ხსნის თანამედროვე ფიზიკის ცენტრალურ პრობლემას – კვანტური მექანიკისა და ზფთ-ს ურთიერთშეუთავსებლობას. ამისთვის კი სიმების თეორია მოითხოვს, რომ სამყაროს გააჩნდეს დამატებითი ჩახვეული განზომილებები [75;137].

კვანტური მექანიკის ერთ-ერთი ძირითადი დასკვნა იმაში მდგომარეობს, რომ ესა თუ ის შედეგი მიიღება გარკვეული ალბათობით, რომლის მნიშვნელობა ყოველთვის თავსდება შუალედში 0-სა და 1-ს შორის. ფიზიკოსების მიერ ნაჩვენებ იქნა, რომ კვანტური მექანიკა არ მუშაობს, როცა თეორიულად გამოთვლილი ალბათობა არ თავსდება 0 – 1 შუალედში. სწორედ ასეთ შედეგს აქვს ადგილი კვანტური მექანიკის გამოყენებისას ფზთ-ში. ამ დროს ნაწილაკების ნერტილოვანი მოდელის გამოყენებისას გამოთვლილი ალბათობის მნიშვნელობები შეიძლება უსასრულოების ტოლი, ან უარყოფი იყოს. სიმების თეორია საშუალებას იძლევა თავი დავაღწიოთ ამ კრიზისულ

სიტუაციას. ფიზიკოსებმა დიდი ძალისხმევის შედეგად მონახეს გამოსავალი ამ არასასურველი მდგომარეობიდან [75;138].



ნახ. 1.18

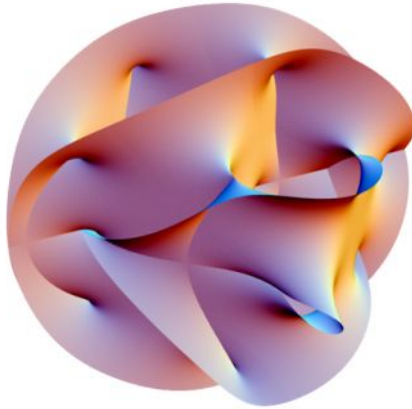
გამოთვლებმა უჩვენეს, რომ თუ სიმები ირხევინ 9 ურთიერთდამოუკიდებელი სივრცითი მიმართულებით, მაშინ ყველა უარყოფითი ალბათობის მქონე ამოხსნები ქრება. მეცნიერები ამბობენ რომ თუ სიმების თეორია სწორია მაშინ საჭიროა კიდევ 6 სივრცითი განზომილება რომ სიმმა მოახერხოს ვიბრირება. ჩვენ ყველამ ვიცით რა ჰქვია 3 მიღებულ და დოგმატურ განზომილებას. ესენია სივრცე, სივრცე და სივრცე, მაგრამ რა ჰქვია დანარჩენ 6 განზომილებას? ამაზე პასუხს ვერცერთი გამოჩენილი სიმების შემსწავლელი მეცნიერიც კი ვერ მოგცემთ. რატომ?

იმიტომ რომ ეს განზომილებები იმდენად მცირე და შეუმჩნეველნი არიან, რომ ადამიანის გონისათვის რთულად აღსაქმელნი და, რაც მთავარია, სამყაროში მხოლოდ სიმებს შეუძლიათ მათი „გამოყენება“. მაგრამ მეცნიერებმა ის მაინც მოახერხეს რომ აეხსნათ თუ სად „მდებარეობენ“ ისინი.

ეს 6 დამატებითი განზომილება როგორც ფაქტურა ისეა შემოფარებული 3 ძირითადი განზომილების გარშემო. ანუ სამი სწორხაზოვანი ძირითადი სივრცითი განზომილება „დაფარულია“ 6 არა სწორხაზოვანი არამედ წრიული განზომილებით, ასე ვთქვათ „განზომილება განზომილებაზე“, აი ასე, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 1.18-ზე.

სწორედ აქ ირხვევიან ვიბრირებადი სიმები. ეს ნახაზი გადმოსცემს 6-განზომილებიანი კოლაბი-იაუ-ს ფორმის ძირითად მახასიათებელს. სიმების თეორიის მიხედვით ჩვენი სივრცის ყოველ წერტილში არსებობს 6 ჩახვეული უჩინარი განზომილების უცნაური ფორმის მქონე კონფიგურაციები. ისინი მრავალ-განზომილებიანი სივრცის განუყოფელ და ყველგან არსებულ სტრუქტურებს წარმოადგენენ, რადგანაც ისინი სივრცის ყოველ წერტილში არსებობენ [73;142].

ისმის კითხვა: როგორ გამოიყურებიან ჩახვეული განზომილებები?



ნახ. 1. 19 კალაბი-იაუ-ს მრავალსახეობა

რადგანაც დამატებითი განზომილებები უნიშვნელოვანეს გავლენას ახდენენ სამყაროს ფუნდამენტურ ფიზიკურ თვისებებზე, საჭიარია გამვიხილოთ თუ როგორ გამოიყურებიან ის

ორახვეული განზომილებები. აღმოჩნდა, რომ სიმების თეორიის განტოლები მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ ჩახვეული განზომილებების გეომეტრიულ ფორმას.

1964 წელს ფიზიკოს-თეორეტიკოსების მიერ დადგენილ იქნა, რომ ამ განტოლებებს აკმაყოფილებენ ექვსგანზომილებიანი გეომეტრიული ობიექტები, რომლებიც ცნობილია კოლაბი-იაუ-ს (Colabi Yau) სახელწოდებით.

ნახ. 1.19-ზე ნაჩვენებია კალაბი-იაუს მრავალსახოვნების ერთ-ერთი პროექცია, ანუ სიმების თეორიის მიერ პოსტულირებული დამატებითი განზომილების წარმოდგენის ერთერთი ხერხი.

გრაფიტაციის წინასწარმეტყველება.

აღმოჩნდა, რომ სიმების თეორია არის ერთადერთი თორია, რომელიც წინასწარმეტყველებს გრაფიტაციას. ედვარდ ვიტენის მოსაზრებით სიმების თეორიის მნიშვნელოვან ექსპერიმენტულ მტკიცებად უნდა ჩაითვალოს გრაფიტაციის არსებობა, რომელსაც ის წინასწარმეტყველებს.

ედ. ვიტენს განუცხადებია:

„ის ფაქტი, რომ გრაფიტაცია სიმების თეორიის შედეგია, წარმოადგენს უდიდეს თეორიულ მიღწევას მეცნიერების ისტორიაში“ [73;143].

ის რომ ფიზიკოსებმა გრაფიტაცია აღწერეს სიმების თეორიის აღმოჩენამდე, ვიტენის მიხედვით, არის მხოლოდ ისტორიული შემთხვევითობა. სავსებით შესაძლებელია, რომ ჯერ აღმოჩენილიყო სიმების თეორია, რომელმაც იწინასწარმეთყელა გრაფიტაციის არსებობა, ხოლო შემდეგ გამაოგნებელი შედეგის სახით – გრაფიტაციის თეორია. ნობელის პრემიის ლაურიატს გელ მანს უთქვამს, რომ სიმების თეორია – „ფანტასიკუტრი რამაა“ და ის მიიჩნევს, რომ ამ თეორიის ერთ-ერთი ვარიანტი ოდესღაც მთელი სამყაროს თეორიად იქცევა [73;145].

თეორეტიკოსების როლი სიმების თეორიაში. სიმების თეორიაში მომუშავე ერთ-ერთმა ლიდერმა თეორეტიკოსმა დ. გროსმა მხატვრულად შეაჯამა სიტუაცია: ჩვეულებრივ როცა მეცნიერები მიცოცავდნენ ბუნების მეცნიერების მთაზე, გზას

იკავადნენ ექსპერიმენტატორები, ზანტი თეორეტიკოსები მათ კუდში მიფოფხავდნენ სადლაც უკან. დრო და დრო მონინავენი აგდებდნენ ექსპერიმეტულ ქვას (აღმოჩენას), რომელიც მიქროდა თეორეტიკოსების თავებთან. შემდეგში თეორეტიკოსები აგებდნენ ახსნას და აგრძელებდნენ გზას. ანოდებდნენ რა ექპერიმენტატორებს, უხსნიდნენ მათ თუ როგორ მოხვდნენ იქ და რას ნაანყდნენ.

ამჟამად საქმე პირიქითაა: სიმების თეორიაში მომუშავე თეორეტიკოსებმა გაიკვლიეს გზა მეცნიერების მთის უმაღლესი მწვერვალებისაკენ. მათ ურჩევნიათ, რომ ეს წარმატებები გაიყონ ექსპერიმენტატორებთან ერთდ. ექპერიმენტატორები შეფერხდნენ სათანადო ტექნიკური დონის არარსებობის გამო. მაგრამ ეს იმას არ ნიშნავს, რომ თეორია სამუდამოდ დაშორდა ექპერიმენტს. თეორეტიკოსებს იმედი აქვთ, რომ მიაგნებენ „თეორიულ ქვას“, რომელსაც დიდი ენერგიით დააგორებენ ქვემოთ საბაზო ბანაკში მომუშავე ექსპერიმენტატორების თავზე. ასეთ „თეორიულ ქვას“ თეორეტიკოსებმა მართლაც მიაგნეს სუპერსიმეტრიებისა და სიმების თეორიის სახით. ქსპერიმენტატორებმა მათ მხარი აუბეს, ააგეს რა 14 ტევ ენერგიაზე მომუშავე კოლოიდერი, რომლის მეშვეობით ისინი ეცდებიან შეამონმონ თეორეტიკოსების მიერ ნაწინასწარმეტყველვევი ჰიპოთეზები, და ექპერიმენტულად დაადასტურონ მათი მიგნებები [73;145].

ექსპერიმენტული დამონმებანი.

როგორც აღვნიშნეთ, გრავიტაცია სიმების თეორიის შედეგია. ეს უმნიშვნელოვანესი ფაქტი შეიძლება ჩაითვალოს სიმების თეორიის ჭეშმარიტების ექსპერიმეტულ მტკიცებად. მიუხედავად ამისა, ბ. გრინის აზრით, ჩვენ მაინც ჯერ კიდევ არ ვიცით ჭეშმარიტი და უნიკალურია თუ არა სიმების თეორია, რადგანაც მის მიერ ნაწინასწარმეტყველვევი შედეგების ექსპერიმენტულად შემონმება შეუძლებელია ამჟამინდელი ტექნიკის პირობებში [73;145].

სიმების თეორია მოითხოვს ექსპერიმენტის ჩატარებას პლანკის მასშტაბის დონეზე. ამისთვის კი საჭირო იქნება 87 კმ-

დიამეტრის ზეგამტარი ამაჩქარებლის აშენება, რომლის დაფინანსებაზე ამერიკის კონგრესმა ჯერ-ჯერობით უარი თქვა. ამიტომ სიმების თეორიის ექსპერიმენტულ შემონმებისათვის ამჟამად საჭიროა ირიბი გზების გამოყენება.

1. ამისთვის შეიძლება გამოდგეს ის ფაქტი, რომ ფუნდამენტული ელემენტალური ნაწილაკები ჰქმიან 3 თაობას. აღმოჩნდა, რომ ნაწილაკების ფორმები და თვისებები დამოკიდებულია კალაბი-იაუ-ს მრავალსახეობის ფორმაზე. სიმების თეორია, გარდა ცნობილი ნაწილაკებისა წინასწარმეტყველებს მათი სუპერპარტნიორების (მენწყილე ნაწილაკების) არსებობასაც, რომლებიც დიდი მასებით ხასიათდებიან. ფიზიკოსები ვარაუდობენ, მათი აღმოჩენა შესაძლებელი იქნება ახალ მძლავრ LHC კოლაიდერზე.

იმედოვნებენ, რომ ამ ამაჩქარებლის სიმძლავრე შეიძლება საკმარისი იყოს სუპერპარტნიორი ნაწილაკების აღმოსაჩენად. თუ ეს მართლა მოხდება, ის იქნება უაღრესად ამაღელვებელი მოვლენა. მაშინ შესაძლებელი იქნება სუპერსიმეტრიის ექსპერიმენტული დამტკიცებაც [73;150].

თუ სუპერკოლოიდერზე ვერ აღმოაჩინეს სუპერპარტნიორი ნაწილაკები, მართო ეს ფაქტი საკმარისი არ იქნება სიმების თეორიის უარყოფისათვის, რადგან ეს შეიძლება დაკავშირებული იყოს იმასთან, რომ სუპერპარტნიორი ნაწილაკების მასები ძალიან დიდია და კოლოიდერის ენერგია არაა საკმარისი მათ დასაბადებლად.

2. სიმების თეორიის ექსპერიმენტული დამტკიცების მეორე საშუალება დაკავშირებულია წილადი ელექტრული მუხტების აღმოჩენასთან. სიმების თეორია წინასწარმეტყველებს $1/5$; $1/11$; $1/13$ ან $1/53$ ელემენტალური მუხტის მქონე ნაწილაკების არსებობას. მაგრამ ასეთი მუხტის ნაწილაკები აღმოუჩენადია იმიტომ, რომ მათი მასები ძალიან დიდი – პლანკის მასების რიგისაა [73;151].

3. სტანდარტული თეორიის მიხედვით ნეიტრინოების მასა ნულის ტოლია. სიმების თეორია უშვებს მცირე მასის მქონე

ნეიტრინოს არსებობას და პროტონების დაშლის შესაძლებლობას.

4. გარდა ამისა სიმების თეორია წინანარმეტყველებს ისეთი ნაწილაკების არსებობას, რომლებიც გამოდგებიან გალაქტიკების გარშემო არსებული ბნელი მატერიის კანდიდატებად.

5. სიმების თეორიის საშულებით შეიძლება გამოთვლილ იქნას კოსმოლოგიური მუდმივა[73;153].

6. აშშ-ში მომუშავე ახალგაზრდა ქართველი ფიზიკოს-თეორეტიკოსის გია დვალისა და მისი თანაავტორების თვალსაზრისით ჩახვეული განზომილებების რადიუსი შეიძლება 1-მმ ის რიგისა იყოს. ამ თვალსაზრისის შემოწმება არ მოითხოვს ძაან დიდ ენერგიას [144].

ეს იდეა ატაცებულ იქნა მსოფლიოს მრავალი ფიზიკოსის მიერ. მის შესამოწმებლად დაიგეგმა სპეციალური ექსპერიმენტების ჩატარება. შედეგი ჯერჯერობით არ ჩანს.

ფიზიკის ისტორიაში ასებობს მრავალი მაგალითი, როცა გამოთქმული იდეის ექსპერიმენტული შემოწმება ფანტასტიკის სფეროს მიეკუთვნებოდა, მაგრამ გასულა არცთუ ისე დიდი დრო და იგი ცდით დადასტურებულა. სიმების თეორიაც ელოდება თავის ექსპერიმენტულ დასაბუთებას. მაგრამ ის, რომ მან მოხსნა წინააღმდეგობა კვანტურ მექანიკასა და ფარდობითობის ზოგად თეორიას შორის და აღმოაჩინა სივრცე-დროის ახალი გამაოგნებელი ფიზიკური თვისებები, უკვე მეტად მნიშვნელოვან მეცნიერულ შედაგად შეიძლება ჩაითვალოს.

თავი 12 M - თეორიის შესახებ

შესავალი

ჯერ კიდევ აინშტაინმა სცადა ეჩვენებინა, რომ გრავიტაციული და ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ერთი ფუნდამენტული პრინციპის შედეგებს წარმოადგენენ. ამ დროს ფიზიკოსების ძირითადი ნაწილი კვანტური მექანიკის პრინციპების ჩამოყალიბებაზე მუშაობდნენ. მაშინ აინშტაინმა წინ გაუსწრო თავის დროს. ამიტომ თეორიის ასეთი მიდგომით განვითარება შეფერხდა.

ამჟამად სიმების თეორია საშულებას იძლევა ერთნაირი მიდგომით აიხსნას მატერიის ყველა სახის ფორმა და ყველა ტიპის ურთიერთქმედება, რაც განპირობებულია სიმების რხევის ფორმითა და რეზონანსული სიხშირით [73;19].

სიმების თეორია განიხილება როგორც განვითარებადი მიმართულება, რომლის პირველმა შედეგებმა უმნიშვნელოვანესი როლი შეასრულეს სივრცის, დროისა და მატერიის არსის გაგებაში. მისი მთავარი მიღწევა მდგომარეოს ჰარმონიული კავშირის აღმოჩენაში ფარდობითობის თეორიასა და კვანტურ მექანიკას შორის.

აღმოჩნდა, რომ ზემოხსენებული ფუნდამენტური ნაწილაკები და მათი თვისებები წარმოადგენენ მრავალგანზომილებიანი სამყაროს სივრცე-დროითი გეომეტრიული სტრუქტურის შედეგებს [73;21].

სიმების თეორიის წამყვანი სპეციალისტის **ედვარდ ვიტენის** აზრით სიმების თეორია არის ოცდამეერთე საუკუნის ფიზიკის ნაწილი, რომელიც შემთხვევით აღმოჩნდა მეოცე საუკუნეში. სიმების თეორიის საბულოო დამუშავებას შეიძლება ათეული წლები დასჭირდეს..

აღმოჩნდა, რომ თუ სიმების თეორია ჭეშმარიტია, მაშინ ჩვენი სამყაროს სტრუქტურას გააჩნია ისეთი თვისებები, რომ აინშტაინსაც გააკვირვებდა [73;22]

1980-იანი წლების ბოლოს ფიზიკოსების თვალსაზრისით სიმების თეორიამ, მიუხედავად იმისა, რომ ის მიიჩნეოდა

სამყაროს აღწერის ერთიან თეორიად, გამოცდა „ხუთიანზე“ ვერ ჩააბარა.

ეს გამოწვეული იყო 2 მიზეზით:

ჯერ ერთი, როგორც წინა თავში აღვნიშნეთ, სიმების თეორიაში მომუშავე ფიზიკოსებმა აღმოაჩინეს, რომ არსებობს სიმების თეორიის 5 სახვადასხვა, თანაბარმნიშვნელოვანი, ვარიანტი. რის გამოც მრავალი წლის განმავლობაში სიმების 5 სხვადასხვა თეორიაში მომუშავე ფიზიკოსები ფიქრობდნენ, რომ ისინი იკვლევდნენ 5 სხვადასხვა თეორიას.

და მეორე, მიუხედადად იმისა, რომ ამ თეორიების რამდენიმე ძირითადი თვისება ერთნაირია: სივრცული განზომილებების რიცხვი 10-ს ტოლია; ჩახვეული განზომილებების ბუნება ერთნაირია; ნაწილაკების მასები და მუხტები განისაზღვრება სიმების რხევის მოდებით, მათ შორის არსებობს მნიშვნელოვანი განსხვავებაც. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ მათში სხვადასხვანაირად რეალიზდება სუპერსიმეტრიული რხევითი სახეები, რის გამოც რხევით განტოლებებს გააჩნიათ სხვადასხვა მიახლოებითი ამოხსნები, რაც მოასწავებს სხვადასხვა სახის სამყაროების არსებობას.

ამის გამო სიმების თეორიაში მომუშავე ფიზიკოსებმა უხერხულად იგრძნეს თავი. მათ დაიწყეს ზუსტი სახის განტოლების ძიება. ისინი დარწმუნებულნი იყვნენ, რომ სიმების 5 სხვადასცვა თეორია უნდა წარმოადგენდეს ერთი ჭეშმარიტი თეორიის სხვადასხვა სახეს.

სუპერსიმების თეორიაში მუშაობისას მოხდა **მეორე რევოლუცია**, რომლის შედეგებმა უჩვენეს, რომ სინამდვილეში სიმების ხუთივე თეორია წარმოადგენს ერთი თეორიის ერთიანი ფორმალიზმის სხვადასხვა ნაწილებს. შემდეგში მას M-თეორია უწოდეს, რომელიც შეიძლება **ყოვლის თეორიად** ჩავთვალოთ [73;189].

როგორ მოხდა ეს?

1. შეშფოთბის თეორიის გამოყენება სიმების თეორიაში

სიმების თეორიაში ფიზიკური პროცესები იბადება ფუნდამენტული ურთიერთქმედებებით მერხვე სიმებს შორის. ამ

ურთიერთქმედებაში შედის სიმების დაშლა და შერწყმა. ეს პროცესები თეორეტიკოსების მიერ აღინერება ზუსტი მათემატიკური ფორმულებით. ამ ფორმულებით დამთავრდებოდა სიმების ურთიერთქმედებების შესწავლა, რომ არ არსებობდეს კვანტური თეორია, რომელშიც არსებული განუზღვრელობის თანაფარდობებიდან გამომდინარე სივრცეში წარმოიქმნება მიკროსკოპული ქაოსი. მასში უწყვეტად იზადებიან სიმიანტისიმის (2 სიმი რხევის ურთერთსანიანალმდეგო მოდებით) წყვილები. სიმების ასეთ წყვილებს, დაბადებულს კვანტურ ქაოსში, რომელიც არსებობს ნასესხები ენერგიით, და შესაბამისად სწრაფად ერწყმიან ერთმანეთს 1 მარყუჟად (ფოტონად), სიმების ვირტუალურ წყვილებს უწოდებენ.

ვაკუუმში, ენერგიის სესხების ხარჯზე, წარმოქმნილი ვირტუალური სიმების წყვილები, რომლებიც მალევე ქრებიან, გავლენას ახდენენ სხვადასხვა სახის ურთიერთქმედების დეტალურ სტრუქტურაზე [73;192].

მათემატიკურად შესაძლებელია ზუსტი ფორმულით გამოითვლოს სიმის ერთი ვირტუალური წყვილის გავლენა 2 ძირითადი სიმის ურთერთქმედებაზე. მაგრამ კვანტური ფლუქტუაციების გამო შეიძლება დაიბადოს ვირტუალური სიმების წყვილების ნებისმიერი რაოდენობა, რომლის გათვალისწინება მათემატიკურ გამოთვლებში ძალიან რთულდება. ამიტომ სიმების თეორიაში მომუშავე ფიზიკოსები იყენებენ შემფოთების თეორიის მიახლოებით ამოხსნებს. ისმის კითხვა, გვაახლოებს თუ არა სასურველ პასუხთან ეს მიახლოება? [73;193]

თეორეტიკოსებმა შეძლეს დაედგინათ სიმების ერთი მნიშვნელოვანი თვისება. კვანტური ფლუქტუაციების დროს ვირტუალური წყვილის წარმოქმნით გამონვეული სიმის გახლეჩის ალბათობა განისაზღვრება გარკვეული პარამეტრით, რომელსაც სიმის ბმის S მუდმივა ეწოდება. სიმების თეორიის N სხვადასხვა ვარიანტი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ბმის S მუდმივის რიცხვითი მნიშვნელობით. S -ს მნიშვნელობა განსაზღვრავს, თუ რამდენად ძლიერადაა დამოკიდებული 3 სიმის

(ძირითადი და 2 ვირტუალური სიმი რომლებაც ის იშლება) რხევა ერთმანეთთან.

გამოთვლებმა უჩვენეს, რომ რაც უფრო მცირეა ბმის მუდმივა, მით უფრო მცირეა იმის ალბათობა, რომ კვანტურმა ფლუქტუაციამ გამოიწვიოს სიმის გახლეჩა ვირტუალური სიმების წყვილად [73;193].

სიმის ვირტუალურ წყვილად გახლეჩის ალბათობა პროპორციულია სიმის ბმის S მუდმივის სიდიდისა, რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენად ძლიერადაა დაკავშირებული სიმები ერთმანეთთან.

როცა $S < 1$, მაშინ ვირტუალური ყულფების დიდი რაოდენობით წარმოქმნის ალბათობა მცირეა. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია შეშფოთების თეორიის გამოყენება. ხოლო როცა ბმის მუდმივა $S > 1$, პირიქით, ზემოხსენებული პროცესების ალბათობა დიდია. შესაბამისად, შეუძლებელია შეშფოთების თეორიის გამოყენება. ეს საკითხი იყო ერთ-ერთი ძირითადი პასუხგაუცემელი საკითხი სიმების თეორიაში [73;194].

გარდა ამისა, სიმის ბმის მუდმივით განისაზღვრება შესაბამისი ნაწილაკების მასა და მუხტის მნიშვნელობა.

2. დუალობა სიმების თეორიაში

როგორც სიმებს შორის ურთიერთქმედების განსაზღვრისათვის, ისე სიმების თეორიის ფუნდამენტული განტოლების მოსაძებნად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შეშფოთების თეორია. სინამდვილეში ისინი ერთმანეთის მეშვეობით განისაზღვრებიან.

სიმების თეორიის 5 ვარიანტიდან ყოველ მათგანში არსებობს განტოლება, რომლითაც განისაზღვრება შესაბამის ბმის S მუდმივა. მაგრამ ამჟამად ყოველი თეორიისთვის შეშფოთების თეორიის გამოყენებით დადგენილია ამ განტოლების მხოლოდ მიახლოებითი სახეები. შესაბამისად ეს განტოლება არ იძლევა ბმის მუდმივის ზუსტად განსაზღვრის საშუალებას [73;194].

1995 წელს სამხრეთ კალიფორნიის უნივერსიტეტში კონფერენციაზე სიმების თეორიაში კათედრაზე წარსდგა **ედვარდ**

ვიტენი. მან გააკეთა მოხსენება, რომელმაც გამიწვია მეორე რევოლუცია სუპერსიმების თეორიაში. მან განაცხადა სიმების თეორიისა და შეშფოთების თეორიის ჩარჩოებიდან გასვლის ახალი სტრატეგიის შესახებ. ვიტენის სტრატეგიის მთავარ ელემენტს დუალობა წარმოადგენს. აქედან დაიწყო მეორე რევოლუცია სიმების თეორიაში [73;195].

6 განზომილებიან ჩახვეულ სივრცეში არსებობს კალაბი-იაუ-ს 2 განსხვავებული მრავალსხეობა ორ სხვადასხვა, ურთიერთ სარკულად არეკვლილი, სივრცული სამყაროთი. ისინი თითქოს სრულიად განსხვავებულნი არიან, სინამდვილეში თითოეულს თურმე გააჩნია ერთიდაიგივე ფიზიკური თვისებები.

აღმოჩნდა, რომ ჯერ ერთი, სიმების ხუთივე სხვადასხვა თეორია დუალურია; მეორე – ვიტენის მიხედვით, სიმების ფიზიკაში უნდა არსებობდეს მეექვსე თეორიაც. ედ. ვიტენის გამოკვლევებმა უჩვენეს, რომ თუ 6-დან ერთ თეორიაში ბმის მუდმივა 1-ზე მეტია, არსებობს მისი დუალური მენყვილეც, რომლის ბმის მუდმივა 1-ზე ნაკლებია. ამრიგად აღმოჩნდა, რომ სიმების თეორიაში არსებობს 6 დუალური თეორია, რომლებშიც ბმის მუდმივის ცვლილების მეშვეობით ერთი თეორია გადადის მეორეში [73;197].

ასეთი დასკვნა გამომდინარეობს სიმეტრიის პრინციპებიდან. სიმეტრიის პრინციპები იძლევიან რეალური სამყაროს თვისებების შესწავლის კარგ საშუალებებს. მარტო ის, რომ თეორია ხასიათდება სუპერსიმეტრიულობით, შემოსაზღვრავს მის თვისებებს [73;198].

სიმეტრიის სიმძლავრე.

მიუხედავად იმისა, რომ 1-ზე მეტი ბმის მუდმივის შმთხვევაში სიმების თეორიაში აზრი არ ჰქონდა შეშფოთების თეორიის გამოყენებას, 1980-იანი წლების ბოლოს და 1990-ან წლების დასაწყისში ფიზიკოსებმა გადაადგეს პირველი, მაგრამ მყარი ნაბიჯები ისეთი თეორიის კონკრეტული თვისებების შესწავლის თვალსაზრისით, რომლებიც ხასიათდებიან 1-ზე მეტი ბმის მუდმივით. ასეთმა გამოთვლებმა, რომლებიც კეთდება სიმეტრიების გათვალისწინებით, შეასრულეს მთავარი როლი სუპერსიმების მეორე რევოლუციაში. სიმეტრიის პრინციპები

წარმოადგენენ რეალური სამყაროს მრავალი თვისების შესწავლის ძირითად საშუალებას [73;197].

ფიზიკოსებმა სუპერსიმეტრიების მძლავრ ფორმალიზმზე დაყრდნობით ისწავლეს სიმების თეორიის ყოველი ვარიანტისათვის გარკვეული მახასიათებლების გამოთვლა ძლიერი ბმის არეში. ყოველ თეორეტიკოსის საყოველთოდ განსაცვიფრებლად, **O**-გეტერეგენული სიმების თეორიის თვისებები, ძლიერი ბმის არეში, აღმოჩნდა იდენტური **I**-ტიპის სიმების თეორიის თვისებებისა სუსტი ბმის არეში და პირიქით. უფრო მეტიც, **IIB**-ტიპის სიმების თეორიის თვისებები ძლიერი ბმის არეში იდენტურნი აღმოჩნდნენ იმავე თეორიისა სუსტი ბმის არეში.

ამ მნიშვნელოვან ახალ შედეგს, ანუ იმის შესაძლებლობას, რომ დიდი ბმის არეში სიმების ერთი თეორიის ფიზიკური თვისებები შეიძლება აღინეროს მეორე თეორიის საშუალებით, მცირე ბმის არეში, ეწოდება **ძლიერი და სუსტი ბმის დუალობა** [73;199].

ეს დუალობა გვიჩვენებს, რომ 2 სვადასხვა თეორია სინამდვილეში არ არიან სხვადასხვა. სუსტი და ძლიერი ბმების დუალობა გვაძლევს სიმების თეორიის გამოკვლევის მძლავრ ინსტრუმენტს. მართალია დუალობის ეს ჰიპოთეზა მკაცრად დამტკიცებული არ არის, მაგრამ სიმების თეორიაში მომუშავე ფიზიკოს-თეორეტიკოსების უმრავლესობა დარწმუნებულნი არიან მის სისწორეში [73;200].

სუპერგრაფიტაცია. 1970-იანი წლების ბოლოსა და 1980-იანი წლების დასაწყისში მრავალი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი ცდილობდა გაეერთიანებინა კვანტური თეორია, გრაფიტაცია და სხვა ურთიერთქმედებანი ერთიანი ველის თეორიის ფორმალიზმში, წერტილოვანი ნაწილაკების თეორიის ფარგლებში.

ისინი ფიქრობდნენ, რომ წინააღმდეგობები ასეთი გაერთიანებისათვის მოიხსნებოდა მაღალი სიმეტრიების თეორიის გამოკვლევებისას. 1976 წელს **დანიელ ფრიდმანმა** და სხვა თეორეტიკოსებმა აღმოაჩინეს, რომ ყველაზე უფრო მრავლის აღმთქმელია სუპერგრაფიტაციაზე დაფუძნებული თეორია. თავის შრომებში მათ ამ სუპერგრაფიტაციულ კვანტურ

თეორიას უწოდეს **სუპერგრაფიტაცია**, რომელიც შემუშავებულ იქნა კვანტური მექანიკისა და ფზთ-ს ერთ ფორმალიზმში გაერთიანებისას. მართალია ასეთი თეორიის შექმნის მცდელობა წარუმატებლად დამთვრდა, მაგრამ მისმა გაკვეთილმა ფუჭად არ ჩაიარა.

გაკვეთილი, რომლის აზრი გამოიკვეთა ფიზიკოსების მიერ 1978 წელს გამოქვეყნებულ შრომებში, მდგომარეოვს იმაში, რომ სხვებთან შედარებით სუპერგრაფიტაციის თეორიის აგება ხელსაყრელი აღმოჩნდა არა 4-განზომილებიან, არამედ მრავალგანზომილებიან სივრცე-დროში. სახელდობრ კალუცა-კლეინის ფორმალიზმის ფარგლებში გამოყენებულ იქნა 11-განზომილებიანი სივრცე-დრო, რომელშიც 7 განზომილება ჩახვეულია. იმისთვის, რომ მოიხსნას კონფლიქტი კვანტური მექანიკასა და ფზთ-ს შორის აუცილებელია, რომ სიმს გააჩნდეს გრძივობა. ველის კვანტურ თეორიაში მიღებული შედეგები წარმოადგენენ სიმების თეორიის თვისებების დაბალენერგეტიკულ გამოვლინებებს [73;201].

10-განზომილებიანი სუპერგრაფიტაციის გამოკვლევება აღოაჩინეს სუპერსიმების თეორიის კონფიგურაციის ვებერთელა აისბერგის მხოლოდ მწვერვალები.

გაერთიანებული ველის კვანტური თეორია, რომელიც იძლევა სიმების თეორიის საუკეთესო მიახლებას შედარებით დიდ მანძილებზე და მცირე ენერგიებზე, არის 10 განზომილებიანი ველის თეორია. მისი შედეგები შეესაბამება სიმების თეორიის შედეგებს დაბალი ენერგიის არეში, როცა შესაძლებელია სიმების მარყუჟების ზომების უგულებელყოფა და მათი წერტილებად მიჩნევა.

მართლაც, აღმოჩნდა, რომ სინამდვილაში არსებობს 10-განზომილებიანი სუპერგრაფიტაციის 4 სხვადასხვა თეორია, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან სუპერგრაფიტაციის კონკრეტული რეალიზაციით შედარებით დაბალი ენერგიის პირობებში. ამათგან სამი წარმოადგენს IIA-ტიპის, IIB-ტიპის და E-ჰეტეროტიული სიმების თეორიის დაბალენერგეტიკულ, წერტილოვანი ნაწილაკების სახით, გამოვლინებებს.

მეოთხე თეორია კი წარმოადგენს როგორც I-ტიპის, ისე O-ჰეტეროტიული სიმების დაბალენერგეტიკულ რეალიზაციას.

ხოლო 11 განზომილებიანი სუპერგრაფიკული ველის კვანტური თეორია მრავალი წლის განმავლობაში მიჩნეული იყო მათემატიკურ კურიოზად, რომელსაც კავშირი არა აქვს სიმების თეორიის ფიზიკასთან [73;202].

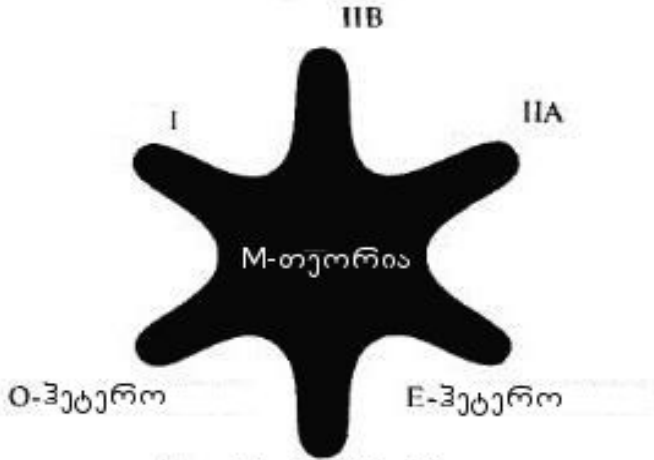
3. M-თეორიის გამოკრთომები

ამჟამად ასეთი თვალსაზრისი რადიკალურად შეიცვალა: საერთაშორისო კონფერენციაზე „სტრუნა-95“ ედვარდ ვიტენმა განაცხადა, რომ IIA ტიპის სუპერსიმის 10-განზომილებიანი თეორია, 1-ზე მეტი ბმის მუდმივით, დაბალი ენერჯის ფარგლებში, შეესაბამება 11-განზომილებიან სუპერგრაფიკაციას. ამ აღმოჩენის შესახებ ვიტენის განცხადებამ მსმენელები გააგნა. ხოლო შემდეგში ცნობა ასეთი მოულოდნელი აღმოჩენის შესახებ მეხივით გაფარდა იმ ინსტიტუტებში, სადაც სიმების თეორიით იყვნენ დაკავებულნი. მართლაც: რა საერთო უნდა აქონოდა 11-განზომილებიან სუპერგრაფიკაციულ თეორიას 10 განზომილებიან სიმების თეორიასთან? მცირე დროის შემდეგ ვიტენმა თავის სტაჟიორთან ერთად უჩვენა, რომ $E_8 \times E_8$ -ჰეტორეტიული სიმის 10-განზომილებიანი თეორია, 1-ზე გაცილებით მცირე ბმის მუდმივით, შეესაბამება სიმის 11-განზომილებიან თეორიას. ანუ 10 განზომილებიან სიმების თეორიაში ჩნდება მე-11 განზომილება [73;202].

ამრიგად ვიტენისა და სხვა ფიზიკოსების მიერ მეორე რეკონსტრუქციისას მიღებულმა შედეგებმა აჩვენეს, რომ IIA -ტიპისა და E-ჰეტეროტიკულ სიმებს გააჩნიათ 11-განზომილებიანი სამყაროს 2-განზომილებიანი მემბრანის ფუნდამენტული სტრუქტურა [73;203].

ამრიგად, 11-განზომილებიანი სამყარო შევსებულია არა ერთ-განზომილებიანი სიმებით, არამედ ორგანზომილებიანი მემბრანებით. ვიტენმა 11-განზომილებიან სიმების თეორიას, რომელიც აერთიანებს სიმების ხუთივე თეორიას, M-თეორია უწოდა. ამ

სახელს ზოგი ფიზიკოსი მემბრანასთან აკავშირებს, ზოგი – მატრიცასთან, ზოგი – მისტიკასთან და სხვა [73;204].



11-განზ. სუპერგრაფიკაცია
სურ. 1.19

ფიზიკოსები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ დუალობის გათვალისწინებით **M-თეორია** წარმოადგენს, ერთი შეხედვით, ხუთი განსხვავებული სიმების თეორიის გაერთიანების საფუძველს. უფრო მეტიც, აღმოჩნდა, რომ **M-თეორია** მჭიდროდაა დაკავშირებული მეექვსე თეორიასთან – 11-განზომილებიან სუპერგრაფიკაციასთან. ამრიგად, დუალობის გათვალისწინებით სიმების ყველა 5 თეორია, 11-განზომილებიანი სუპერგრაფიკაცია და **M-თეორია** ერთმანეთს ერწყმის ერთიანი სქემის სახით, რომელიც გამოსახულია ნახ. 1.19 -ზე [73;206].

M-თეორია შეიცავს შემდეგი ტიპის განფენილ ობიექტებს:

1-განზომილებიანს – ბრანები (სიმების მარყუჟები), 2-განზომილებიანს – მემბრანები, 3-განზომილებიანს – ტრიბრანები და ა. შ. **P** განზომილებიანს – **P-ბრანები**. ამრიგად, **M-თეორიის** ძირითადი მახასიათებლებად შეიძლება მივიჩნიოთ:

1. M-თეორია განიხილავს 10 სივრცულ და 1 დროით განზომილებას.

2. M-თეორია რხევადი სიმების გარდა შეიცავს 2-განზომილებიან მემბრანებსა და 3-განზომილებიან წვეთებს, ანუ ე.წ. ტრიბრანებს და p-ბრანებს.

ნახ. 1.19-ის სქემის ცენტრალური არე შეიცავს მაღალი რიგის განზომილების ბრანებს, ხოლო ცენტრალური არედან ნაპირა ნახევარკუნძულებისაკენ გადაადგილებისას ბრანები მსუბუქდება სიმებამდე. საბოლოო ჯამში სწორედ მათ მივყავართ ცნობილ ნაწილაკებამდე და 4 ტიპის ფურდამეტულ ძალამდე [73; 207]. M-თეორია მიჩნეულია მისტიკურ თეორიად. მისი სრული გაგების ამოცანა წარმოადგენს XXI საუკუნის ფიზიკის მეცნიერების ცენტრალურ პრობლემას [73; 189].

ფიზიკოს თეორეტიკოსები შეიჭრნენ მისტიკურ სამყაროში და იქ ცდილობენ ჭეშმარიტების დადგენას.

4. ფუნდამენტული ძალების ერთობა M-თეორიის მიხედვით

გამოთვლები გვიჩვენებენ, რომ ძალიან ახლო მანძილებზე, ანუ კვანტური ფლუქტუაციების მდულარე არეში შეღწევისას (ძალიან დიდ ენერგიებზე) ძლიერი და სუსტი ძალების ინტენსიობა კლებულობს, ხოლო ელექტრომაგნიტურისა – მატულობს. გამოთვლებმა უჩვენეს, რომ კვანტური ფლუქტუაციების ზუსტად გათვალისწინების შემთხვევაში, არაგრავიტაციული ძალების ინტენსიობების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდები ერთმანეთს უახლოვდება.

სამყაროს ტემპერატურა სანყის სტადიაში $10^{28}K^0$ -ს ტოლი იყო. ამიტომ სამივე ურთიერთქმედება შერწყმული იყო ერთ ძლიერ ურთიერთქმედებად. სქემატურად ეს ნაჩვენებია ნახ. 1.13-ზე. გამოთვლებმა უჩვენა, რომ სუპერსიმეტრიების გათვალისწინების შემთხვევაში, დიდი აფეთქების დროს, სამივე არაგრავიტაციული ძალა ერთმანეთს ერწყმის ერთ წერტილში.

როგორ იქცევა ამ სურათში გრავიტაციული ურთიერთქმედება? ედ. ვიტენმა უჩვენა, რომ M-თეორიის ფარგლებში გრავიტაციული ურთიერთქმედების მუდმივის ტემპერატურაზე

დამოკიდებულობის მრუდი შეიძლება შეუერთდეს სხვა ურთიერთქმედების მუდმივების შესაბამის მრუდებს ზემოაღნიშნულ ტემპერატურაზე, ანუ ზემოცირე მანძილებზე (ნახ. 1.13). ეს უაღრესად მნიშვნელოვანი შედეგია და მიგვანიშნებს იმაზე, რომ M-თეორიის ფარგლებში შეიძლება მიღწეულ იქნას ერთიანობა სამყაროს კოსმოლოგიურ აღწერაში [73;235].

ახალი შეხედულება სივრცე-დროის შესახებ.

რას ვგულისხმობთ სამყაროს სტრუქტურაში? ეს არის კითხვა, რომელიც დებატების საგანს წარმოადგენდა ასობით წლების განმავლობაში. ისმის კითხვა ჩენი არსებობის შესახებ სივრცე-დროის ქსოვილში: ჩვენ სინამდვილეში რაიმეში ჩაძირულები ხომ არა ვართ?

ამ კითხვაზე პასუხს გვთავაზობს სიმების თეორია.

ისე, როგორც ელექტრომაგნიტორი ველი შედგება უამრავი რაოდენობის ფოტონების ერთობისაგან, გრავიტაციული ველი შედგება უამრავი რაოდენობის გრავიტონებისაგან. გარვიტინი კი წარმოადგენს სიმის რხევის ერთ-ერთ კერძო შემთხვევას. რაც იმას ნიშნავს, რომ გრავიტაციული ველი შედგება მერხვევი სიმების უამრავი რაოდენობისაგან.

მეორე მხრივ გრავიტაციული ველი განპირობებულია სივრცე-დროის ქსოვილის სიმრუდით. ამიტომ სივრცე-დროის სტრუქტურა უნდა გავაიგივეოთ კოლოსალური რაოდენობის ნელად მერხვე სიმებთან. სიმების ასეთ მდგომარეობას სიმების კოჰერენტული მდგომარეობა ეწოდება. ამრიგად, სიმები წარმოგვიდგება სივრცე-დროის ქსოვილის დაფებად [73;243].

სიმების თეორიის მიხედვით სივრცე-დრო წარმოადგენს ქსოვილს, რომლის დაფებს სიმები წარმოადგენენ, ანუ სივრცე სიმებისაგან ნაქსოვ ქსოვილს წარმოადგენს. ჩვეულებრივ ქსოვილის ნაჭერი წარმოადგენს მქსოველის მიერ გულმოდგინედ შეერთებულ დაფების ერთობას. ამიტომ ისმის კითხვა, ხომ არ არსებობს დაფების სახით ისეთი საწყისი მასალა, რომლებიც ჯერ არ შეზრდილან ორგანიზებულ ფორმად, რომელსაც ჩვენ ვიცნობთ სივრცე-დროის სახით.

აღმოჩნდა, რომ არ არსებოს ცალკეული სიმის ისეთი მდგომარეობა, რომელიც ჯერ არ ჩართულა სივრცე-დროის

ქსოვილში [73;246]. ასეთი მდგომარობის აღსანერად საჭირო სიტყვები ჩვეულებრივ სალაპარაკო ლექსიკონში არ არსებობს. (ამით მეცნიერების ენა ეთანადება მისტიკის ენას).

ძალიან ძნელია ასეთი უსტრუქტურო მდგომარეობის წარმოდგენა, რომელშიც არ არსებობს სივრცისა და დროის ცნებები ჩვეულებრივი გაგებით.

მიუხედავად ამისა ჩვენ მოგვინვეს შევეჩვიოთ ასეთ ცნებებს და შევიცნოთ მათი არსი ჯერ კიდევ იქნობამდე, სანამ ჩვენ დავადგენთ სიმების თეორიის საბოლოო ვარიანტს[73;243].

მიზეზი მდგომარეობს იმაში, რომ სიმების თეორიის თანამედროვე მდგომარეობა **წინსწარ უშვებს დროისა და სივრცის არსებობას, რომელშიც სიმები და M-თეორიის სხვა ობიექტები მოძრაობენ და ირხევიან.**

ედ. ვიტენისა და სხვა მრავალი თეორეტიკოსის მიერ M-თეორიით გაკეთებულმა გამოკვლევებმა უჩვენეს, რომ სამყაროს გარკვეული წარმოდგენა, სივრცე-დროის გარეშე, შეიძლება მოგვცეს **ნულ-ბრანის** სახელწოდებით ცნობილმა რალაც რაობამ. ეს ობიექტი შეიძლება იყოს ყველაზე ფუნდამენტული M-თეორიაში. დიდ მანძილებზე ის იქცევა წერტილოვანი ნაწილაკის მსგავსად, მგრამ უმცირეს მანძილებზე მისი თვისებები სავსებით სხვანაირია. გამოკვლევებმა უჩვენეს, რომ პლანკისეულ ზომაზე ნაკლებ მასშტაბში ნულბრანები, სიმების მსგავსად, საშუალებას იძლევენ უმცირესი ფანჯრიდან შევიხედოთ იქ არსებულ **არაჩვეულებრივ სამყაროში.**

ამ ნულ-ბრანების გამოკვლევამ უჩვენა, რომ მასში ჩვეულებრივი გეომეტრია იცვლება ე.წ. **არაკომუტატური** გეომეტრიით. ამ გეომეტრიულ მიდგომაში სივრცისა და წერტილებს შორის მანძილის ჩვეულებრივი ცნებები თავის ადგილს უთმობენ სრულიად სხვა ცნებების ერთობლიობას. ეს მიდგომა ფიზიკოსებს საშუალებას მისცემს დაადგინონ თუ სინამდვილეში როგორია სივრცე-დროის ჭეშმარიტი სტრუქტურა [73;244].

უკვე ამჟამად M-თეორიის გამოკვლევებით ჩანს პლანკისეული სიგრძის მიღმა დამალული არე, რომელშიც,

შესაძლებელია არც არსებობდეს სივრცისა დროის ცნებები. (შეიძლება აქ გამოყენებულ იქნეს მარადისობის ცნება). ასეთი მსჯელობა მიგვანიშნებს სამყაროს გაგების მორიგ ევოლუციურ ნახტომის არსებობაზე.

ან. ხელაშვილის აზრით, სიმებისა და სუპერსიმების მოდელები, როგორც სამყაროს საბოლოო თეორია, ძალზე მათემატიზირებულია და დღევანდელ ეტაპზე უფრო მეტად მათემატიკური მეთოდების განვითარებას ემსახურება – ლაპარაკია გავრცობილი ობიექტების (სიმების, მემბრანების, ტრიბრანების და ა.შ.) მათემატიკურად კორექტური კვანტური თეორიის დამუშავებაზე. ამ გზაზე ისეთი ბარიერები შეიქმნა, რომ თეორეტიკოსებმა ჩათვალეს შემოიტანონ და განიხილონ არაკომუტატური გეომეტრიები და სივრცეები, რაც საკმაოდ რთული და უჩვეულოა [58;43].

ჩემი აზრით, იქნებ სწორედ ნულბრანებში უნდა ვეძებოთ ტორსიული ველის საფუძველი. ხომ შესაძლებელია მასში არსებობდეს ისეთი ულტრა მცირე ზომის სტრუქტურები, რომლებიც შეეაბამება გარკვეულ სახის ინფორმაციას, და რომელიც შეიძლება გამოდგეს კოსმიური გონის მატერიალურ საფუძველად.

5. მატერიის ერთიანი თეორიის ძიება

აღმოჩნდა, რომ სივრცე-დროის სტრუქტურა წარმოადგენს მასალას, რისგანაც შეკერილია სამყარო. ისმის კითხვა: რას ვგულისხმობთ რეალურად, სამყაროს სტრუქტურაზე ლაპარაკისას? ეს საკითხი წარმოადგენდა დებატების თემას მრავალი საუკუნის განმავლობაში. ნიუტონის მოსაზრებით:

1. აბსოლუტური, ნამდვილი, მათემატიკური დრო თავისი არსით არსებობს თავისთავად, ყველაფრისაგან დამოუკიდებლად და მიმდინარეობს თანაბრად. მას სხვანაირად ხანგრძლივობა ეწოდება.

2. აბსოლუტური სივრცე თავისი არსით ყველაფრისგან დამოუკიდებლად რჩება ყოველთვის მუდმივი და უძრავი [73;242].

აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალურმა და ზოგადმა თეორიამ უარპყო აბსოლიტური დროისა და სივრცის ცნებები, რომლის მიხედვით არსებობს 4-განზომილებიანი სივრცე-დროითი კონტინიუმი.

სიმების თეორიის მიხედვით სივრცე-დრო წარმოადგენს ქსოვილს, რომლის ძაფებს სიმები წარმოადგენენ, ანუ სივრცე სიმებისაგან ნაქსოვ ქსოვილს წარმოადგენს. ჩვეულებრი ქსოვილის ნაჭერი წარმოადგენს მქსოველის მიერ გულმოდგინედ შეერთებულ ძაფების ერთობას. ამიტომ ისმის კითხვა, ხომ არ არსებობს ისეთი საწყისი მასალა ძაფების სახით, როლებიც ჯერ არ შეზრდილან ორგანიზებულ ფორმად, რომელსაც ჩვენ ვიცნობთ სივრცე-დროის სახით. აღმოჩნდა, რომ ასეთი საწყისი მდგომარეობა, როცა სივრცე-დროის შემადგენელი წირები მონაწილეობენ როგორც ერთი მთელის შემადგენელი ნაწილები, ანუ სივრცე დროის ნაკუნები, არ არსებობენ [73;246].

მეცნიერების ისტორია გვასწავლის, რომ როცა გარშემო ყველაფერი ერთ წყობაში ეწყობა, ბუნება აუცილებლად მოგვიწყობს სიურპრიზებს, რომლებიც ითხოვენ რადიკალურ ცვლილებებს ჩვენს წარმოდგენებში სამყაროს წყობაში.

ფიზიკოსებმა დაადგინეს, რომ გრავიტაციით განპირობებულია ექვივალენტობის პრინციპი. ხოლო რადგანაც არსებობენ არაგრავიტაციული ძალები, ადგილი უნდა ჰქონდეს ყალიბრულ სიმეტრიებს. როგორც სუპერსიმეტრია ისე ყალიბრული სიმეტრიები წარმოიშვებიან სიმების თეორიის სტრუქტურებიდან, ანუ ისინი წარმოადგენენ სიმების თეორიის შედეგების ნაწილს. ისმის კითხვა: ხომ არ არის თვით სიმების თეორია ბუნებრივი შედეგი რომელიღაც შედარებით ზოგადი პრინციპისა. ამჟამად ამ კითხვაზე პასუხი არვისთვის არაა ცნობილი [73;241].

ფიზიკოსები იმედოვნებენ, რომ ასეთი პრინციპი არსებობს და მოიძებნება კიდევ [73;242].

ჩემი აზრით ეს პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ 11-განზომილებიან უსასრულო კოსმიური სამყარო, მეხუთე – გონინფორმაციული ურთერთქმედების გათვალისწინებით,

წარმოადგენს უსასრულო, მთელ, თვითკმარ, ევოლუციურად თვითგანვითარებად ცოცხალ სისტემას.

დიდი აფეთქების კოსმოლოგიური თეორია (M-თეორია) წარმოადგენს, იმის ცდას, რომ სამყაროს წარმოშობა აიხსნას ფიზიკური კანონებით, არაბუნებრივი ძალების ჩარევის გარეშე. მეცნიერები ყოველთვის წინააღმდეგნი იყვნენ არაბუნებრივი ძალების არსებობისა და განსაკუთრებით უმაღლესი შემოქმედის არსებობისა. (მაგრამ მან თვითონ მიგვიყვანა უჩინარი თვითშემოქმედებითი სამყაროს არსებობამდე).

M თეორიამ შეიძლება ახსნას ყველაფერი მატერიალური სამყაროს თვალსაზრისით. მაგრამ იგი პასუხს ვერ გაცემს კითხვებს სიცოცხლის წარმოქმნასა და ადამიანის დანიშნულების შესახებ, თუ არ გავითვალისწინებთ მეხუთე სახის – ინფორმაციულ ურთიერთქმედებასაც.

ამასთან სავსებით შესაძლებელია ჩვენი სამყაროების მსგავსი სამყაროების წარმოშობა, ჩვენი სამყაროს გაქრობის შემდეგ. ანუ მისი ციკლური წარმოშობა-გაქრობა.

ფიზიკოსები, მტკიცედ დარწმუნებულები იმაში, რომ დიდისა და მცირეს კანონები შეთანხმებულად მთელში ერთმანეთს ერწყმიან, განუწყვერლივ ნადირობენ მოუხელთებელი ერთიანი თეორიისათვის. ძებნა დამთავრებული არ არის, მაგრამ M-თეორიამდე სუპერსიმების თეორიის მეშვეობით, ბოლოს და ბოლოს წარმოიქმნა დამაჯერებელი სქემა ქვანტური მექანიკისა და ფზთ-ს, და აგრეთვე ელექტრომაგნიტური, სუსტი და ძლიერი ურთიერთქმედებათა გაერთიანებისათვის. მატერიის ერთიან თეორიაში გრავიტაციისა და კვანტური თეორიის შერწყმამ გამოიწვია რევოლუცია ჩვენ გაგებაში სამყაროს მოწყობის შესახებ [73;249].

ზოგი მეცნიერის თვალსაზრისით თეორიის საბოლოო ვარიანტი მალე იქნება აღმოჩენილი. ამისთვის საჭირო იქნება სიმების თეორიის მეორე რევოლუციის მსგავსი მესამე, და შეიძლება მეოთხე გადატრიალებაც [73;230].

უეჭველია, რომ კიდევ უფრო გრანდიოზულ მოულოდნელობებს უქადის დამთავრებული და ხელსაყრელი M-თეორიის

ძებნა. უკვე ამჟამად M-თეორიის გამოკვლევებით ჩანს პლანკისეული სიგრძის მიღმა დამალული არე, რომელშიც, შესაძლებელია არც არსებობდეს სივრცისა დროის ცნებები.

ასეთი მსჯელობა მიგვანიშნებს სამყაროს გაგების მორიგ ევოლუციურ ნახტომის არსებობაზე [73;249].

უახლესი კვანტური თეორიის შესახებ. დედამიწაზე ყველგვარი მოძრაობისას და ამ სტატიის კითხვისასაც კი, და საერთოდ, ყოველგვარი ცვლილების არსებობა, შესაძლებელია მხოლოდ ენერჯიის წყაროების საშუალებით. თუმცა ეს კეთილდღეობა განუყრელად მიისწრაფის თავის ბოლოსაკენ. სხვადასხვა ექპერტების შეფასებით, მსოფლიოში ნავთობ-გაზის ნედლეულის მარაგები ამოიწურება 2025 წლამდე. პრინციპში, ჩვეულებრივ ბირთვულ რეაქტორებს შეეძლოთ გადაენწყვიტათ ენერგეტიკული პრობლემა, რადგანაც თორიუმისა და ურანის ბუნებრივი მარაგები საკმარისია მილიონი წლებისთვის. მაგრამ ეკოლოგიის თვალსაზრისით მათი ნარჩენების ნამარხები წარმოადგენენ „ნელი მოქმედების ნალმებს“, რომლებიც პერიოდულად აფეთქდებიან. დეითერიუმისა და ლითიუმის თერმობირთვული სინთეზის რეაქციებსაც შეუძლიათ ენერგეტიკული პრობლემის გადაწყვეტა, რადგანაც მათი ბუნებრივი რესურსები საკმარისია მილიონი წლებისთვის. ბირთვული სინთეზის ამოცანის ამჟამინდელი გადაწყვეტა ემყარება რეაგირებადი მასალის გაცხელებასა და შეკუმშვას, ანუ ცხელ სინთეზს. ამ მხრივ მიღწეული წარმატებების მიუხედავად, სპეციალისტებს მიაჩნიათ, რომ პრაქტიკაში გამოყენებადი თერმობირთვული რეაქტორის შექმნამდე გავა 50 წელზე მეტი. კლასიკურმა მიდგომამ ვერ მიგვიყვანა პოზიტიურ შედეგებამდე, მიხედვად მრავალმილიონი ინვესტიციებისა და ვეებერთელა რაოდენობის ფიზიკოსების, ინჟინრებისა და სხვადასხვა სპეციალისტების მონაწილეობისა. ამერიკის შეერთებულ შტატებში მიიღეს გადაწყვეტილება ბირთვული ცხელი სინთეზის პროგრამის დახურვის შესახებ.

ამჟამად მოინახა კაცობრიობის ამ ერთ-ერთი ყველაზე გლობალური პრობლემის გადაწყვეტის სხვა გზა. 1989 წელს ფლეიშმანისა და პენსოს მიერ აღმოჩენილ იქნა ცივი ბირთვული სინთეზის მოვლენა, რომელიც არ იხსნება ჩვეულებრივი კვანტური თეორიის გამოყენებით. ეს მოვლენა იხსნება ლ. საპოგინის მიერ 1983 წელს ნაწინასწარმეტყველები უნიკალური კვანტური თეორიით. ეს თეორია საშუალებას იძლევა დიდი სიზუსტით გამოითვალოს ელექტრონის მუხტის სიდიდე და ნაზი სტრუქტურის მუდმივა (1/137). მანვე იწინასწარმეტყველა ენერჯის გენერაციის ახალი პრინციპი [. " | -

" . " . 2, 1]

აღმოჩნდა, რომ არსებობს ე.წ. პროტონ-გამტარი კერამიკა, რომელიც მასში დენის გატარებისას გამოყოფს 1000-ჯერ მეტ სითბურ ენერჯიას ვიდრე მოიხმარს. ზოგიერთ ექსპერიმენტში ამ სიდიდემ 70 000 -ს! გადააჭარბა.

ეს მოვლენა აბსოლუტურად გაუგებარია ჩვეულებრივი მეცნიერების ფარგლებში, რადგანაც არც ბირთვული და არც ქიმიური რეაქციებით, ან ფაზური გადასვლებით არ შეიძლება მათი ახსნა. მიუხედავად ცნობილი მეცნიერის ნობელის პრემიის ლაურიატის პროფესორ ი. შვინგერის აზრისა იმის შესახებ, რომ ასეთ მოვლენებს არ გააჩნიათ არსებობის უფლება, ისინი მაინც არსებობენ.

ცხადია, ზემოთ ნახსენები უცნაური ეფექტი შეიძლება ახსნილ იქნას მხოლოდ „ახალი“ ფიზიკით. 1970 – 1988 წლებში შემუშავებულ იქნა **უნიტარული კვანტური თეორია (უკთ)**, რომელიც ერთიანი პოზიციით განიხილავს ზემოხსენებულ სხვადასხვა უცნაურ, ძველი ფიზიკით აუხსნელ, მოვლენებს. **უკთ**-ს თანახმად კვანტური ნაწილაკი, როგორც ჩვეულებრივ კვანტურ მექანიკაში, რაღაც გაუგებარი ნერტილი – ველის ნყარო კი არაა, არამედ წარმოადგენს გარკვეული ერთიანი ველის რაღაც შენადედს (ტალღურ პაკეტს).

აღმოჩნდა, რომ **უკთ**-ს ძირითადი გამტოლებათა სისტემა ძაან რთულია, რომელთა ამოხსნა მოითხოვს ახალ მათემატიკურ მეთოდებს. თუმცა, თურმე, მცირე ენერჯიებზე მიიღება

მოძრაობის განტოლებები ოსცილირებადი მუხტის მქონე ნაწილაკებისათვის. უკთ-ში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ტალღური ფუნქციის ფაზა, რაც ჩვეულებრივ კვანტურ მექანიკაში საერთოდ ზედმეტი პარამეტრია. უკთ-ში ოსცილირებადი მუხტის მქონე ნაწილაკისათვის მიღებულმა მიახლოებულმა განტოლებამ იწინასწარმეტყველა როგორც ცივი ბირთვული სინთეზი, ისე ენერჯის გამოყოფის ახალი მექანიზმიც.

უკთ-ში გარდა ჩვეულებრივი კვანტური მექანიკის სტანდარტული ამოხსნებისა მიიღება კიდევ 2 ახალი ამონახსნი:

1. ნაწილაკი განიცდის რთულ რხევას ამპლიტუდის შემცირებით, ისე რომ ნაწილაკის მუხტი და მასა მიისწრაფიან ნულისაკენ და საკმაოდ დიდი დროის გასვლის შემდეგ ნაწილაკი ქრება ორმოს ფსკერზე. ამ დროს მისი ენერჯია აბსოლიტური ენერჯიის ჩათვლით კი არ ქრება, არმედ ვაკუუმს გადაეცემა. ნაწილაკის გაქრობა ნიშნავს მისი პაკეტის შემადგენელი ჰარმონიული შემადგენლების ისეთ გაბნევას, როცა პაკეტი ქრება, ხოლო პაკეტის ენერჯია გადაეცემა ვაკუუმს, განირთხმება მთელ სივრცეში და არსებობს მასში ვაკუუმის ფლუქტუაციების სახით. საპოგინმა ამ ამოხსნას „კრევემატომიუმი“ უწოდა.

2. ნაწილაკი განიცდის რთულ რხევას მზარდი ამპლიტუდით, და მისი ენერჯია შეიძლება შემოუსაზღვრელად გაზარდოს თუ არ შეიცვლება პოტენციალური ორმოს პარამეტრები. ფიზიკურად ეს იმას ნიშნავს, რომ ნაწილაკი ენერჯიას „ხაპავს“ ვაკუუმის ფლუქტუაციებიდან. ამ ამოხსნას ავტორმა „სამშობიარო“ უწოდა.

შეიძლება დაბეჯითებით ითქვას, რომ უკთ-ში ენერჯია კონკრეტულ პროცესებში კი არ ინახება, არამედ შეიძლება ან მიღებულ იქნას ვაკუუმიდან, ან გადაეცეს ვაკუუმს.

იქნება შთაბეჭდილება, რომ უნიტარულ კვანტურ მექანიკაში აღმოჩენილია ნივთიერების ენერჯიაში პირდაპირი გადასვლისა და შებრუნებული პროცესის მექანიზმი, როცა ჭარბი ენერჯია მიიღება ვაკუუმიდან.

რას ნიშნავს ყოველივე ეს ფილოსოფიური თვასაზღვისით?

ცალკეულ პროცესებში ლოკალურად ენერგიის შენახვის კანონი გამომდინარეობს ნიუტონის განტოლებებიდან დროის ერთგვაროვნების პირობებში. საპოგინის აზრით, რადგანაც კვანტური პროცესი უფრო ფუნდამენტურია, ამიტომ შეცდომა იქნებოდა ენერგიის შენახვის კანონის პირდაპირი გადატანა ნიუტონის მექანიკიდან კვანტირ მექანიკაში.

ავტორის აზრით, თერმოდინამიკის პირველი კანონი წარმოადგენს მხოლოდ პოსტულატს და მეტს არაფერს. ის მხოლოდ ნაყოფია კაცობრიობის ამოო მცდელობისა აეგოთ სამუდამო ძრავი. თვით ნიუტონი თავის აღმოჩენილ ენერგიის შანახვის კანონს არ მიაწერდა სრულიად საერთო ხასიათს.

თუ ბუნება მართლა ისეა მოწყობილი, რომ შენახვის კანონები სამართლიანია არა ინდივიდუალური ნაწილაკები-სათვის, არამედ მხოლოდ ანსაბლისათვის, მაშინ ეკოლოგიურად სუფთა ენერგიის მისაღებად აღმოჩნდება უფრო მარტივი თეორიული და ტექნიკური ამოცანა, ვიდრე ცხელი სინთეზი. რის გამოც მომავალში კაცობრიობა გამოიყვებებს ვაკუუმის ენერგიას და თავს დააღწევს ენერგეტიკულ შიმშილს. ამას მომავალი გვიჩვენებს.

დასკვნა.

ამრიგად, რეალურად არსებობს როგორც ჩვენი 3-გაზომილებიანი აღქმადი სამყარო – სააქაო, რომელსაც ადამიან-დამკვირვებელი იმეცნებს სენსორული ორგანოებით, გონიერებითა და ლოგიკური აზროვნებით, ისე უჩინარი და მარადიული მიღმური სამყარო, რომელსაც ადამიანი იმეცნებს ინტუიციითა და ზემთაგონებით. ორივე სამყარო ინფორმაციულია, ერთმანეთთან დაკავშირებულია ინფორმაციული ურთიერთქმედებით და ქმნის ერთიან მთლიან, თვითკმარ, თვითგანვითარებად უსასრულო და მარადიულ კოსმიურ სამყაროს. მის შესასწავლად აუცილებელია მრავალმხრივი – მთელური მიდგომა, და უახლესი მეცნიერებები ინფორმატიკის, არატრადიციული მათემატიკისა და „ახალი“ ფიზიკის სახით, რომლებიც ამჟამად დამუშავების მდგომარეობაშია.

ნაწილი II კოსმოლოგია

თავი 1. ასტრონომიული მონაცემები სამყაროს შესახებ

შესავალი

საბუნებისმეტყველო მეცნიერების ერთ-ერთ ფუნდამენტურ პრობლემას წარმოადგენს საკითხი, რომელიც დაიყვანება შემდეგ „ბავშვურ“ კითხვაზე: ცაში პირდაპირ რომ ავფრინდეთ ექნება თუა არა ამ ფრენას საზღვარი? თუ საზღვარი ექნება, რა იქნება იმ საზღვრის იქით? [24;7].

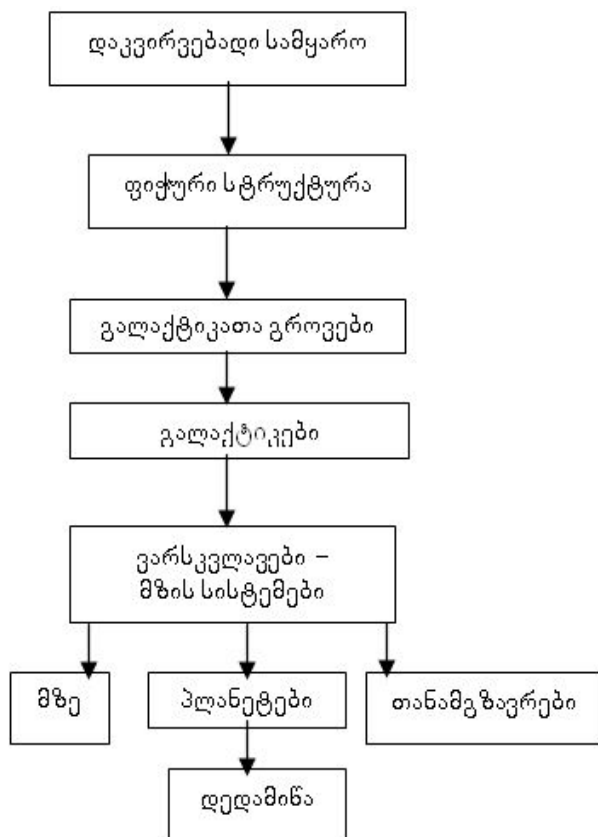
ადამიანის გონებრივი განვითარების დონის შესაბამისად მისი მოსაზრებები სამყაროს აგებულების შესახებ იწყებოდა სრულიად პრიმიტიული პირველადი წარმოდგენებიდან, დროის განმავლობაში ვითარდებოდა და სადღეისოდ ჩამოყალიბდა ე.წ. **M**-თეორიის, თანამედროვე კოსმოლოგიისა და ასტროფიზიკის სახით.

ეს პრობლემა საფუძვლად უდევს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებას სამყაროს როგორც მთლიანის აგებულობასა და თვისებებზე, ანუ კოსმოლოგიას. ადამიანის ინტერესი ამ საკითხის მიმართ უხსოვარი დროიდან იწყება.

მართალია პრიმიტიული, მაგრამ ასე თუ ისე მოწესრიგებული პირველი წარმოდგენები სამყაროს აგებულების შესახებ ჩამოყალიბდა ძველ საბერძნეთში, ანტიკურ ეპოქაში, და შემდგომ, არისტოტელეს ხელში, მიიღო ის სახე, რომელიც შემდგომში შუა საუკუნეებშიც კი ისწავლებოდა მთელ ცივილიზებულ სამყაროში.

ძველ საბერძნეთშივე ჩამოყალიბდა სამყაროს შესახებ საკითხის გადაწყვეტის ზუსტი მათემატიკური მეთოდების პრინციპიალური საფუძვლებიც. კერძოდ ფილოსოფოსმა პლატონმა წამოაყენა იდეა, რომლის თანახმადაც სამყარო აგებულია იმავე კანონებით, რა კანონებიც უდევს საფუძვლად გეომეტრიას. იმავე მეთოდით, უკვე მე-20 საუკუნის დასაწყისში, ისარგებლა ა. აინშტაინმა და ე.წ. რიმანის გეომეტრია დაუდო საფუძვლად თავის გრავიტაციის ფარდობით თეორიას.

ამ გეომეტრიული მეთოდის გამოყენებით დამყარდა კავშირი სივრცის თვისებებსა და მასში მატერიის განაწილებას შორის, რამაც ე.წ. აინშტაინის განტოლებების გამოყენებით შესაძლებელი გახადა შეიქმნილიყო ზუსტი მეცნიერებისათვის დამახასიათებელი დახვეწილი მათემატიკური აპარატი. ამით მეორე ფუნდამენტური პრებლამა დადგა მყარ ფიზიკა-მათემატიკურ საფუძველზე [24;9].



სქემა 2.1

აღ. აინშტაინის ფარდობითობის თეორიამ და გალაქტიკების ჩვენგან დაშორების ედ. ჰაბლისმირმა აღმოჩენამ, XX საუკუნის ოციანი წლებიდან დასაბამი მისცა ახალი ერის დასაწყისს ასტრონომიაში. წარმოიშვა ახალი მეცნიერებები ასტროფიზიკისა და კოსმოლოგიის სახით. ასტროფიზიკა, როგორც მეცნიერება, შეისწავლის ასტრონომიული სხეულების ფიზიკურ თვისებებს, ხოლო კოსმოლოგია – სამყაროს, როგორც მთლიანის, წარმოშობასა და ევოლუციას [35;7].

XX საუკუნის დასაწყისამდე სამყაროს მაკროსტრუქტურას სწავლობდა ასტრონომია. იგი იყო დაკვირვებადი მეცნიერება, რომელიც მიზნად ისახავდა ციური სხეულების აღმოჩენას, მათი ურთიერთქმედების შესწავლას, ახსნასა და ცის თაღის რუკის შედგენას.

დადგენილია, რომ სამყაროს გააჩნია ურთულესი მაკროსტრუქტურა (სქემა 2.1).

ამჟამინდელი მეცნიერული მონაცემებით დაკვირვებადი, ანუ გრძობად-კონკრეტული სამყარო წარმოადგენს ფიჭური სტრუქტურის მაგვარ სტრუქტურას, შემდგარს გალაქტიკათა გროვებისაგან. თითოეული გროვა შეიცავს (10–10000)-მდე გალაქტიკას. თითოეული გალაქტიკა, შედარებით მცირე რაოდენობის ჯუჯა ვარსკვლავებთან ერთად, შეიცავს (10^{10} - 10^{11}) ვარსკვლავს, ანუ მზის სისტემის მსგავს სისტემას. მზის სისტემა შეიცავს მზესა და მის გარშემო მოძრავ 9 პლანეტას, რომელთაგანაც ერთ-ერთი დედამიწაა, მისი ბუნებრივი თანამგზავრი მთვარით, მცირე ასტრონომიული თანამგზავრებითა და მასზე არსებული მრავალფეროვანი სრულიად სხვადასხვა სხეულით, ადამიანის ჩათვლით.

მის საუძველზე შემდგომში ჩამოყალიბდა თანამედროვე კოსმოლოგია.

1. უძველესი წარმოდგენები დედამიწის შესახებ

უძველეს მეცნიერებას განეკუთვნება ასტრონომია, რომლის ცოდნა მოითხოვდა წლის იმ დროების მინიშნებასა და ვადების განსაზღვრას, რომლებიც აუცილებელი იყო მინათ-

მოქმედებისა და მეცხოველეობის წარმოებისათვის. ბუნებაზე დაკვირვებისას ადამიანები ამჩნევდნენ, რომ ამინდის ცვალებადობა რალაცნაირად დამოკიდებული იყო ციური სხეულების ურთიერთ განლაგებაზე. ამისთვის კი საჭირო იყო დაკვირვება მზის, მთვარისა და ვარსკვლავების ციურ მოძრაობასა და განლაგებაზე. ამ დაკვირვებებით დაგროვდა გარკვეული ასტრონომიული ცოდნა [111;21]

ასტრონომია განსაკუთრებულ როლს ასრულებდა ძველ ეგვიპტეში, სადაც ადამიანის მთელი ცხოვრება დამოკიდებული იყო მდინარე ნილოსის ადიდებაზე და ეგვიპტის მიწების განაყოფიერებაზე.

ბრტყელი დედამინა. უძველეს დროს ადამიანი, რაც არ უნდა შორს გადაადგილებულიყო, ვერ დაინახავდა დედამინის დასასრულს. უკეთეს შემთხვევაში, ჰორიზონტისკენ მიმავალ გემზე მჯდომი ადამიანი, მოხვდებოდა ჰორიზონტის მიღმა, მაგრამ ვერ იპოვიდა დედამინის დასასრულს. არსებობს თუ არა ასეთი საზღვარი, დამოკიდებულია დედამინის ფორმაზე. თუ დედამინა მართლა ბრტყელია, მაშინ მას უნდა ჰქონდეს საზღვარი, რადგანაც წინააღმდეგ შემთხვევაში ის უსასრულოდ გავრცელდებოდა. უსასრულობა კი არ ეთანხმება ლოგიკურ მოსაზრებას და არ ეტევა აზროვნების ფარგლებში.

ბირთვისებრი დედამინა.

გარესამყაროზე კარგი დაკვირვების მქონე ადამიანი მიხვდებოდა, რომ დედამინა სიბრტყეს კი არ წარმოადგენს, არამედ მას ამობურცული ფორმა აქვს.

მაგალითად:

ა. თუ დედამინა ბრტყელი იქნებოდა, მაშინ მისი ნებისმიერი ნერტილიდან დამკვირვებელს თავს ზემოთ უნდა დაენახა ვარსკვლავების განლაგების ერთი და იგივე სურათი. თუმცა ყველა მოგზაურმა თავისი გამოცდილებით იცოდა, რომ ჩრდილოეთით გადაადგილებისას ვარსკვლავების ნაწილი იმალება სამხრეთის ჰორიზონტის მიღმა, ხოლო ჩრდილოეთის ჰორიზონტის თავზე ჩნდება ახალი ვარსკვლავები. სამხრეთით გადაადგილებისას კი ადგილი აქვს სანინააღმდეგო მოვლენას. ბერძენმა ფილოსოფოსმა ანაქსიმანდრე მილეთელმა (611-546)

ძვ. წ. ამ ფაქტიდან გამოიყვანა დასკვნა, რომ დედამიწა არ არის ბრტყელი.

ბ. ზღვის პირას მცხოვრები ადამიანები, რომლებიც აკვირდებოდნენ შორს მიმცურავ გემებს, ხედავდნენ რომ გემი დაშორებისას სულ მცირე და მცირე კი არ ხდებოდა, არამედ ის თვალთახედვიდან მანამდე ქრებოდა, სანამ ის წერტილის ტოლი გახდებოდა, ჯერ გემის კორპუსი იკარგებოდა მხედველობიდან, ხოლო მერე გემის დანარჩენი ნაწილი, თითქოს გემი ეფარებოდა ბორცვს. ასეთი სურათი კი მოსალოდნელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დედამიწას გააჩნია ამობურცული ფორმა [62;16].

დ. ბერძენი ასტრონომები მთვარის დაბნელებას ხსნიდნენ იმის დაშვებით, რომ იმ მომენტში მზესა და მთვარეს შორის ექცეოდა დედამიწა, მზის განათებით გამოწვეული დედამიწის ჩრდილი ეცემა მთვარეს და აბნელებს მას. ამ ჩრდილის კვეთა ყოველთვის იყო წრის ფორმისა. ისეთი სხეული, რომლის ჩრდილი ყოველთვის შეიძლება იყოს წრე – არის სფერო.

პირველად ბერძენმა ფილოსოფოსმა **ანაქსიმანდრემ** შემოიტანა ტერმინი „**კოსმოსი**“, როგორც სამყაროს ცნება [15;272].

ბერძენი ფილოსოფოსის **ჰერაკლიტეს** მიხედვით, ბუნებაში არ არსებობს უძრავობა და მთელი სამყარო ბრძნულად აგებული კოსმოსია [16;163].

ჰერაკლიტეს აზრით, „ეს კოსმოსი, რომელიც ერთი და იგივეა ყველასათვის, არავის შეუქმნია, არამედ ის იყო, არის და იქნება მარად ცოცხალი ცეცხლი, რომელიც ზომით ინთება და ზომით ქრება“ [16].

ამ ლაკონიურ გამოთქმაში გენიოს ჰერაკლიტეს ჩაქსოვილი აქვს ხუთი ფუნდამენტალური აზრი:

1. კოსმოსური სამყარო ერთადერთია;
2. კოსმოსური სამყაროს საფუძველს მარად ცოცხალი ცეცხლი წარმოადგენს;
3. კოსმოსური სამყარო თავისივე თავის წარმოშობის მიზეზია, ე.ი. თვითკმარია;
4. კოსმოსური სამყაროში ყველაფერი მიმდინარეობს კანონზომიერად;

5. კოსმოსური სამყარო ციკლურია.

ძველ საბერძნეთის გამოჩენილი მოღვაწეს **პითაგორას** (580-460) ძვ.წ. სწორი წარმოდგენა ჰქონია მზის სისტემის შესახებ. პითაგორელების მიხედვით დედამიწა უნდა იყოს სფერული ფორმის, რადგანაც სფერო არის სრულყოფილი და იდეალური ფორმა.

ამ წარმოდგენების მიხედვით დედამიწა სამყაროს ცენტრშია. მას გარს აკრავს 9 გამჭვირვალე ცა ერთი-მეორის მიყოლებით. პირველ 7 ცაზე დამაგრებულია შესაბამისად მზე, მთვარე და ხუთი ცდომილი (პლანეტა) მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი. შემდეგ მოდის ვარსკვლავების ცა, რომლის იქით ცეცხლოვანი სამყაროა და ბოლოს მეცხრე ცა, რომლის იქითაც „ღმერთების სამყაროა“. ყველა ეს ცა, მასზე დამაგრებული მნათობებით, ბრუნავს დედამიწის გარშემო [62;26]

„პითაგორას აზრით, ხილული სამყარო სხვა არაფერია, თუ არა გარდამავალი ფორმა კოსმიური (მსოფლიო) სულისა, რომელიც ჯერ თავს უყრის უსასრულო სივრცეში გაბნეულ მატერიას, ხოლო შემდეგ განაბნევს და განადნობს მას უნონო კოსმიური ფლუიდის სახით“ – წერდა ედ. შიურე 1914 წელს.

ედ. შიურეს მიერ ამ წიგნის დაწერისას, (მით უმეტეს პითაგორას ეპოქაში) ჯერ კიდევ არ არსებობდა სამყაროს წარმოშობის დიდი აფეთქების თეორია. არადა, აქ გამოთქმული აზრი, თუ მატერიისა და ენერჯის ეკვივალენტურობას გავითვალისწინებთ, ზედმინევენით კარგად შეესაბამება სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე დიდი აფეთქების თეორიის ინფლაციურ მოდელს. როგორც ედ. შიურე გადმოგვცემს, პითაგორას მიხედვით, მთელი აღქმადი სამყარო, ვარსკვლავებით მოჭედილი ცა, სამყაროში არსებული მინერალური საგნები და ცოცხალი ორგანიზმები „გამომდინარეობენ მაღალი სულიერი წესრიგისა და წინამორბედი მატერიალური ევოლუციისაგან“ (სხვა სიტყვებით თუ ვიტყვით, ოდესღაც უკვე არსებული და უკვე ჩამქრალი სამყაროს ინფორმაციული ველისაგან) [131;263].

ე.ი. ერთხელ არსებული სამყაროსაგან, მისი ჩაქრობის შემდეგ, ხელახლა წარმოიქმნება ახალი დაკვირვებადი სამყარო. ეს აზრი შეესაბამება ჩემ მიერ წარმოდგენილ კოსმოსური სამყაროს ციკლურობის ვარიანტს (წიგნი II).

ბერძენი ფილოსოფოსის **პლატონის** „ტიმეოსის“ თანახმად სამყარო, უწინარეს ყოვლისა, ღვთაებრივ მიზეზთა ქმედითობის შედეგია: შემოქმედი – დემიურგოსი, ანუ კოსმიური გონება იდეათა მიხედვით ქმნის სამყაროს, რომელიც იდეალური სინამდვილის ხატად და ასლად გვევლინება. სამყარო, როგორც იდეალური სიკეთისა და მშვენიერების სრულქმნილი ხატი, შექმნილი კოსმიური გონის მიერ, არ შეიძლება თავადაც კეთილი და მშვენიერი არ იყოს. „ამრიგად, უნდა ვაღიაროთ, რომ ეს ჩვენი კოსმოსი არის სულითა და გონიერებით მოსილი ცოცხალი არსი და რომ ის დაიბადა ჭეშმარიტად ღვთიური წინასწარხედვის წყალობით“ [40;51].

პლატონის მიხედვით, კოსმოსი წარმოადგენს ხელოვნების ქმნილებას. „სამყაროს გონი – დიდოსტატი შემოქმედი, ხელოვნების კანონების მიხედვით, წინასწარ აგებს კოსმოსს“. „ბუნების ჯადოქრულ ხიბლს, მის მომნუსხველ მშვენიერებას, სამყაროს მწყობრსა და დახვეწილ წესრიგს არქიტექტურულ, მუსიკალურ და პლასტიკურ საწყისთა ერთობლიობა განაპირობებს, ხოლო ყოველივე ამას მათემატიკის პრინციპზე დაფუძნებული ერთიანი გეგმა უდევს საფუძვლად“ [40;52].

თუ ასეა, „კოსმიურ გონს“ წინასწარ შემუშავებული უნდა ჰქონოდა სამყაროს შექმნის გეგმა, რომელიც უნდა ითვალისწინებდეს სამყაროს ევოლუციური განვითარების გეგმასაც. ყოველივე ეს, სამყაროს როგორც სტრუქტურის, ისე ევოლუციური განვითარების გეგმა, ინფორმაციული თვალსაზრისით, ჩანერილი უნდა ყოფილიყო სადღაც ენერგო-ინფორმაციული ველის მახსოვრობით ნაწილში.

ამრიგად, პლატონი, ერთი მხრივ, ინტუიციით გრძნობს, რომ გრძნობადკოსმოსური სამყარო, რომელიც მას ხელოვნების ნიმუშად წარმოუდგენია, უნდა შედგებოდეს ორი ურთიერთსაპირისპირო ფუნდამენტური საწყისისაგან: კოსმი-

ური გონისა (ინფორმაციისა) და „მიმრქმელისაგან“ (უფორმო მატერია). (ნახ. 1.1).

კოსმიური გონი ასრულებს სამყაროს პირველნიმუშის – გეგმის როლს, ხოლო ყოველ თვისებრიობას მოკლებული მატერია – მასალის როლს.

ფილოლაი ტარენტადან (480 ძვ.წ.) იყო პირველი ფილოსოფოსი, რომელმაც დაუშვა, რომ დედამიწას აქვს სფეროს ფორმა.

დაახლოვებით 100 წლის შემდეგ ბერძენმა ფილოსოფოსმა **არისტოტელემ** (384-322 ძვ.წ.) შეაჯამა წარმოდგენები დედამიწის სფერული ფორმის შესახებ. მან ჯერ კიდევ ძვ.წ. 340 წ. თავის წიგნში „ზეცაზე“ შეძლო წამოეყენებინა არგუმენტი იმის დასამტკიცებლად, რომ დედამიწა მრგვალი სფეროა და არა ბრტყელი დისკი. ჯერ ერთი მან დააფიქსირა, რომ მთვარის დაბნელება გამოწვეულია დედამიწის გავლით მზესა და მთვარეს შორის [62;16].

ამრიგად ძვ.წ. 350 წ. მტკიცედ იქნა დადგენილი, რომ დედამიწა – სფერული ფორმისაა. რაც არისტოტელედან 1800 წლის შემდეგ საბოლოოდ იქნა დამტკიცებული, როცა 1522 წელს მაგენალის ექპედიციიდან, დედამიწის გარშემოვლის შემდეგ, ერთ-ერთი გადარჩენილი გემი დაბრუნდა საკუთარ ნავსადგურში. ამ მოგზაურობით საბოლოოდ დამტკიცდა, რომ დედამიწა სფეროს ფორმისაა [62;16].

2. უძველესი წარმოდგენები მზის სისტემის შესახებ

სანამ მიჩნეული იყო, რომ დედამიწა ბრტყელია, ითვლებოდა, რომ ცა წარმოადგენს მყარ თაღს რომელიც ყველა მხრიდან ერთვოდა დედამიწის ბრტყელი ზედაპირის კიდეებს.

მეორე მხრივ ცა ითვლებოდა ღმერთის სამყოფელ ადგილად. ამიტომაც, რომ ღმერთის აღმნიშვნელ სიმბოლოს ი წარმოადგენდა, რაც ქართულ ასომთავრულ დამწერლობაში ბგერა ღ-ს (ანუ ღმერთს) შეესაბამება.

ამ თაღის სიმაღლე არც თუ ისე დიდი იყო. სფერული ფორმის დედამიწის შემთხვევაში კი ცასაც უნდა ჰქონოდა

სფერული ზედაპირის ფორმა, რომელიც წარმოადგენდა სამყაროს საზღვარს. მიჩნეული იყო, რომ სფერო მასზე დამაგრებულ ვარსკვლავებთან ერთად ასრულებს დღე-ღამურ ბრუნავს დედამიწის გარშემო 24 საათის განმავლობაში. ასეთი შეხედულება იყო გაბატონებული XVII საუკუნემდე [62;20].

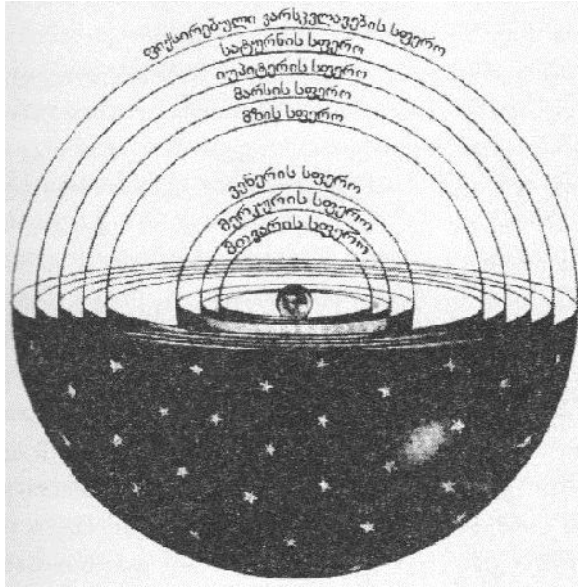
თუმცა ჯერ კიდევ პირველყოფილი ადამიანს ღამის ცაზე დაკვირვებისას უნდა შეემჩნია, რომ ზოგიერთი ციური სხეული მოძრაობდა და იმყოფებოდა ხან ერთ, ხან მეორე ვარსკვლავთან ახლოს. რაც იმას ნიშნავდა, რომ ეს მნათობები არ არიან დამაგრებულნი ცაზე და დედამიწასთან იმყოფებიან უფრო ახლოს უძრავ ვარსკვლავებთან შედარებით. უხსოვარი დროიდან ცნობილი იყო 7 ასეთი მნათობი: მზე, მთვარე, ვენერა, იუპიტერი, მარსი, სატურნი, და მერკური. ამ ციურ სხეულებს ბერძნები უწოდებდნენ „პლანეტეს“ (მოხეტიალენი), რადგანაც ისინი დაეხეტებოდნენ ვარსკვლავებს შორის. ჩვენამდე ამ სიტყვამ მოაღწია „პლანეტების“ (ქართულად „ცდომილების“) სახით [62;20].

აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავების მიმართ პლანეტების ფარდობითი მოძრაობის სიჩქარის მეშვეობით, შესაძლებელია განისაზღვროს თუ რომელი პლანეტა უფრო ახლოსაა დედამიწასთან და რომელი – უფრო შორს. ბერძნებმა გადაწყვიტეს, რომ დედამიწასთან ყველაზე ახლოსაა მთვარე, ხოლო დანარჩენი მნათობები დედამიწიდან მანძილის ზრდის მიხედვით განლაგებულნი არიან შემდეგნაირად: მერკური, ვენერა, მზე, მარსი, იუპიტერი და სატურნი.

არისტოტელე დარწმუნებული იყო, რომ მიწა უძრავია და მზე, მთვარე, პლანეტები და ვარსკვლავები მოძრაობენ წრიულად მის გარშემო. მას ამისი სჯეროდა გამომდინარე მისტიკური მოსაზრებიდან, რომლის მიხედვით დედამიწა სამყაროს ცენტრია, ხოლო წრიული მოძრაობა ყველაზე სრულყოფილია.

ეს სისტემა დაწვრილებით აღწერა ალექსანდრიელმა ასტრონომმა **კლავდიუს პტოლემემ** (87-165)ნ წ თავის შრომებში, რომელიც ცნობილია პტოლემეს სისტემის სახელწოდებით. ამ

სისტემის მიხედვით დედამიწა იმყოფება ცენტრში, გარემოცული რვა სფეროთი, რომელთაც გადააქვთ მთვარე, მზე, იმ დროს ცნობილი 5 პლანეტა (მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი) და ვარსკვლავები (ნახ. 2.1)



ნახ. 2.1

გარე სფეროზე განლაგებულია, ე.წ. ფიქსირებული ვარსკვლავები, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ ყოველთვის ერთსა და იმავე პოზიციაში იმყოფებიან, მაგრამ მერვე სფეროსთან ერთად ბრუნავენ დედამიწის გარშემო. არავინ ლაპარაკობდა იმაზე, რა იმყოფებოდა ამ სფეროს გარეთ, მაგრამ, ცხდია, ეს იყო სამყაროს ის ნაწილი, რომელსაც ადამიანი აკვირდებოდა [61;9].

პტოლემემ ციური სხეულების მოძრაობა დედამიწის გარშემო ასახა ეპიციკლებისა და ექსცენტრიკების მეშვეობით. პტოლემეს სისტემა იყო ძალიან რთული და უშველელი რაც

იმის დამადასტურებელია პტოლემეს თეორია არ შეესაბამებოდა ჭეშმარიტებას.

მართალია, პტოლემეს სისტემას გააჩნდა დიდი ნაკლი, მაგრამ იგი აღიარებული იყო ქრისტიანული ეკლესიის მიერ, როგორც ბიბლიასთან შესაბამისი სამყაროს სურათი, რადგანაც მისთვის ბოლო სფეროს გარეთ ადგილი რჩებოდა სამოთხისა და ჯოჯოხეთისათვის [62;10].

ანტიკური ხანის დიდი ასტრონომის **ჰიპარქეს** მიერ ძვ.წ. (180-125 წწ.) დადგენილ იქნა, რომ მთვარე დედამიწის დიამეტრთან შედარებით 30-ჯერ მეტი მანძილითაა დაშორებული, რაც დაახლოებით 384000კმ-ს ტოლია. ამჟამინდელი მონაცემების მიხედვით დედამიწის ცენტრიდან მთვარის ცენტრამდე საშუალო მანძილი 384325 კმ-ის ტლია.

ამრიგად ბერძნებმა დაახლოები 150 წლით ადრე ჩვენს ერამდე, ასტრონომიული დაკვირვებებით, სწორედ განსაზღვრეს დედამიწის ფრმა, ზომა და მანძილი მთვარემდე. მაგრამ მეტი ვერ მოახერხეს. ისინი მივიდნენ დასკვნამდე, რომ სამყარო წარმოადგენს, არა უმეტეს რამდენიმე მილიონი კილომეტრის გიგანტურ სფეროს, რომლის ცენტრში მოთავსებულია დედამიწა-მთვარის სისტემა, მიახლოვებით იმ ზომებით, რომლებიც მიღებულია ამჟამად[62;22].

ალექსანდრიელმა ასტრონომმა **ერისტარხ სამოსელმა** ძვ. წ. მე-3 საუკუნეში წამოაყენა ჰიპოთეზა სამყაროს ჰელიოცენტრული სისტემის შესახებ. იგი თვლიდა, რომ სამყაროს ცენტრში მოთავსებულია მზე, რომლის გარშემო მოძრაობენ დედამიწა და პლანეტები. მაშინ მისმა სწავლებამ ვერ ჰპოვა განვითარება. მხოლოდ, გაცილებით გვიან, კოპერნიკმა განავითარა არისტარხის ეს იდეა.

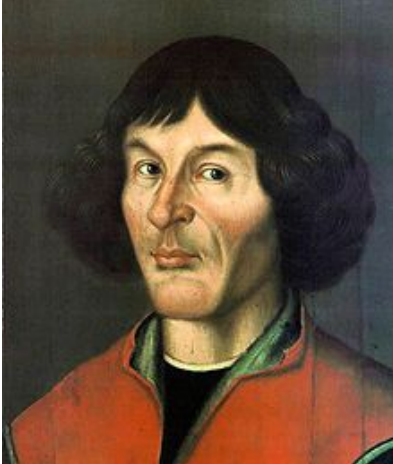
3. მეცნიერული რევოლუცია ასტრონომიაში

ასტრონომიაში **მეცნიერული რევოლუცია** დაიწყო დიდი პოლონელი მეცნიერის **ნიკოლას კოპერნიკის** (1473-1543)წწ გენიალური შრომით, რომელშიც მან უარყო სამყაროს

პტოლემეს გეოცენტრიული სისტემა და წარმოადგინა ახალი, ჰელიოცენტრიული სისტემა [111;61].

ნ. კოპერნიკი ჯერ სწავლობდა კრაკოვის უნივერსიტეტში, ხოლო შემდეგ იტალიაში, სადაც მიიღო ბრწყინვალე განათლება ასტრონომიაში, მედიცინასა და ფილოსოფიაში.

ნ. კოპერნიკმა 1542 წელს გამოაქვეყნა თავისი შრომა



„ციური წრეების მიმოქცევის შესახებ“, რომელშიც მდიდარ ფაქტიურ მონაცემებზე დაყრდნობით სისტემატურ ფორმაში გადმოდგვა სამყაროს ახალი – ჰელიოცენტრიული სისტემის აღწერა. კოპერნიკის მიხედვით, სამყარო დედამიწასთან შედარებით თვალუწვდენელია. მზის გარშემო წრიულ ორბიტებზე მოძრაბენ პლანეტები შემდეგი მიმდევრობით: მერკური, ვენერა, დედამიწა,

მარსი, იუპიტერი, სატურნი. სატურნის მიღმა უშველებელ მანძილზე მოთვსებულია უძრავი ვარსკვლავების სფერო რომლითაც, კოპერნიკის მიხედვით, თავდება სამყარო.

ყველა ციური სხეული წარმოადგენს სფეროს, ხოლო სამყარო წარმოადგენს ბირთვისებურ ზედაპირს. დედამიწა 24 საათის განმავლობაში ასრულებს დღელამურ ბრუნვით მოძრაობას თავის ღერძის გარშემო, ხოლო წლის განმავლობაში წრიულ მოძრაობას მზის გარშემო. ამრიგად კოპერნიკმა დააფუძნა ჰელიოცენტრიული სისტემა. მისი გენიალობა შემდეგში მდგომარეობას: მიუხედავად იმისა, რომ უძველესი დროიდან ყველა დამკვირვებელი ნათლად ხედავდა, რომ მზე, მთვარე და პლანეტები მოძრაობდნენ დედამიწის გარშემო, რის გამოც ყველას მიერ დედამიწა მიჩნეული იყო სამყაროს ცენტრად. სამყაროს ასეთი წარმოდგენას გეოცენტრიული სისტემა ეწოდა. იგი ოდიდგანვე ჭეშმარიტ სისტემად იყო

მიჩნეული. თუმცა ეს თეორია ციური სხეულების მოძრაობის ასახსნელად მოითხოვდა უშველებელად დიდი რაოდენობის გამოთვლებს. კოპერნიკმა უარჰყო საყოველთაოდ მიღებული სამყაროს გეოცენტრიული სისტემა. კოპერნიკს თავისი თეორიის სისწორის დამადასტურებელ არგუმენტად მიაჩნდა ის ფაქტი, რომ მისი თეორიით გაცილებით მარტივად გამოითვლებოდა ციური სხეულების ხილული მოძრაობა. კოპერნიკის ზემოხსნებული შრომა წარმოადგენდა მნიშვნელოვან რავოლუციურ წინსვლას მეცნიერებაში [111;64].

კოპერნიკის სწავლების გარშემო მაშინვე აღძრულ იქნა დაუნდობელი ბრძოლა მეცნიერებასა და ეკლესიას შორის.

დიდმა იტალიელმა მოაზროვნემ **ჯორდანო ბრუნომ** (1548-1600) ეკლესიას ბრძოლა გაუმართა სამყაროს ახალი, კოპერნიკისეული მსოფლმხედველობის დასამკვიდრებლად. იგი იყო კოპერნიკის სწავლების გაცხარებული დამცველი და გამავრცელებელი. რისთვისაც იგი 1600 წლის 17 თებერვალს ინკვიზიციამ გაასამართლა და კოცონზე დაწვა [111;66].

კოპერნიკისეული ჰელიოცენტრული მოდელი სერიოზულად ჩათვალეს მხოლოდ დაახლოვებით 1 საუკუნის შემდეგ, როცა გერმანელმა ასტრონომმა **იოჰან კეპლერმა** (1571-1630) და იტალიელმა **გალილეო გალილეიმ** სახალხოდ მხარი დაუჭირეს მის იდეას [61;10]

იოჰან კეპლერმა 1609 წელს, ბოლოს და ბოლოს, გაანალიზა რა პლანეტა მარსის მოძრაობის დაკვირვებების ზუსტი მონაცემები, მივიდა დასკვნამდე, რომ ერთადერთი გეომეტრიული ფიგურა, რომელიც შეესაბამება მოძრაობის ექსპერიმენტულ მონაცემებს – ელიფსია. კეპლერმა დაადგინა, რომ მზე მოთასებულია ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში. შემდეგ ნაჩვენებ იქნა, რომ ყველა პლანეტა და ყველა თამამგზავრის ტრაექტორია ელიფსებს წარმოადგენენ [62;24].

კეპლერის მიხედვით, ყოველ ციურ სხეულს (მზეს, დედამიწას, პლანეტებს, ვარსკვლავებს) გააჩნია, თუმცა ერთმანეთისაგან განსხვავებული ბუნების, მიზიდულობის ძალა (ის ვერ მივიდა მსოფლიო მიზიდულობის ძალის ცნებამდე). მიზი-

დულობის ძალა მიმართულია ერთი სხეულიდან მეორისაკენ. მისი აზრით მზის მამოძრავებელი ძალა მცირდება მანძილის პირველი ხარისხის უკუპროპორციულად. ეს ძალა არ არის ნიუტონისეული ცენტრისკინული ძალა, მაგრამ იგი აიძულებს პლანეტას იმოძრაოს ელიფსურ ორბიტაზე.

კეპლერი ვერ განთავისუფლდა შუასაუკუნეების მისტიკური წარმოდგენებისაგან, მაგრამ მისი დინამიკა წინ წავიდა. ის გამოვიდა სამყაროს სუფთა კინემატიკური სურათიდან და მიუთითა არათანაბარი მოძრაობის ობიექტური მიზეზების არსებობაზე [90;27].

კეპლერმა არ იცოდა ინერციისა და სხეულების ვარდნის კანონები, რომლებიც მიიყვანდა ბუნების სხავადასხვა მოვლენების უნივერსალურ ახსნამდე. მისი აზრით სამყაროს მოვლენებს მართავს ერთიანი მსოფლიო ჰარმონია, რომლის კანონები მართავენ ციური სხეულების მოძრაობას [90;31].

კეპლერმა მიზნად დაისახა განესაზღვრა პლანეტების საშუალო რადიუსები არა ემპირიულად, არამედ სამყაროს ერთიანი ჰარმონიული წესრიგიდან გამომდინარე [90;32].

მართალია კეპლერმა ვერ მოიძია ის დინამიკური პრინციპები, რომლებიც რიცხობრივად ახსნიდნენ პლანეტების მოძრაობას, მაგრამ ეს არ ამცირებს მისი უდიდესი აღმოჩენების მნიშვნელობას [90;33].

1610 წლის 7 იანვარს განსაკუთრებული საზოგადოებრივ რეზონანსი გამოიწვია **გალილეის** ასტრონომიულმა აღმოჩენებმა და შრომებმა. იგი ფართოდ გახდა ცნობილი იუპიტერის თანამგზავრების, მთვარის კრატერების, ნისლოვანება ირმის ნახტომის ვარსკვლავური შემადგენლობის, ვენერის ფაზებისა და მზის ლაქების აღმოჩენით, თავის მიერ გამოგონილი ტელესკოპის საშუალებით.

გალილეი წერდა, რომ ფილოსოფოსების მთელ არმიას მთვარე მიაჩნდა სავსებით სფერული ფორმის გლუვ სხეულად, ხოლო ტელესკოპმა უჩვენა, რომ მისი ზედაპირი გლოვი კი არ არის, არამედ იგი დახრამული ღრმა ხეობებითა და მთებით მიემსგავსება დედამიწის ზედაპირს. გალილეის ტელესკოპის საშუალებით დაკვირვებადი ვარსკვლავების რაოდენობა 10-

ჯერ მეტია თვალთ დანახული ვარსკვლავების რაოდენობა-სთან შედარებით. ხოლო ნისლოვანება ირმის ნახტომი აღმოჩნდა ჩვეულებრივი ვარსკვლავების გაერთიანება. გალილეიმ აღმოაჩინა იუპიტერის თანამგზავრებიც.

ტრადიციული კონცეფციების მიხედვით, ციური სხეულები სავსებით განსხვავდებოდა დედამიწისაგან. მაგრამ არსებობდა მეორენარი ფიზიკური ხედვაც. მაგალითად, ჯორდანო ბრუნოს მიაჩნდა, რომ ფიზიკური ბუნება დედამიწისა და სხვა ციური სხეულებისა ერთნაირია. ეს აზრი, ნატურფილოსოფიის მიხედვით, რჩებოდა მეტაფიზიკურად, სანამ გალილეი არ დააკვირდა მთვარის ზედაპირს, რომელიც დედამიწის ზედაპირის მსგავსი აღმოჩნდა. რაც დამაჯერებელია არა მარტო სპეციალიტ მეცნიერებისათვის, არამედ რიგითი მოქალაქეებისთვისაც. რადგანაც თითოეულ მათგანს ტელესკოპის მეშვეობით შეეძლო ცხადად დაენახა მთვარის ზედაპირის მსგავსება დედამიწისასთან.

ჰელიოცენტრიზმის ფიზიკურმა დამტკიცებამ, დედამიწისა და მთვარის იდენტურობის იდეამ წარმოშვა აზრი იმის შესახებ, რომ დედამიწაზე არსებული სხეულებისა და ციური სხეულების მოძრაობა ემორჩილება ერთსა და იმავე კანონებს. გალილეის მსოფლმხედველობის საფუძველს წარმოადგენს იდეა, რომელიც იყო და არის მეცნიერების იდეის ღერძი: სამყაროში მიმდინარე პროცესების ერთობლიობა წარმოქმნის გარკვეულ ჰარმონიულ, მონესრიგებულ მთელს, გამსჭვალულს მიზეზშედეგობრიობით. ეს იდეა განასხვავებს მეცნიერებას მეცნიარებამდელი წარმოდგენებისაგან [90;54].

მეცნიერების განვითარების ისტორია წარმოადგენს ამ თვალთაზრისის ნაბიჯ-ნაბიჯ მტკიცებას შემდგომი მეცნიერული აღმოჩენებისა და თეორიული მტკიცებულებების მეშვეობით.

ჰელიოცენტრული სისტემა იძლეოდა პლანეტების მოძრაობის აღწერის უკეთეს შედეგებს და თანაც მნიშვნელოვნად ამარტივებდა გამოთვლებს. თუმცა ისიც არ იძლეოდა ზუსტ შედეგებს, რადგანაც კოპერნიკის მიხედვით, პლანეტები მოძ-

რაობენ წრენირებზე, რაც არ შეესაბამებოდა სინამდვილეს [62;24].

ამ საკითხებს ნათელი მოჰფინა ისააკ ნიუტონმა 1687 წელს, როცა მან გამოაქვეყნა თავისი ნაშრომი – „ნატურფილოსოფიის მათემატიკური პრინციპები“. ნიუტონმა ჩამოაყალიბა უნივერსალური გრავიტაციის კანონი, რომლის მიხედვით სამყაროში ყოველი სხეული თავისაკენ იზიდავს ყველა სხვა სხეულს და ეს მიზიდვა მით უფრო ძლიერია რაც უფრო მასიურია სხეული და რაც უფრო ახლოს არიან ეს სხეულები ერთმანეთთან [61;11].

ნიუტონმა აჩვენა, რომ მისი თეორიის შესაბამისად გრავიტაცია აიძულებს მთვარეს იმოძრაოს დედამიწის გარშემო ელიფსურ ორბიტაზე და აიძულებს დედამიწასა და პლანეტებს იმოძრაონ მზის გარშემო ელიფსურ ორბიტებზე.

ნიუტონის მტკიცებით, ვარსკვლავები ყველნი შეიძლება ვარდებოდნენ ერთ წერტილში მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ არსებობს სასრულო რაოდენობის ვარსკვლავები, განაწილებლნი სივრცის სასრულო არეში. მისივე აზრით, თუ ვარსკვლავები განაწილებულნი არიან ერთგვაროვნად უსასრულო სივრცეში, ეს არ მოხდება, რადგანაც მაშინ არ იარსებებს რაიმე ცენტრალური წერტილი, რომელზედაც ისინი დაეცემიან. მე-20 საუკუნემდე არავის მოსვლია თავში აზრი, რომ სამყარო შეიძლება ფართოვდებოდეს ან იკუმშებოდეს [61;12].

შუა საუკუნეების მოაზროვნეთათვის ბუნების მონყობა წარმოადგენდა ღმერთისეულ საიდუმლოებას, რომელიც ხალხს ეუნწყებოდა მხოლოდ გამოცხადებითა და ეკლესიის მამების კომენტარებით, რაც წარმოადგენდა საბოლოო პასუხებს მეციერების ყველა კითხვაზე. გალილეისათვის, პირიქით, მეცნიერებას უნდა გაეცა პასუხი ბუნების მოვლენებზე ემპირიული დაკვირვებითა და რაციონალური – ცნებითი აზროვნებით. ამაში მდგომარეობს ძირითადი საფუძველი იმ რეფორმისა, რომელიც მოახდინა გალილეიმ მეცნიერულ აზროვნებაში [90;41].

4. მზის სისტემის შესახებ

პარალაქსი. რომელიმე პლანეტამდე მანძილის გასაზომად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პარალაქსის მოვლენა. თუ დავაკვირდებით მთვარეს ერთდროულად 2 სხდასხვა ობსერვატორიიდან, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებული არიან რამდენიმე ასეული კმ-თ, ერთი დამკვირვებელი მთვარის კიდეს, ცის ფონზე არსებული წინასწარ შერჩეული ვარსკვლავის მიმართ, დაინახავს გარკვეული კუთხით. ხოლო მეორე ობსერვატორიაში მყოფი დამკვირვებელი, იმავე დროს, მთვარის იმავე კიდეს, იმავე ვარსკვლავის მიმართ, დაინახავს სხვა კუთხით. ამაში მდგომარეობს პარალაქსის მოვლენა. თუ ცნობილი იქნება მთვარის წანაცვლება ვარსკვლავური ფონის მიმართ, და აგრეთვე მანძილი ობსერვატორიებს შორის, მაშინ მარტივი ტრიგონომეტრიული ფორმულების საშუალებით შეიძლება გამოთვლილ იქნეს მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე,

საუბედუროდ, პლანეტები დედამიწიდან იმდენად შორს იმყოფებიან, რომ 2 სხვადასხვა ობსერვატორიიდან ვიზუალური დაკვირვების შედეგად, ცის ფონზე მათი წანაცვლების შემჩნევა, ძალიან ძნელია.

1608 წელს იტალიელმა სწავლულმა გალილეიმ ააწყო ისეთი ტელესკოპი, რომელიც ადიდებდა პარალაქსს და იძლეოდა მისი გაზომვის საშუალებას [62;27].

როგოც ვიცით, 1619 წელს კეპლერმა დადგინა, რომ პლანეტის მიმოქცევის პერიოდსა და პლანეტის მზემდე საშუალო მანძილს შორის არსებობს მარტივი მათემატიკური კავშირი. პლანეტების მიმოქცევის პერიოდების განსაზღვრა იოლი იყო. ამიტომ შესაძლებელი შეიქმნა მზის სისტემის ზუსტი სქემის დახატვა, რადგანაც შესაძლებელი გახდა პლანეტების ორბიტების მზემდე ფარდობითი მანძილის განსაზღვრა. თუმცა ამ სქემის მასშტაბის დასადგენად საჭირო იყო რომელიმე პლანეტის ორბიტიდან მზემდე საშუალო მანძილის ზუსტი განსაზღვრა.

1671 წელს ჩატარებულ იქნა მარსის პაქრალაქსის პირველი ტელესკოპური გაზომვები. მიღებული შედეგებით გამოთვლილ იქნა მარსამდე მანძილი დაკვირვების მომენტში. როგორც კი ეს მანძილი იქნა დადგენილი, განსაზღვრულ იქნა მზის სისტემის ყველა სხვა პლანეტების მანძილები [62;29].

ასტრონომებმა 1835 წელს შეძლეს განესაზღვრათ საშუალო მანძილი ვენერიდან მზემდე, რომელიც 152300000 კმ-ს ტოლი აღმოჩნდა. 1931 წელს ასტრონომების მიერ დადგენილ იქნა, რომ საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე დაახლოვებით 148600000 კმ-ს ტოლია [62;30].

მზის სისტემის ზომები. ბოლო წლებში მეცნიერების მიერ გამოგონილ იქნა პლანეტებამდე მანძილის განსაზღვრის უფრო ზუსტი მეთოდები. 1961 წელს დადგენილ იქნა, რომ საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე 148573000 კმ-ს ტოლია.

პლანეტებიდან მზემდე საშუალო მანძილები მოცემულია შემდეგ ცხრილში[62;33]:

პლანეტა	საშუალო მანძილი მილიონ კმ ასტრ. ერთ	
მერკური	57,9	0,387
ვენერა	108,2	0,723
დედამიწა	149,5	1,00
მარსი	227,9	1,524
იუპიტერი	776,3	5,203
სატურნი	1428	9,539
ურანი	2872	19,182
ნეპტუნი	4498	30,058
პლუტონი	5916	39,518

კეპლერის სქემის გამოყენებით შეიძლება გამოთვლილ იქნეს საშუალო მანძილები პლანეტებიდან მზემდე. ამჟამად დადგენილად ითვლება, რომ დედამიწას გარშემო მოძრაობს 9 პლანეტა, რომელთა საშუალო მანძილი მზემდე მოცემულია

შემდეგ ცხრილში კილომეტრებში და ასტრონომიულ ერთეულ-
ლაბში. (1ა.ე. = 150 000 000 კმ).

მზის სისტემას მიეკუთვნებიან კომეტებიც, რომელთა გათ-
ვალსწინებით მზის სისტემის მაქსიმალური დიამეტრი აღწევს
ტრილიონ(10¹²) კმ-ს, რომლის გავლას სინათლის სხივს სჭირ-
დება 40 დღელმე [62;36].

მზის სისტემას მიეკუთვნებიან აგრეთვე პლანეტების
თანამგზავრებიც.

5. ვარსკვლავების შესახებ

უმთვარო ღამით თუ სუფთა ცას შევხედავთ, ყველაზე
ნათელი ობიექტები იქნება პლანეტები ვენერა, მარსი, იუპი-
ტერი და სატურნი. იქ დიდი რაოდენობით კიდევ სხვა მნა-
თობებიცაა, რომლებიც თურმე ჩვენს მზეს ჰგვანან, მაგრამ
ჩვენგან გაცილებით შორს არიან [62;41].

სამყარო მზის სისტემის გარდა მოიცავს ვარსკვლავებს.
კეპლერი ფიქრობდა, რომ სამყაროს მოიცავს ცის მყარი თალი,
რომელზეც დამაგრებულია უძრავი ვარსკვლავები.

XVII საუკუნეში ცის მნათობამდე მანძილის პარალაქსით
გაზომვის მეთოდი, რომელმაც საშუალება მისცა ასტრო-
ნომებს დაედგინათ მზის სისტემის ზომები, გამოუსადეგარი
აღმოჩნდა ვარსკვლავებისათვის.

ვარსკვლავთა მრავლობითობა. ჯერ კიდევ ძველი ბერძნები
აფიქსირებდნენ ხილული ვარსკვლავების ერთმანეთის მიმართ
განლაგებას. პირველად ჰიპარქიმ შეადგინა რუკა 800-ზე მეტი
ვარსკვლავისათვის, რომელიც **პტოლემემ** შეუნახა მომავალ
თაობებს. მან რუკაზე დაფიქსირებული ვარსკვლავების რაო-
დენობა 1000-დე გაზარდა. საუკუნეების შემდეგ **გალილეიც**
სწავლობდა ვარსკვლავების განლაგებას ცის კაბადონზე. 1718
წელს მან აღმოაჩინა, რომ 3 ვარსკვლავი გადადგილდა იმასთან
შედარებით, რომლებიც დაფიქსირებული იყო ძველბერძნების
მიერ. შემდეგ ასტრონომების მიერ საბოლოოდ დაფიქსირებულ
იქნა, რომ ვარსკვლავები არ არიან ცის თალზე მუდმივად
დაფიქსირებულნი და განიცდიან მოძრაობას, რომლის შემ-

ჩნევა ძალიან ძნელია პლანეტების მოძრაობასთან შედარებით. ამიტომ მათი გადაადგილების განსაზღვრა შესაძლებელი გახდა მხოლოდ ასეული წლების დაკვირვების შედეგად.

ვარსკვლავების მოძრაობის ფაქტით ძლიერი დარტყმა განიცადა მყარი ცის არსებობის ჰიპოთეზამ, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ არავითარი „ცის თალი“ არ არსებობს [62;43].

XVIII საუკუნისთვის სავსებით ცხადი გახდა, რომ არ არსებობს არც მყარი ცა და არც ვარსკვლავების თხელი ფენა. პირიქით, ვარსკვლავები ძან დიდი მანძილებითაა გაფანტული უკიდევანო სივრცეში [62;45].

მაგრამ XIX საუკუნის დასასრულამდე ასტრონომებისათვის შეუძლებელი იყო პარალაქსის განსაზღვრა არა მარტო შორს მყოფი ვარსკვლავებისათვის, არამედ უახლოესი ვარსკვლავებისათვისაც კი, რაც გამონვეული იყო იმით, რომ ვარსკვლავები ძალიან დიდი მანძილებითაა დაშორებული მზის სისტემიდან.

ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ თუ მზე ჩვენგან დაშორებული იქნება ათეული ტრილიონი კილომეტრით, ის მოგვეჩვენება უმცირეს მნათობ ნერტილად, ჩვეულებრივი ვარსკვლავის სახით, და პირიქით – ნებისმიერი ვარსკვლავი, თუ ის იმავე მანძილით იქნებოდა ჩვენგან დაშორებული, როგორც მზე, მოგვეჩვენებოდა მზის მსგავს მანათობელ სხეულად. ამიტომ მზე უნდა მივიჩნიოთ ვარსკვლავად, რომელიც მხოლოდ იმით განსხვავდება სხვა ვარსკვლავებისაგან, რომ ის ჩვენგან დაშორებულია მხოლოდ ასეული მოლიონი და არა ტრილიონი კილომეტრით. ასტრონომების მიერ დადგენილ იქნა, რომ ვარსკვლავებამდე მანძილი სჯობია გაიზომოს არა ტრილიონი კილომეტრებით, არამედ სინათლის წლით (ს.წ.), ანუ იმ მანძილით, რომელსაც სინათლე გაივლის 1 წლის განმავლობაში, რომელიც $9,4410^{12}$ კმ-ს ტოლია. დამრგვალების შემდეგ, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $1\text{ს.წ.} = 10^{13}$ კმ-ს ტოლია. უახლოესი ვარსკვლავი – სირიუსი ჩვენგან დაშორებულია 1710^{12} კმ-თ, ანუ 1,7 სინათლის წლით. მზე დედამიწიდან დაშორებული 8 სინათლის წუთით. XVIII საუკუნის ბოლომდე ასტრონომებისათვის მზე რჩებოდა სამყაროს უძრავ ცენტრად. ვარსკვლავთა გალაქტიკური სისტემის აღმოჩენით საბოლოოდ

დამტკიცდა, რომ მზე წარმოადგენს რიგით ვარსკლავს სხვა მის მაგვარ ვარსკლავებს შორის.

ამასთან დადგინდა, რომ ვარსკლავები მზის გარშემო კი არა, არამედ უწესრიგოდ მოძრაობენ. ეს კი იმას მოასწავებს, რომ მზეც უნდა მოძრაობდეს. ასტრომებმა მოინადინეს მზის მოძრაობის მიმართულებისა და სიჩქარის განსაზღვრა.

სხვა ვარსკლავების საკუთარი მოძრაობის გათვალისწინებით, ასტრონომების მიერ დადგენილ იქნა, რომ მზე, უახლოესი ვარსკლავების მიმართ, მოძრაობს წერტილისკენ, რომელიც მდებარეობს ლირის თანავარსკლავედში, 20კმ/წმ სიჩქარით [62;68].

ასტრონომებს ვარსკლავების ევოლუციის პრობლემების შესწავლამ უჩვენა, რომ მზის არსებობის ხანგრძლივობა 5 მილიარდი წლის ტოლია. მაგრამ უნდა დაფუძვან, რომ მზის ენერგია ასეობდა მარადიულად, რაც იმას ნიშნავს, რომ სამყაროს სუბსტანცია (მასალა) მარადიულია და თვით სამყაროც მარადიულია.

მაგრამ მეორე საკითხია, სამყაროს სუბსტანცია ყოველთვის იყო თუ არა იმ სახით, რა სახითაც ამჟამად ვაკვირდებით, ან ამ სამყაროს ჰქონდა თუ არა რეალური დასაწყისი და ექნება თუ არა რეალური ბოლო.

6. გალაქტიკების შესახებ

გალაქტიკა. უხსოვარი წარსულიდან ცნობილია, რომ განათებული დასახლებიდან დაშორებული ადგილიდან უმთვარო ღამის ცაზე ჩანს მცირედ განათებული ღრუბლის სახის ზოლი, რომელიც ცნობილია „ირმის ნახტომის“ სახელწოდებით. თუმცა, როცა 1610 წელს გალილემ თავისი ტელესკოპი მიმართა ირმის ნახტომის მხარეს, აღმოაჩინა, რომ ის მანათობელი ღრუბელი კი არა, არამედ ძალიან მცირე ნათების მქონე ვარსკლავების უშველებელი ერთობაა.

აღმოჩნდა, რომ ხილული ვარსკლავები, რომლებიც მოფენილია მთელ ღამის ცაზე, სინამდვილეში, ერთ ჯგუფში არიან გაერთიანებული, რომელსაც ირმის ნახტომი ჰქვია. ირმის

ნახტომის მიმართულებით ძლიერად მოკაშკაშე ვარსკვლავებიც უფრო მეტია ვიდრე ცის თალის სხვა ნებისმიერ ნაწილში.



ნახ. 2.2 სპირალური გალაქტიკა

1784 წელს ინგლისელმა ასტრონომმა **ვილიამ გერშელმა** (1738-1822) დაიწყო ვარსკვლავების განაწილების შესწავლა. მან დაადგინა, რომ ვარსკვლავები ირმის ნახტომის არეში ქმნიან სასრულო სისტემას – ე. წ. გალაქტიკას, რომელსაც გააჩნია გარკვეული ფორმა. მან მოიწადინა ამ სისტემის ზომების განსაზღვრა. იგი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ გალაქტიკას გააჩნია ლინზის ფორმა, რომლის დიამეტრი 8000 ს.წ. -ს ტოლია, ხოლო მცირე დიამეტრი – 1500 ს.წ. -სა. ამასთან მზე იმყოფება გალაქტიკა ირმის ნახტომის ცენტრის მახლობლად. შემდგომში ასტრონომებმა უფრო დააზუსტეს ირმის ნახტომის ზომები 1920 წლისათვის ცნობილი გახდა,

რომ მისი დიდი დიამეტრის ზომა 55000 ს.წ.-ს, ხოლო მცირე დიამეტრი 11000 ს.წ.-ს ტოლია [62;64].

ასტრონომები დაინტერესდნენ გალაქტიკებამდე მანძილის განსაზღვრის საკითხით. ამ მიზნით მათ შეიმუშავეს გალაქტიკამდე მანძილის განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი.

1924 წელს ამერიკელმა ასტრონომმა **ედუინ ჰაბლიმ** (1889-1953) დაადგინა, რომ სამყაროში ჩვენი გალაქტიკის გარდა არსებობენ ბევრი სხვა გალაქტიკებიც, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებულნი არიან უზარმაზარი ცარიელი სივრცეებით. ჰაბლიმ დაადგინა, რომ ჩვენი გალაქტიკა ერთ-ერთია რამდენიმე მილიარდ გალაქტიკას შორის. თითოეული გალაქტიკა შეიცავს რამდენიმე მილიარდ ვარსკვლას. ხოლო მისი ცენტრი წარმოადგენს ე.წ. შავ ხვრელს.

ჩვენ ვცხოვრობთ გალაქტიკაში, სახელწოდებით ირმის ნახტომი, რომლის სიგანე დაახლოებით ასი ათასი სინათლის წელიწადია და იგი წელა ბრუნავს. ვარსკვლევები მის სპირალურ მკლავებში გალაქტიკის ცენტრის გარშემო შემონერენ ერთ წრეს რამდენიმე ასეული მილიონი წლის განმავლობაში. ჩვენი მზე ჩვეულებრივი, საშუალო ზომის ყვითელი ვარსკვლავია, მოთავსებული ერთ-ერთი სპირალური მკლავის შიდა კიდეზე [61;43].

ერთ-ერთი ტიპიური სპირალური გალაქტიკის სურათი გამოსახულია ნახ. 2.2-ზე.

1930 წლისთვის საბოლოოდ განსაზღვრულ იქნა გალაქტიკა ირმის ნახტომის ზომები. იგი წარმოადგენს ლინზისმაგვარ ობიექტს 80000 ს.წ.-თ. ხოლო ჩვენი მზის სისტემა დხლოებით 2700 ს.წ.-თაა დაშორებული მისი ცენტრიდან [62;96].

7. ჰაბლის კანონი

დაშორებადი გალაქტიკები. იმის დასადგენად თუ რა ემართება სამყაროს, ასტრონომები აკვირდებოდნენ შორეული გალაქტიკების მოძრაობას. შორეული ობიექტების მოძრაობის სიჩქარის დასადგენად ასტრონომები იყენებენ ე.წ. დოპლერის ეფექტს, რომელიც შემდეგში მდომარეობას: მათი ობიექტის გამოსხივების სპექტრის ტალღის სიგრძე, მისი დაშორების

შემთხვევაში, წინაცვლებს სინათლის იმფრანითელი ფერის შესაბამისი სიხშირისაკენ (მცირდება), ხოლა მოახლოების შემთხვევაში – ულტრაიისფერისაკენ (იზრდება).

ამ წინაცვლების სიდიდე Z გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$Z = (\lambda_{\text{დაკ}} - \lambda_{\text{გამ}}) / \lambda_{\text{გამ}} = v / c$$

სადაც v არის მნათი ობიექტის სიჩქარე, $\lambda_{\text{გამ}}$ გამოსხივებული ტალღის სიგძეა, ხოლო $\lambda_{\text{დაკ}}$ – დაკვირვებული ტალღის სიგრძე. ჯერ კიდევ 1912 წელს ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ ნისლეული ანდრომედა გვიახლოვდება სიჩქარით 200კმ/წ, რაც იმას ნიშნავს, რომ გალაქტიკები მოძრაობენ დიდი სიჩქარით.

დოპლერის ეფექტის მეშვეობით 1914 წელს პირველად გაზომილ იქნა გალაქტიკა ანდრომედას სიჩქარე. აღმოჩნდა, რომ ანდრომედა გვიახლოვდება 300კმ/წმ სიჩქარით.

1917 წლის ასტრონომების მიერ გაზომილ იქნა 15 სპირალური ფორმის ნისლეულს მოძრაობის სიჩქარე. ალბათობის თეორიის მიხედვით მოსალოდნელი იყო, რომ იმათგან ნახევარი უნდა გვიახლვდებოდეს, ხოლო მეორე ნახევარი – გვეშორდებოდეს. ამის მაგივრად აღმოჩნდა, რომ გვიახლვდება მხოლოდ 2, ხოლო 13 – გვეშორდება. ამასთნ აღმოჩნდა, ახლად დაფიქსირებული სპირალური ნისლეული სულ უფრო დიდი სიჩქარით გვეშორდებიან.

1925 წლისათვის გაზომილი იყო 41 გალაქტიკის სიჩქარე. აღმოჩნდა, რომ 41-დამ 36 გალაქტიკა შორდება ჩვენ გალაქტიკას. ამ საკითხით განსაკუთრებით დაინტერესდა **ჰაბლი**. იგი დაინტერესებული იყო გალაქტიკების აღმოჩენითა და შესწავლით. გალაქტიკების აღმოჩენის შემდეგ, ჰაბლმა მომდევნო წლები მიუძღვნა გალაქტიკებამდე მანძილებისა და მათი სპექტრების კატალო-გის შედგენას. ის სხვადასხვა მეთოდებით პედანტურად აზუსტებდა მანძილს სხვადასხვა გალაქტიკებამდე.

ამ დროს ასტრონომთა უმეტესობას ეგონა, რომ გალაქტიკები სამყაროში უნესრიგოდ მოძრაობენ, ამიტომ გალაქ-

ტიკების სპექტრების შესწავლის შედეგად ელოდნენ, რომ იისფერწანაცვლებიანი გალაქტიკების რაოდენობა დაემთხვეოდა წითელწანაცვლებიანი გალაქტიკების რაოდენობას. სინამდვილეში აღმოჩნდა, რომ გალაქტიკების უმეტესობას წითელი წანაცვლება ახასიათებს, ანუ თითქმის ყველა გალაქტიკა გაგვირბის. უფრო საკვირველი ის იყო, რაც ჰამლმა 1929 წელს დაადგინა, რომ თურმე რაც უფრო შორს არის გალაქტიკა, მით უფრო დიდი სიჩქარით გარბის ის ჩვენგან. რაც იმას ნიშნავს, რომ სამყარო ფართოვდება [61;45].

ამრიგად, ჰაბლის კანონის მიხედვით, გალაქტიკების ჩვენგან დაშორების სიჩქარეები პროპორციულია მათი ჩვენგან დაშორების მანძილისა:

$$v_0 = H_0 r_0$$

სადაც პროპორციულობის კოეფიციენტს H_0 -ს ეწოდება ჰაბლის მუდმივა.

სხდასხვა გაზომვები გვიჩვენებენ, რომ $H_0=77$ კმ/წ მგპკ.

1 მგპკ = 10^6 პსკ = 310^{24} მ. ჰაბლის მიერ მიღებული შედეგი ნიშნავს სამყაროს გაფართოების კანონის ექსპერიმენტულ დასაბუთებას.

ჰაბლის კანონის უცნაურობა მდგომარეობს შემდეგში: „რატომ მაინც და მაინც ჩვენგან?“ რა აიძულებს გალაქტიკებს დაგვშორდეს და საიდან „იცის“ გალაქტიკამ რა მანძილითაა ჩვენგან დაშორებული, რომ სათანადოდ არჩიოს თავისი სიჩქარე? [62;223].

ამ კითხვაზე პასუხი გასცა ალ. აინშტაინის ახალმა შეხედულებამ სამყაროზე, რომელსაც მოიცავს მის მიერ 1915 წელს გამოქვეყნებული ფარდობითობის ზოგადი თეორია. აინშტაინმა შეიმუშავა გრავიტაციული ველის განტოლებები, რომლებიც აღწერენ სამყაროს საერთო თვისებებს. ამ დროს ის ეყრდნობოდა იმ დაშვებას, რომ სამყაროში ნივთიერება განაწილ-ლებულია თანაბრად და სამყაროს თვისობრიობა ყველგან ერთნაირია. მიჩნეულია, რომ აბსოლუტურ სიცარიელის გადამ-კვეთი სინათლის სხივი მოძრაობს სწორხაზივნად და მუდმივი სიჩქარით. ასეთი სივრცე

აღინერება ევკლიდის გეომეტრიით. მას ეწოდება „ბრტყელი“ სამყარო, რომელშიც ნებისმიერ 2 წერტილს შორის უმოკლესი მანძილი სწორი ხაზის მონაკვეთია. ხოლი ნებისმიერი სამკუთხედის შიდა კუთხეების ჯამი 180° -ს ტოლია.

ისმის კითხვა ჩვენი სამყარო მართლა ევკლიდურია თუ გვეჩვენება? სინამდვილეში სინათლის სხივი გადაადგილებისას მოძრაობს უშველებელი წრენირის გასწვრივ, სფერულ ზედაპირზე. ასეთ სამყაროს სფერული ეწოდება, რომელიც რიმანის გეომეტრიით აღინერება. რიმანისეული სამყარო შემოსაზღვრულია, მაგრამ არ გააჩნია საზღვარი [62;227].

აინშტაინმა დაუშვა, რომ სამყარო აღინერება რიმანის გეომეტრიით. მისი ფზთ-ს სისწორე დადასტურდა მრავალი ცდით. აინშტაინმა დაუშვა, რომ სამყარო სტატიკურია, ანუ მისი სიმრუდის რადიუსი დროის მიხედვით მუდმივია. ამიტომ მან თავის განტოლებაში შეიტანა დამატებითი წევრი, რომელიც უზრუნველყოფდა განტოლების ამოხსნის სტატიკურობას.

8. ოლბერტსის პარადოქსი

ბუნებრივად დაისვა შემდეგი აუცილებელი კითხვა: სად თავდება ვარსკლავები? რამდენად შორსაა ჩვენგან ყველაზე მეტად დაშორებული ვარსკლავი? თუ საქმე გვაქვს უსასრულობასთან – ცნებასთან რომელიც უხსოვარი დროიდან აფორიაქებდა სწავლულებს.

თუ ჩვენ შემოვიფარგლებით სამყაროს მხოლოდ იმ ნაწილით, რომლის დაკვირვება შესაძლებელია შეუიარაღებელი თვალით, მაშინ ასეთი სამყარო შემოსაზღვრული იქნება. ამჟამად ცნობილია, რომ ვარსკლავებს შორის მანძილი საშუალოდ დახლოებით 3 პარსეკის ტოლია. ცნობილია აგრეთვე, რომ შეუიარაღებელი თვალით ჩანს დაახლოებით 6000 ვარსკლავი. თუ ჩავთლით, რომ ვარსკლავებს შორის მანძილი 3 პარსეკის ტოლია. მაშინ 6000 ვარსკლავი მოთავსდება 330 ს.წ. დიამეტრის მქონე სფეროში.

უსასრულო სამყაროს არსებობის შეუძლებლობის თეორიული დასაბუთება 1826 წელს ჩამოაყალიბა გერმანელმა

ასტრონომმა **გენრის ოლბერტსმა**, რომელიც ცნობილია ოლბერტის პარადოქსის სახეწოდებით. თუ დაუშვებთ, რომ სამყარო უსასრულოა, ვარსკლავების რაოდენობაც უსასრულოა, სამყაროში თანაბრად განაწილებული და ყველა ვარსკლავს გააჩნია საშუალოდ ერთნაირი ნათება, მაშინ ოლბერტის გამოთვლით, მთელი ცა განათებული უნდა იყოს – როგორც ერთი გიგანტური მზის ზედაპირი. სინმდვილეში კი ცხადია, რომ ეს ასე არაა. რაც იმას ნიშნავს, რომ ოლბერტის საწყისი პირობები არ შეესაბამება სინამდვილეს. ან სამყარო, ან ვარსკლავების რიცხვი არ არის უსასრულო. ამიტომ უნდა დაუშვათ, რომ საქმე გვსაქვს სასრულო სამყაროსთან, ან ვარსკლავების სასრულო რაოდენობასთან, რაც კარგად შეესაბამება ასტრონომიულ დაკვირვებებს.

ოლბერტის წინადადებით თითქოს შეიძლება ამ პარადოქსის ახსნა ვარსკლავებს შორის მტვრის ნაწილაკების არსებობით, და მათ მიერ შორეული ვარსკლავებიდან წამოსული სინათლის სხივის შთანთქმით. თუმცა ამ მოვლენით არ შეიძლება ამ პარადოქსის ახსნა, რადგანაც უსასრულო დროის მტვერი, შთანთქმული სინათლის ენერგიით, იმდენად გაცხელდება, რომ თვითონ გამოასხივებს იმდენივე სინათლეს რასაც შთანთქავს, რის გამოც ჩვენამდე მოღწეული სინათლის ნაკადი იგივე დარჩება.

დაკვირვებადი სამყარო. როცა ასტრონომებმა აღმოაჩინეს, რომ არსებობენ გალაქტიკები, რომლებიც დაშორებულია ათასობით სინათლის წლით, ისევ დადგა საკითხი სამყაროს საზღვრის არსებობის შესახებ.

მცირე, არამნათი ასტრონომიული სხეულები ჰქმნიან პლანეტარულ სისტემებს; ვარსკლავები გროვებიან გალაქტიკების სახით; გალაქტიკები ჯგუფებიან ადგილობრივი ჯგუფებისა და ზეჯგუფების სახით და ა. შ.

თუ სამყარო იქნებოდა სტატიკური, როგორც აინშტაინს თავიდან წარმოედგინა, მაშინ იგი მოიცავდა გალაქტიკების სასრულო რაოდენობას. ასეთი სამყაროსათვის ოლბერტის პარადოქსის ახსნა არ წარმოადგენს სიძნელეს [62;236].

მაგრამ, როგორც აღმოჩნდა, ჩვენ ვცხოვრობთ გაფართოებად სამყაროში, რომელშიც შეიძლება არსებობდეს გალაქტიკების უსასრულო რაოდენობა.

გაფართოებად სამყაროში თავს იჩენს ახალი ფაქტორი, რაც მდგომარეობს დაშორებადი გალაქტიკების ნითელ წანაცვლებაში. გაფართოებად სამყაროში, გალაქტიკების მოძრაობის გამო, მათი ნათება „ბერდება“ და სუსტდება. და რაც უფრო შორსაა ჩვენგან გალაქტიკა, მით უფრო ძლიერია ნითელი წანაცვლება და მით უფრო ნაკლებია ჩვენამდე მოღწეული სინათლის ენერგია [62;237].

რაც იმას ნიშნავს, სამყაროდან ჩვენამდე აღწევს სასრულო და არც ძალიან დიდი ენერგია, მაშინაც კი, როცა გალაქტიკების რიცხვი სამყაროში უსასრულოა. ამრიგად გაფართოებადი სამყაროს შემთხვევაში ოლბერსის პარადოქსი აღარ ეწინააღმდეგება სამყაროში გალაქტიკების უსასრულო რაოდენობით არსებობას. ადვილად მტკიცდება, რომ აინშტაინ-რიმანის სამყაროში, მიუხედავად მისი გაფართოებისა, ახსნადია ოლბერსის პარადოქსი [62;238].

9. სამყაროს ჰორიზონტი

გაფართოებადი სამყაროს შემთხვევაში ჩნდება ახალი კითხვა: თუ გავითვალისწინებთ ნითელ წანაცვლებას და სამყაროს გაფართოებას, მაშინ ჩვენს მიერ სამყაროს რა ნაწილის დაკვირვებაა შესაძლებელი? ანუ, ისმის კითხვა, შესაძლებელია თუ არა, რომ ადამიან-დამკვირვებელი, დაკვირვების ხელსაწყოების სულ უფრო და უფრო გაუმჯობესებით, დააკვირდეს სულ უფრო და უფრო შორეულ გალაქტიკებს? თუ შორეული მნათობების გამოსხივება ნითელი წანაცვლების გამო იმდენად შემცირდება, რომ ყველაზე გაუმჯობესებული დიდი სიმძლავრის მქნე ხელსაწყოც კი ვეღარ დააფიქსირებს მას?

ასეთ შემთხვევაში უნდა არსებობდეს რაღაც გარე საზღვარი, რომლის იქით შეუძლებელი იქნება დამკვირვებ-

ლისათვის გარეთ გახედვა. ეს საზღვარი მოიცავს სამყაროს იმ ნაწილს, რომელსაც დაკვირვებადი სამყარო შეიძლება ვუწოდოთ. ამ საზღვრის ზომის დასადგენად შეიძლება გამოვიყენო ჰაბლის კანონი:

$$\hat{v} = Hr$$

სადაც \hat{v} გალაქტიკის დაშორების სიჩქარეა, H ჰაბლის მუდმივაა, ხოლო r მანძილია გალაქტიკამდე. ამჟამინდელი მონაცემებით $H=77$ (კმ/წმ)/მგპს. სადაც მ.პს. = $3.1 \cdot 10^{24}$ სმ

აინშტაინის სპეციალური ფარდობითობის თეორიის მიხედვით, შეუძლებელია ნებისმიერი ნაწილაკის მოძრაობა სინათლის სიჩქარზე მეტი სიჩქარით. რაც იმას ნიშნავს, რომ c სიჩქარით მოძრავი გალაქტიკიდან ვერც ერთი ნაწილაკი დამკვირვებლამდე ვერ მიაღწევს. შესაბამისად ეს მანძილი, რომელიც შეიძლება მივიჩნიოთ დაკვირვებადი სამყაროს ჰორიზონტად, შემდეგნაირად გამოითვლება:

$$R_3 = v/H = c/H = 3 \cdot 10^5 \text{ კმ/წმ} / (77 \text{ კმ/წმ}) \text{ მგპს} = 1,2 \cdot 10^{28} \text{ სმ.}$$

სამყაროს შავ ხვრელად წარმოდგენის შემთხვევაში მისი ჰორიზონტის რადიუსი შეიძლება გამოვითვალოთ სამყაროს ... სიმკვრივის გამოყენებით, შემდეგი ფორმულით:

საშუალებით:

$$R_3 = [3/(8G \dots \pi)]^{1/2} c$$

სადაც $G=6,7 \cdot 10^{-8}$ სმ³/გრ წმ² გრავიტაციული მუდმივაა, ... = 10^{-29} გრ/სმ³ – სამყაროს ამჟამინდელი სიმკვრივეა, ხოლო სიჩქარე $c = 3 \cdot 10^{10}$ მ/წმ. შესაბამისად:

$$R_3 = [3/(8 \cdot 3.14 \cdot 10^{-29} \cdot 6,7 \cdot 10^{-8})]^{1/2} \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ წმ} = 1.27 \cdot 10^{28} \text{ სმ.}$$

ამრიგად 2 სხვა და სხვა მეთოდით გამოთვლილი დაკვირვებადი სამყაროს ჰორიზონტის რადიუსი ერთმანეთთან კარგ შესაბამისობაშია და საშუალოდ $R_3 \approx 1,25 \cdot 10^{28}$ სმ -ს ტოლია.

თავი 2 გაფართოვებადი სამყაროს მოდელი

1. ცარიელი სამყარო

ცარიელი სამყარო ნიშნავს ისეთი სამყაროს განხილვას საიდანაც სავსებით ამოღებულია ნივთიერება. აღმოჩნდა, რომ ასეთი სამყაროს განხილვას აზრი აქვს, რადგანაც იყო ისეთი პერიოდი, როცა ჩვენი სამყარო სავსებით დაცლილი იყო ნივთიერებისაგან.

ცარიელი სამყაროს მოდელი პირველად განხილულ იქნა ჰოლანდიელი ასტრონომის **დე სიტერის** (1872-1934) მიერ, რომელმაც ერთ-ერთმა პირველმა აღიარა ფზთ. მან აინშტაინის გრავიტაციული ველის განტოლებების საუძველზე წამოაყენა გაფართოებადი სამყაროს მოდელი.

მან აჩვენა, რომ ცარიელ სივრცეში მოთავსებლ 2 ისეთ მასის მქონე ობიექტს შორის, როცა შესაძლებელია მათი გრავიტაციული ურთიერთქმედების უგულაბელყოფა, მოქმედებს მხოლოდ განზიდვი, Λ სიდიდით გამონვეული, უარყოფითი გრავიტაციული ძალა.

ამ შემთხვევაში ცარიელ სივრცეში არსებული ობიექტები (მაგ. 2 ურთიერთდამორებული გალაქტიკა) ერთმანეთს შორდებიან ძაან დიდი სიჩქარით, ხოლო მანძილი მათ შორის t დროის მიხედვით იზრდება ექსპონენციალური კანონით: [100;24]

$$R = R_0 e^{\sqrt{\Lambda/3} ct} \quad (1)$$

ამრიგად 1917 წელს დე სიტერმა თეორიულად აღმოაჩინა, რომ თუ სამყაროში უგულაბელყოფთ გრავიტაციულ ურთიერთქმედებას, მაშინ გალაქტიკები ერთმანეთს უნდა შორდებოდნენ ექსპონენციალური კანონით. ამაჟამად Λ წევრის მნიშვნელობა ძალიან მცირეა, რის გამოც დე სიტერის მოდელი გამოუსადეგარია. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ მას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება სამყაროს განვითარების საწყის სტადიაში [100;24]

დე სიტერის მოდელის მიხედვით ცარიელი სამყაროს სიმრუდის რადიუსი განუწყვეტლივ იზრდება. ასეთ სამყაროში

სინათლის სხივი წრენირზე კი არ მოძრაობს, არამედ განუწყვეტილად გაფართოებად სპირალზე [62;228].

დე სიტერის გაფართოებად სამყაროში არსებული ყველა ნერტილი ერთმანეთს შორდება. ასეთ სივრცეში ყოველი დამოუკიდებელი ნაწილაკი შორდება მეორე დამოუკიდებელ ნაწილაკს ისეთი სიჩქარით, რომელიც პროპორციულია ამ ორ ნაწილაკს შორის ასეპული მანძილისა[62;230].

ცხადია, რომ თუ სამყარო მართლაც ფართოვდება, მაშინ ყველა გალაქტიკა ერთმანეთს უნდა შორდებოდეს, ანუ სამყაროში არ უნდა მოიძებნებოდეს 2 გალაქტიკა, რომლებიც ერთმანეთს მიუახლოვდება. ეს აზრი შეესაბამება სინამდვილეს, მაგრამ არა სავსებით.

საქმე იმაშია, რომ დე სიტერის მოდელში არ არის გათვალისწინებული ნაწილაკების (სხეულების) ერთმანეთზე ურთიერთქმედება და მხოლოდ სამყაროს გაფართოებას ექვემდებარებიან [62;231].

ყველასთვის ცნობილია, რომ სამყაროში არსებობს ძალები, რომლებსაც შეუძლიათ იმოქმედონ გიგანტურ მანძილებზე თუ მასში არსებობს ნივთიერება. ესენია ელექტრომაგნიტური და გრავიტაციული ძალები. ელექტრომაგნიტური ძალები არსებობენ როგორც მიმზიდავი, ისე გამზიდავი სახით, ამიტომ დიდ მანძილებზე ისინი ერთმანეთს აწონასწორებენ. გრავიტაციული ძალები კი არსებობენ მხოლოდ მიმზიდავი სახით, რის გამოც დიდ მანძილებზე მხოლოდ ისინი მოქმედებენ. სამყაროში, მიუხედავად მისი გაფართოებისა, 2 ნებისმიერი ობიექტი ერთმანეთს მიიზიდავს გრავიტაციული ძალით. ეს ძალა მით მეტია, რაც უფრო ნაკლებია მათ შორის მანძილი. ამიტომ, გაფართოებად სამყაროში, მით მეტია იმის ალბათობა, რომ მათ იმოდრონ ერთმანეთის მიმართულებით, ვიდრე სანინალმდეგოდ[62;231].

სამყაროს გაფართოება ერთმანეთს არ აშორებს ციურ სხეულებს მზის სისტემაში, ვარსკლავებს გალაქტიკის შიგნით და გალაქტიკებს – გალაქტიკათა გროვის შიგნით. მისი მოქმედება არაა საკმარისი იმ გალაქტიკების ერთმა-

ნეთისაგან დასაშორებლად, რომლებიც იმდენად ახლოს იმყოფებიან ერთმანეთთან, რომ აღმოჩნდნენ საკმაოდ ძლიერად დაბმულები გრავიტაციული ძალით, რაც განაპირობებს გალაქტიკათა გროვების წარმოქმნას.

მაგალითად ჩვენი გალაქტიკა და გალაქტიკა ანდრომედა შეიძლება ჩაითვალოს 2 ათეულ გალაქტიკამდე შემცველი გალაქტიკათა ადგილობრივი ჯგუფის 2 გიგანტურ წევრად. ადგილობრივი ჯგუფის წევრი გალაქტიკების ურთიერთ-მოძრაობა ასახავს მიზიდულების ადგილობრივი ძალების მოქმედებას. ამიტომ, რომ გალაქტიკა ანდრომედა უახლოვდება ჩვენ გალაქტიკას. ამავე მიზეზითაა განპირობებული ასტრონომების მიერ აღმოჩენილი გალაქტიკათა ურთიერთდაჯახების ფაქტები. (რასაც ხშირად იმონმებს დიდი აფეთქების თეორიის მოწინამდეგე ზოგიერთი ფოზიკოსი).

დაიკვირვება გალაქტიკების ბევრი გროვა, რომელთაგან ზოგიერთი კოლოსალური სიდიდისაა [62;232].

ჰაბლის მიერ აღმოჩენილი კანონმა გალაქტიკების ჩვენგან დაშორების შესახებ დაადასტურა დე სიტერის წინასწარმეტყველება გაფართოებადი სამყაროს არსებობის შესახებ. გალაქტიკები ერთმანეთს შორდებიან არა იმიტომ, რომ თითოეული მათგანი ცალკე-ცალკე მოძრაობს, არამედ იმიტომ, რომ რომ მთელი სივრცე ფართოვდება. სწორედ ამ გაფართოების გამოა, რომ სიჩქარე, რომლითაც თითოეული გალაქტიკა გვეშორდება, პროპორციულია იმ მანძილისა რომლითაც ჩვენგანაა დაშორებული. ის შთაბეჭდილება, რომ ჩვენი გალაქტიკა სამყაროს ცენტრს წარმოადგენს, მხოლოდ იმითაა გამოწვეული, რომ ჩვენ ვიმყოფებით სამყაროს ამ წეტილში, როგორც დამკვირვებელი. (ამიტომ, რომ ყოველ ადამიანს თავისი თავი შეიძლება წარმოიდგინოს სამყაროს ცენტრად).

2. ფრიდმანის წინასწარმეტყველება

(1922-1924) წლებში რუსმა მათემატიკოსმა **ალექსანდრე ფრიდმანმა** დაუშვა, რომ ამჟამინდელი სამყაროსათვის გამზიდავი Λ წევრი ძალიან მცირეა და შეიძლება მისი უგუ-

ლაბელყოფა. მაშინ სამყაროს აინშტაინისეული მოძრაობის განტოლების ამონახსნის მიხედვით მოძრავი ობიექტის სიჩქარე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$v = \sqrt{2GM / R + A} \quad (1)$$

სადაც A მუდმივას შეიძლება ჰქონდეს ნებისმიერი მნიშვნელობა და დამოკიდებულია სანყის პირობებზე [100;25]

თუ დროის t მომენტში სფეროს რადიუსი იყო R_0 , ხოლო მისი ზედაპირი ფართოვდებოდა v_0 სიჩქარით მაშინ შეიძლება A მუდმივის რიცხვითი მნიშვნელობის გამოთვლა. თუ A -ს სიდიდე მეტია ან ტოლი ნულზე, მაშინ სფეროს რადიუსი განუწყვეთლივ გაიზრდება, ხოლო გაფართოების სიჩქარე თანდათან შემცირდება. თუ A -ს სიდიდე უარყოფითია, მაშინ სფეროს ზედაპირის სიჩქარე თანდათან შემცირდება ნულამდე, ხოლო შემდეგ ნიშანს შეიცვლის, რის გამოც სფეროს რადიუსი ჯერ გაიზრდება, ხოლო შემდეგ შემცირდება. მიღებული შედეგი გვიჩვენებს, ერთგვაროვან სამყაროში ნებისმიერი 2 ობიექტი (გალაქტიკა) ერთმანეთს შორსება სიჩქარით, რომელიც მათ შორის მანძილის პროპორციულია:

$$v = Hr \quad (2)$$

სადაც H პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე არ არის დამოკიდებული მანძილზე, მაგრამ იცვლება დროის მიხედვით. ამრიგად, ფრიდმანმა თეორიულად უჩვენა, რომ ერთგვაროვანი სამყაროს შემთხვევაში ნებისმიერი გალაქტიკა გვშორდება მანძილის პროპორციული სიჩქარით.

სამყაროს ნივთიერების სიმკვრივე ρ გამოითვლება ფორმულით:

$$\rho = 3M/4\pi r^3 \quad (3)$$

სანყის $t=0$ მომენტში, როცა სამყაროს რადიუსი $R=0$, სიმკვრივე უსასრულობის ტოლია, (ამ მომენტს სინგულარობას უწოდებენ), ხოლო შემდეგ იგი თანდათან მცირდება.

ამრიგად ფრიდმანის შრომების მიხედვით, სამყარო დროის რომელიმე საწყის მომენტში იმყოფებოდა უსასრული სიმკვრივის მდგომარეობაში, რომელმაც რატომღაც დაიწყო გა-

ფართობა. ეს იყო აფეთქებადი სამყაროს თეორიული აღმოჩენა.

იმის დასადგენად თუ რა ემართება სამყაროს, საჭიროა განისაზღვროს A მუდმივის რიცხვითი მნიშვნელობა, რაც შესაძლებელია მხოლოდ სამყაროზე დაკვირვების შედეგად.

ფორმულა (1)-სა და (2)-ს გამოყენებითა და (3)-ს გათვალისწინებით A მუდმივა შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით:

$$A = 8/3 \pi G r^2 [3 H_0^2 / 8\pi G - \rho_0] \quad (4)$$

სადაც ρ_0 არის სამყაროს საშუალო სიმკვრივის ამჟამინდელი მნიშვნელობა, ხოლო H_0 ჰაბლის მუდმივას ამჟამინდელი მნიშვნელობაა [100;34].

ჩვენთვის მთავარია A -ს ნიშნის განსაზღვრა. ამ კითხვაზე პასუხს იძლევა ფრჩხილებში მოთავსებული გამოსახულება. $(3H_0^2/8\pi G)$ გამოსახულებას კრიტიკული სიმკვრივე $\rho_{კრ}$ ეწოდება, ანუ:

$$\rho_{კრ} = 3 H_0^2 / 8\pi G \quad (5)$$

რომლის მნიშვნელობის გამოსათვლელად იყენებენ ჰაბლის მიდმივის დღევანდელ მნიშვნელობას: $H_0=77$ კმ/წმპკ. ამ სიღის გათვალისწინებით: $\rho_{კრ} = 10^{-29}$ გრ/სმ³.

ფორმულა (4)-დან გამონდინარეობს, რომ თუ $\rho_0 = \rho_{კრ}$, მაშინ $A = 0$; როცა $\rho_0 < \rho_{კრ}$, მაშინ $- A > 0$; ხოლო როცა $\rho_0 > \rho_{კრ}$, მაშინ $- A < 0$.

ამრიგად, სამყაროს მომავლის დასადგენად საჭიროა განისაზღვროს თუ რის ტოლია სამყაროს ამჟამინდელი საშუალო სიმკვრივე მასში არსებული მატერიის ყველა ფორმის გათვალისწინებით. საქმე იმაშია, რომ სამყაროში გრავიტაციას განაპირობებს ყველა ფორმის მატრია. ხოლო მასში (როგორც დაკვირვება გვიჩვენებს) შეიძლება არსებობდეს მატერიის უჩინარი, დაუმზერადი ფორმაც [100;35].

სულ რაღაც 40 წლის წინ ითვლებოდა, რომ სამყარო წარმოადგენს გალაქტიკების ერთობლიობისაგან შედგენილ

სისტემას. ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ თითქმის მთელი ნივთიერება თავმოყრილია ვარსკვლავებში. თითოეული გალაქტიკა შეიცავს 100-მილიარდამდე ვარსკვლავს, რომელთა საერთო მასა $1.5 \cdot 10^{11} M_{\oplus}$ მზის მასის ტოლია ($M_{\oplus} = 210^{23}$ გრ). ვარსკლათშორისი გაზისა და მტვრის მასა შეადგენს მის მხოლოდ 2%-ს. გალაქტიკები ჰქმნიან ჯგუფებს, რომელთა შორის მანძილი (100-300)მპკ-ის ტოლია. საერთოდ კი დიდ მასშტაბში გალაქტიკები და მათი გროვები განაწილებულნი არიან ერთგვაროვნად.

ასტრონომები გალაქტიკების მასის სიდიდეს ადგენენ მათ გარშემო მოძრავი ვარსკვლავების სიჩქარისა და გალაქტიკის ზომების მეშვეობით. ასტრონომების მიერ გალაქტიკების მიხედვით დათვლილი სამყაროს საშუალო სიმკვრივე:

$$\rho_{\text{გალ}} \approx 310^{-31} \text{ გრ/სმ}^3$$

რაც გაცილებით ნაკლებია კრიტიკულ სიმკვრივის მნიშვნელობაზე. ფარდობას $\rho/\rho_{\text{კრ}}$ აღინიშნება Ω (ომეგა) ასოთი:

$$\Omega_{\text{გალ}} \equiv \rho_{\text{გალ}}/\rho_{\text{კრ}} \approx 0,2.$$

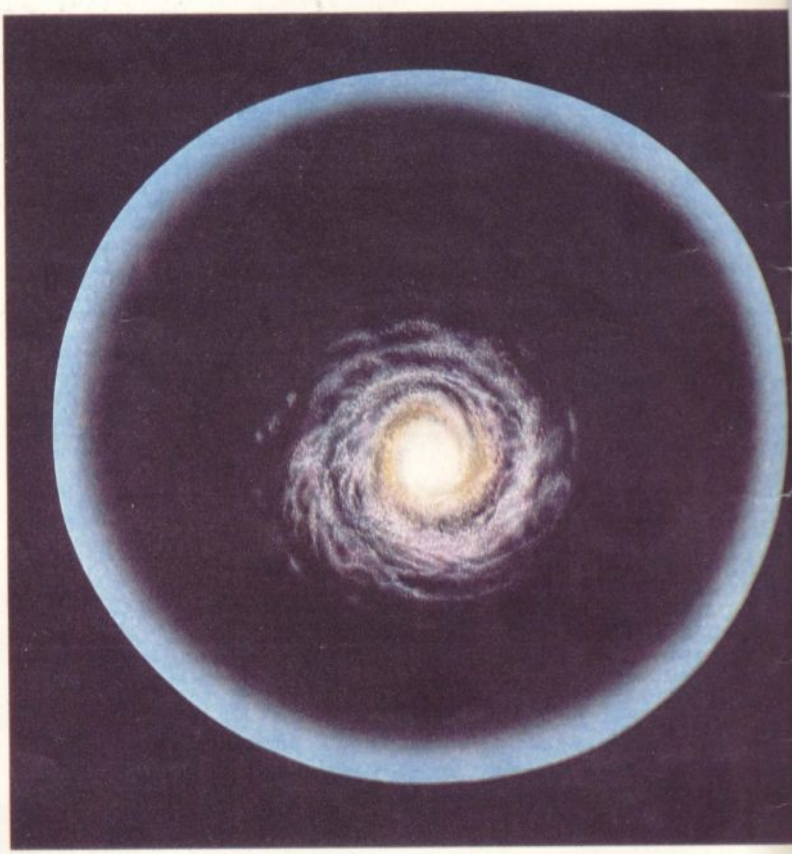
რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ სამყაროში არ არსებობს არავითარი სხვა მატერია, მაშინ $\rho_{\text{დაკ}} \approx \rho_{\text{გალ}} \ll \rho_{\text{კრ}}$, და სამყარო სწრაფად გაფართოვდება. მაგრამ ასტრონომები ფიქრობდნენ, რომ სამყაროში უნდა არსებობდეს **ფარული მასა**, გამონვეული მასში არსებული მატერიის უჩინარი ფორმის არსებობით.

ფარული მასა.

საიდან გაჩნდა ეჭვი სამყაროში ფარული მასის არსებობის შესახებ?

ამ მხრივ მნიშვნელოვანი დაკვირვებადი ფაქტები დაიყვანება შემდეგზე. რადიო ტალღებით დაიკვირვება ცალკეული გალაქტიკების თანამგზავრები, ან აერადი ღრუბლები. ისინი ხშირად მოძრაობენ შორს გალაქტიკების ხილვადი არიდან, სადაც თითქოს და არავითარი მატერია არ უნდა ასებობდეს. ამ ობიექტების სიჩქარეების მეშვეობით გამოთვლილი გალაქტიკების მასები გაცილებით მეტია გალაქ-

ტიკების იმ მასებთან შედარებით, რომლებიც გამოითვლება ხილული ვარსკვლავების მოძრაობის სიჩქარით.



ნახ. 2.3. ბნელი მატერია ხილული გალაქტიკის გარშემო

ეს იმას ნიშნავს, რომ გალაქტიკის დაკვირვებადი სხეულის გარშემო არსებობს უხილავი გვირგვინი, რომელიც მოიცავს უშველებელ მასას. ეს მასა არ ახდენს გავლენას ხილული ვარსკვლავების მოძრაობაზე, მაგრამ ისინი გავლენას ახდენენ კორონის პერიფერიებში მოძრავ ობიექტებზე. ასეთი უხილავი მატერიის ფორმა ალბათ უნდა არსებობდეს გალაქტიკათა

შორის სივრცეშიც. ამ უხილავი მასის გათვალისწინებით $\Omega_{\text{ფარ.მას}} \approx (0,2 - 0,7)$. ფარული მასის ფიზიკური აზრი ჯერ-ჯერობით გარკვეული არ არის [100;40].

სამყაროს ასაკი. როგორია იმ დროის შუალედი, რომელიც ჩვენ გვაცილებს იმ მომენტიდან როცა სამყაროს სიმკვრივე უსასრულობის ტოლი იყო? თუ ცნობილია H_0 -სა და A -ს რიცხვითი მნიშვნელობა მაშინ გამოვითვლით t_0 -ს მნიშვნელობაც, მაგრამ საკმარისი სიზუსტით არ ვიცით ρ_0 -ს ამჟამინდელი მნიშვნელობა. თუ დაუშვებთ, რომ სამყარო თანაბრად ფართოვდება, მაშინ $t_0 \approx R_0 / H_0$, და თუ გავითვალისწინებთ H_0 -ს რიცხვით მნიშვნელობას,

$$t_0 \approx 1,4 \cdot 10^{10} \text{ წელი.}$$

t_0 -ს ამ მნიშვნელობას ეწოდება სამყაროს ასაკი, რაც იმას ნიშნავს, რომ სამყარომ თავისი განვითარება დაიწყო დაახლოებით 14 მილიარდი წლის წინ [100;47].

3. ვაკუუმის დაკვანტვის შესახებ

სიცარიელე. ერთი შეხვედით სიცარიელე არაფერია. კლასიკური ფიზიკის თვალსაზრისით სიცარიელედ მიჩნეულია სამგანზომილებიანი სივრცე, საიდანაც ამოღებულია ყოველგვარი ნივთიერი ნაწილაკი და ველი.

მაგრამ კვანტური მექანიკის თვალსაზრისით, ჰაიზენბერგის პრინციპიდან გამომდინარე მცირე Δt დროში „არსაიდან“ წარმოიქმნება ΔE ენერგია. ეს ენერგია სივრცეში ბადებს ნაწილაკ-ანტინაწილაკების წყვილებს. ეს ნაწილაკები კი არ განიფანტებიან, არამედ Δt დროის შემდეგ ისინი ერწყმიან ერთმანეთს და ქრებიან. ისინი არსებობენ მხოლოდ მცირე დროით ნასესხები ენერგიის ხარჯზე. მათ ჩვეულებრივი ნაწილაკებისაგან განსხვავებით „ვირტუალური ნაწილაკები“ უწოდეს. ასეთ მოვლენას ადგილი აქვს ყოველგვარი ნაწილაკისათვის. რაც უფრო დიდი მასის მქონე ნაწილაკ-ანტინაწილაკები წარმოიქმნებიან, მით ნაკლებია მათი წარმოქმნის ალბათობა და არსებობის ხანგრძლივობა.

ასეთ პროცესს „ვაკუუმის დუღილი“ უწოდებს. სწორედ ეს „დუღილი“ რჩება ვაკუუმში, როცა მისგან ამოღებულია ყოველგვარი ნაწილაკები და ველები. ვაკუმს არავითარ შემხვევაში არ შეუძლია „დუღილისაგან“ თავის დაღწევა. წინააღმდეგ შემთხვევაში დაირღვევა კვანტური მექანიკის ერთ-ერთი ძირითადი პრინციპი – ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი. მდულარე ვაკუუმი არის მასში არსებული ველების უმცირესი ენერგეტიკული მდგომარეობა.

ვაკუუმის „დუღილი“ თავს ამჟღავნებს რეალურ პროცესებში. დიდი ენერგიის ელექტრომაგნიტური ველის კვანტებს შეუძლიათ იმოქმედონ ვირტუალურ ელექტრონ-პოზიტრონულ წყვილზე და არ მისცეს მათ ანიგილაციის საშუალება, გადასცეს მათ ენერგია, გაფანტოს და გარდაქმნას ისინი რეალურ ნაწილაკებად. ასეთი პროცესები რეალურად დაიკვირვება ვილსონისა და სხვა ბუშტოვანი კამერების მეშვეობით.

ისმის კითხვა ეს ხომ არ ნიშნავს ახალი სახის „ეთერის“ არსებობას. თითქოსდა ამ ახალი „ეთერის“ მიმართ მოძრაობისას ჩვენ უნდა ვიგრძნოთ ეთერის ქარის ნაკადი. მაგრამ ეხლა „ეთერი“ არ არის ჩვეულებრივი ეთერი. მასში ენერგიის სიმკვირვესთან ერთად წარმოიქმნება დაძაბულობა, რომელიც იწვევს უარყოფით წნევას სიდიდით $p = -\epsilon$. ამ არაჩვეულებრივი თვისებით მნიშვნელოვნად განსხვავდება ვაკუუმი ჩვეულებრივი გარემოსაგან. ამიტომ მასში მოძრავ დამკვირვებელზე მოქმედებს როგორც ϵ ენერგიით გამოწვეული ნაკადი, ისე უარყოფითი p წნევით გამოწვეული საწინააღმდეგო მიმართულების ნაკადი, რომელთა ერთდროული მოქმედება ერთმანეთს აკომპერისებს. რის შედეგადაც დამკვირვებელზე არავითარი ქარი არ მოქმედებს [100;71].

ამრიგად ვაკუუმი წარმოადგენს ურთულეს მდგომარეობას, როგორც მინიმუმ ყოველგვარი სახის „მდულარე“ ვირტუალური ნაწილაკებისა და ანტინაწილაკების ერთობას. თურმე შეიძლება არსებობდეს სრულიად სხვადასხვა სახის ვაკუუმი – სხვადასხვა სახის სიცარიელე [100;70].

აღმოჩნდა, რომ ჩვენ დღევანდელ სამყაროში ვაკუუმის ენერჯის სიმკვრივე ძალზე მცირეა და შეიძლება მართლაც ნულის ტოლად ჩაითვალოს. სამაგიეროდ არსებობს დამაჯერებელი თეორიული მოსაზრებები, რომლის თანახმად ადრინდელ ეპოქაში ვაკუუმის ენერჯის სიმკვრივე V ძალიან დიდი შეიძლება ყოფილიყო. შესაბამისად იარსებებს ვაკუუმის მასა სიმკვრივით $\dots = \epsilon/c^2$, რაც 1967 წელს მითითებულ იქნა ფიზკოს-თეორეტიკოს **ზელდოვიჩის** მიერ. ამრიგად ვაკუუმი ხასიათდება ენერჯით. ამიტომ მასში უნდა არსებობდეს სკალარული ველი, რომელსაც ჰიგსის ველი უწოდეს.

აღმოჩნდა რომ ვაკუუმი შეიძლება არსებობდეს სხადასხვა მდგომარეობაში:

ა. სამყაროს დაბადების სანყის $t = 10^{-44}$ წმ პლანკისეული მომენტისათვის სამყარო იმყოფებოდა ე.წ. ყალბი ვაკუუმის მდგომარეობაში. იმ დროს მას გააჩნდა პლანკისეული ზომა $r = 2 \times 10^{-33}$ სმ, პლანკისეული ტემპერატურა $T = 10^{19}$ გევ $\approx 10^{32} K^\circ$ და ენერჯის პლანკისეული სიმკვრივე $\dots_p = 10^{94}$ გ/სმ³. ვაკუუმის ასეთ მდგომარეობას უწოდებენ ყალბი ვაკუუმის მდგომარეობას. ამ ტემპერატურაზე სისტემა აღინერება ე. წ. სუპერსიმეტრიული **SUSY** თეორიით, რომლის მიხედვით არსებობს სუპერსიმეტრიული პარტნიორი ყოველი ცნობილი ნაწილაკისათვის.

სუპერსიმეტრია ერთ ოჯახად აერთიანებს 0, 1/2, 1, 3/2, და 2 სპინის მქონე ნაწილაკებს და მათ სუპერპარტნიორებს, რომელთა მასები 10^{19} გევ-ს რიგისაა.

სისტემაში მოქმედებს უარყოფითი წნევა $p = -\dots / c^2$, და განიცდის ექსპონენციალურ გაფართოებას. სისტემა თანდათან ცივდება.

ბ. 10^{19} გევ $> T_{\text{გ}} > 10^{14}$ გევ $= 10^{27} K^\circ$ ტემპერატურაზე ადგილი აქვს დიდი გაერთიანების სიმეტრიას. ამ პირობებში ვაკუუმში არსებობს ჰიგსის ველი. ჰიგსის ველი ხასიათდება **SU(5)** სიმეტრიულობით – დიდი გაერთიანების სიმეტრიით. არსე-

ბობს ცალკეული თავისუფალი ნაწილაკების სახით და იმყოფება არასტაბილურ მდგომარეობაში. იბადებიან ჰიგსის ველის X და Y ბოზონები. ჰიგსის ველის ყველა ნაწილაკს X და Y ბოზონების ჩათვლით არ გააჩნიათ უძრაობის მასა.

გ. $10^2 < T < 10^{14}$ გევ ტემპერატურაზე ჰიგსის ველები, როგორც ამბობენ, განიცდიან ფაზურ გადასვლას და კონდენსირდებიან. ამ დროს ადგილი აქვს სიმეტრიის სპონტანურ დარღვევას, რის შედეგადაც ჰიგსის ველი გადადის ახალ – უმცირეს ენერგეტიკულ მდგომარეობაში. მიიღება ჰიგსის ველის კონდენსატი, რომელიც არსებობს სივრცის ყოველ ნერტილში და დროის ნებისმიერ მომენტში. ფიზიკოსები მას „ახალ ვაკუუმს“ უწოდებენ [100;75].

ამ პირობებში ირღვევა $SU(5)$ სიმეტრი და იცვლება უფრო ნაკლები $SU(3) \times SU(2) \times SU(1)$ სიმეტრიით. წყდება X და Y ბოზონების დაბადება. მოქმედებს ელექრო-სუსტი ურთიერთქმედების სიმეტრია იბადებიან W და Z ბოზონები. ყველა ნაწილაკს, X და Y ბოზონების გარდა, არ გააჩნიათ უძრაობის მასა.

თუმცა ვაკუუმი ამ მდგომარეობაში არასიმეტრიულია.

დ. $T < 10^2$ გევ $\approx 10^{15} K^\circ$ ადგილი აქვს ვაკუუმის მდგომარეობის ახალ ფაზურ გადასვლას. ირღვევა ელექროსუსტი ურთიერთქმედების სიმეტრია. წყდება W და Z ბოზონების დაბადება. ამ ტემპერატურაზე ყველა ნაწილაკს გააჩნია უძრაობის მასა.

ე. $T_s = 0,5$ მეგ $= 10^9 K^\circ$ ტემპერატურაზე წარმოიქმნება დეითერიუმისა და ჰელიუმის ბირთვები. წყდება ელექტრონ-პოზიტრონული წყვილების დაბადება.

ვ. $T_s = 0,5$ გევ $= 10^3 K^\circ$ წყალბადის ატომების წარმოქმნის ტემპერატურა. ელექტრონებისა და პროტონების ურთიერთქმედებით წარმოიქმნებიან წყალბადისა და ჰელიუმის ატომები. აქედან დაწყებული ელექტრომაგნიტური გამოსხივება გამოეყო დანარჩენ სამყაროს და მოხდა სამყაროს გასხივოსნება.

ამჟამად ის წარმოგვიდგება რელიქტიური გამოსხივების სახით საშუალო ტემპერატურით $T = 3,5K^{\circ}$.

ოთხივე ურთიერთქმედების ძალა მოქმედებს ურთიერთ-დამოუკიდებლად სხვადასხვა, თავისთვის დამახასიათებელი ინტენსიობით. სწორედ ეს მგომარეობაა ამჟამინდელი – **ჭეშმარიტი ვაკუუმის** მდგომარეობა.

4. პირველი ბიძგი

შევეცადოთ ავხსნათ, სამყაროს საწყისი მდგომარეობის გამოცანა:

ჩვენ მიხვედრილი ვართ თუ როგორ დაიწყო სამყარომ გაფართოება. ამისთვის გავიხსენოთ შემდეგი 3 ფაქტი.

1. აინშტაინის დაშვება იმის შესახებ, რომ სამყაროში შეიძლება არსებობდნენ გრავიტაციული ჰიპოთეზური გამზიდავი ძალები, რომლებიც განტოლებაში აღინერებიან კოსმოლოგიური მუდმივით Λ .

2. სამყაროს დე სიტერის მოდელი, რომელიც გვიჩვენებს, რომ ცარიელ სივრცეში Λ კოსმიური მუდმივა იწვევს ნებისმიერი მატერიალური სხეულების აჩქარებულ გაბნევას.

3. არსებობდეს სხვადასხვა ვაკუუმი, რომელიც შეიძლება ფლობდეს ენერგიას V სიმკვრივითა და უარყოფითი წნევით $p = -V$.

აღმოჩნდა, რომ ვაკუუმში არსებულმა უარყოფითმა წნევამ შეიძლება გამოიწვიოს სამყაროს აჩქარებული გაფართოება.

ფრიდმანის თეორიის მიხედვით M მასის სხეულის აჩქარება p უარყოფითი წნევის გათვალისწინების შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით.

$$a = \frac{8}{3} f G \dots R \quad (6)$$

ეს ფორმულა გვიჩვენებს, რომ ადგილი აქვს გარკვეულ განზიდვას, რომელიც სამყაროში არსებულ სხეულებს შორის R მანძილის პროპორციულია.

ვაკუუმის სიმკვრივე დამოკიდებული არაა დამკვირვებლის მოძრაობაზე. რაც იმას ნიშნავს, რომ ვაკუუმის ... სიმკვრივე მუდმივია და არ იცვლება სამყაროს გაფართოებისას [100;111].

თუ შემოვიტანთ აღნიშვნას:

$$\Lambda \equiv 8\pi G \dots / 2, \quad (7)$$

მაშინ ჩვენ ვღებულობთ დე სიტერის მოდელის შესაბამის აჩქარებას. რომლის მიხედვით თუ სამყაროში ძირითადად ბატონობენ ვაკუუმური გამზიდავი ძალები, მაშინ ყველა სხეული ერთმანეთს შორდება ისე, რომ მანძილი მათ შორის იზრდება დე სიტერის (1) ექსპონენციალური კანონით.

მაშინ როცა ვაკუუმის სიმკვრივე ...- გაცილებით მეტია ჩვეულებრივი მატერიის ... სიმკვრივეზე: ... >> ... , სამყაროში იწყება ანტიგრავიტაციული ძალების მოქმედება, რის გამოც სამყარო იწყებს სწრაფ გაფართოებას. სწორედ ეს საწყისი პირობა არის გაფართოებადი სამყაროს საწყისი ბიძგი.

ისმის კითხვა: როდის და რა პირობებში შეიძლება წარმოიქმნას ვაკუუმის ისეთი სიმკვრივე, რომ ის გაცილებით სჭარბობდეს ჩვეულებრივი მატერიის სიმკვრივეს. როგორ შეიძლება წარმოიქმნეს ასეთ განსაკუთრებული მდგომარეობა უშველებელი უარყოფითი წნევით? [100;112].

ასეთი მდგომარეობა შეიძლება წარმოიქმნას, როგორც ვაკუუმის ერთ-ერთი ნაირსახეობა. ვაკუუმი წარმოადგენს ფიზიკური ველების მდგომარეობას მინიმალური ენერგიით. ასეთი მდგომარეობა ვაკუუმში შეიძლება იყოს განსხვავებული იმის მიხედვით, თუ რა გზით წარმოიქმნა იგი. საინტერესოა განვიხილოთ მდგომარეობა, რომელიც წარმოიქმნება სამყაროს ძალიან მაღალი ენერგიის მდგომარეობიდან გაცივების შესაბამისად

არსებობს მოსაზრება, რომ სინგულარობის მახლობლად, სივრცე-დროის პლანკისეულ ზომებში, არსებობს სივრცე-დროითი კვანტების თავისებური „ქაფი“, ანუ სივრცე-დროის კვანტური ფლუქტუაციები. წარმოიქმებიან და ქრებიან უმცირესი ზომის „ვირტუალური“ ჩაკეტილი სამყაროები და ვირტუ-

ალური შავი და თეთრი ხვრელები. სივრცე-დროის ეს მიკროსკოპული „დულილი“ (ვაკუუმის „დულილის“ მეორე სახე) ანალოგურია ვირტუალური ნანილაკ-ანტინანილაკების წარმოშობისა ფიზიკურ ვაკუუმში (ვაკუუმის „დულილის“ პირველი სახე).

გავიხსენოთ, რომ ძალიან მცირე მანძილებზე დიდი ენერგიების დროს თეორეტიკოსების მიერ განიხილება 11-განზომილებიანი სივრცე. ამის გათვალისწინებით სამყაროს საწყის სტადიაში მიკროსკოპული „დულილის“ დროს წარმოიქმნებიან და ქრებიან 10-განზომილებიანი სივრცე-დროითი ბუშტულაკები.

თუ ვაკუუმის ენერგიის სიმკვრივით განპირობებული ბუშტულაკის სიმკვრივა ზუსტად კრიტიკული სიმკვრივის ტოლი აღმოჩნდება, მაშინ მისი 3 განზომილება იწყებს ინფლაციურ გაფართოებას და გარდაიქმნება „ჩვენ სამყაროდ“ [84;133].

ბუდისტების აზრით, უმაღლესი რეალობა არის სიცოცხლის მფლობელი „სიცარიელე“.

დაოსელებისათვის „დაო“ წარმოადგენს სიცოცხლის მატარებელ „სიცარიელეს“, რომელიც შეცავს ყველაფერს და წარმოადგენს ყველაფრის ქმნადობის მუდმივ წყაროს.

ჩინურ ნატურფილოსოფიის ყველა სკოლაში არსებობს „ცი“-ს ცნება, რომელიც სიტყვა-სიტყვით ნიშნავს „ეთერს“, ხოლო ძველ ჩინეთში იგი გამოიყენებოდა კოსმოსური სულიერი ენერგიის აღსანიშნავად. ნეოკონფუციონალების მიხედვით „ცი“ მიჩნეულია მატერიის ისეთ ფორმად, რომელიც ადამიანისათვის შეუცნობადია, მაგრამ მოიცავს მთელ სივრცეს და კონდენსირდება მყარი მატერიალური სხეულების სახით. ასეთი წარმოდგენით „ცი“ გაერთიანებული კვანტური ველის ტოლფასია.

მისტიკოსების აზრით, „ცი“ კონდენსირდება რეალური საგნების სახით და ხდება აღქმადი. როცა განიზნევა საგნების მოხაზულობა ქრება და „ცი“ ხდება აღუქმადი, მაგრამ ის მაინც არსებობს. ამრიგად „სიცარიელე“ შეიცავს „ცის“. „ცი“ კონდენ-

სიღება და განიბნევა რიტმული პერიოდულობით, წარმოქმნის ალქმად ფორმებს და ისევ ღღვება „სიცარიელეში“ [84;14;6].

„ცი“-ს ცნება სასვსებით შესაბამისობაშია ამჟამინდელ მეცნიერულ წარმოდგენებთან.

ბუდიზმის მიხედვით ნამდვილი სამყარო არის „არყოფა“, რომელიც უსასრულოა და უფორმო, მაგრამ ფლობს უსასრულო პოტენციალს, რომლის ერთ-ერთ გამოვლენას რეალური სამყარო წარმოადგენს. არყოფის ასეთი კონცეფცია, თავისი პოტენციალით და კრიოცენული კონცეფციით გვაგონებს თანამედროვე მეცნიერულ კონცეფციას ფიზიკური ვაკუუმის შესახებ, რომელიც თავის თავში ბადებს უსასრულო რაოდენობის სხვადასხვა სამყაროებს. ასეთ დასკვნამდე მივიდნენ ამჟამად ფიზიკოსები და კოსმოლოგები [103;417].

ამრიგად, აღმოსავლეთის მისტიკოსების „ცი“ და „სიცარიელე“ ასოცირდება თანამედროვე ფიზიკის სუპერგაერთიანების თეორიის კვანტურ ველთან [84;14;4].

5. სამყაროს გაბერვა

განვიხილოთ სამყაროს გაბერვის პროცესი და ვნახოთ რასთან მივყავართ მას. გაბერვა მიმდინარეობს ექსპონენციალური (1) კანონის მიხედვით.

თუ გავითვალისწინებთ Λ -ს მნიშვნელობას ფორმულა (7)-დან, მივიღებთ:

$$R = R_0 e^{t\sqrt{8fG_{\dots}}}$$

მიჩნულია, რომ მაღალი სიმკვრივის ვაკუუმის მდგომარეობა არსებობს პლანკისეულ დროში $t_3 \approx 310^{-44}$ წმ, როცა ვაკუუმის სიმკვრივე ტოლია პლანკისეული სიმკვრივისა $\rho_3 = 10^{24}$ გრ/სმ³. ამ შემთხვევაში:

$$R = R_0 \exp(3 \cdot 10^{43} t)$$

სადაც t გამოსახულია წმ - ში [100;116]

მტკიცდება, რომ ექსპონენციალური გაფართოების დროს სამყაროს სიმკვრივე მუდმივი რჩება. მაშინ როცა ჩვეულებრივი მატერიის სიმკვრივე ძალიან სწრაფად მცირდება.

აღმოჩნდა, რომ ინფლაციური გაფართოების დროს ადგილი აქვს მასშტაბის ზრდას და არა ნაწილაკის სიჩქარის ზრდას. რადგანაც მტკიცდება, რომ ამ დროს სიჩქარის ცნება საერთოდ აზრს კარგვს [100;120].

ამ დროს ნაწილაკები იმდენად შორდებიან ერთმანეთს, რომ ისინი ერთმანეთზე არავითარ გავლენას აღარ ახდენენ. რადგანაც შეუძლებელი ხდება მათ შორის სიგნალების გაცვლა. ანუ ისინი აღარ არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული მიზეზობრივად [114;121].

ამჟამად სამყაროს სიმკვრივე იმდენად ახლოსაა მის კრიტიკულ სიმკვრივესთან, რომ ნარსულში ის ძალინ მცირედ (10^{-59}) უნდა განსხვავებულიყო კრიტიკული სიმკვრივის სიდიდისაგან. ისმის კითხვა:

რით არის ეს გამოწვეული?

გამოსახულება (1) -ს განწარმოებით მივიღებთ:

$$v = \sqrt{\Lambda / 3} c R_0 e^{\sqrt{\Lambda / 3} ct}$$

ანუ (1) -ს გათვალისწინებით:

$$v = \sqrt{\Lambda / 3} c R$$

ამ გამოსახულებაში პროპორციულობის კოეფიციენტი შეიძლება შეიცვალოს ჰაბლის მუდმივით:

$$\sqrt{\Lambda / 3} c = H$$

მეორე მხრივ თუ გამოვიყენებთ (7) თანაფარდობას, ჰაბლის მუდმივის მნიშვნელობისათვის, ვაკუუმის სიმკვრივის შემდეგ გამოსახულებას მივიღებთ:

$$\dots = 3 H^2 / 8\pi G$$

რომელიც ზუსტად თანხვება კრიტიკული სმკვრივის გამო-სახულებას (5). რაც იმას ნიშნავს, რომ სამყაროს საწყის სტადიაში ვაკუუმის მაგვარი მდგომარეობის სიმკვრივე ზუსტად თანხვება კრიტიკულ სიმკვრივეს: $\dots = \rho_{კრ}$.

როცა ინფლაციური გაფართოების ბოლო სტადიაში ვაკუუმის ენერგია გარდაიქმნება ჩვეულებრივ მატერიად, ვაკუუმის სიმკვრივე გადადის მატერიის სიმკვრივეში, ამიტომ

გასაკვირი არ არის, რომ სამყაროს სიმკვრივე აჭამადაც ტოლია კრიტიკული სიმკვრივისა [100;122].

$$\dots = \dots = \rho_{კრ}$$

ამით პასუხი გაეცა კითხვას თუ რითაა განპირობებული ის ფაქტი, რომ სამყაროს ამჟამინდელი სიმკვრივე დიდი სიზუსტით თანხვება კრიტიკული სიმკვრივის მნიშვნელობას.

ასე გაეცა პასუხი ზემოხსენებულ შეკითხვას.

6. რა იყო დიდ აფეთქებამდე

ისმის კითხვა: „რა იყო დიდი აფეთქების დაწყებამდე?“

ჩვენი სამყარო სანყის მომენტში წარმოადგენდა უზარმაზარი სიმკვრივის უმცირესი ზომის ბუმბუტულაკს. ანუ იმყოფებოდა ექსტრემალურ პირობებში, რომელშიც სივრცე და დრო ხასთდებიან განსაკუთრებული თვისებებით.

როგორც ავლნიშნე სინგულარობის მახლობლად, სივრცე-დროის პლანკისეულ ზომებში, არსებობს სივრცე-დროითი კვანტების თავისებური „ქაფი“, ანუ სივრცე-დროის კვანტური ფლუქტუაციები. წარმოიქმებიან და ქრებიან უმცირესი ზომის „ვირტუალური“ ჩაკეტილი სამყაროები.

გავიხსენოთ, რომ ძალიან მცირე მანძილებზე დიდი ენერგიების დროს თეორეტიკოსების მიერ განიხილება 11-განზომილებიანი სივრცე-დრო. აღმოჩნდა, სავსებით შესაძლებელია, რომ 11 განზომილებიანი სივრცე-დრო შეიძლება იყოს უსასრულო და მარადიული. ხოლო მასში ამის გათვალისწინებით სამყაროს სანყის სტადიაში მიკროსკოპული „დუღილის“ დროს, წარმოიქმნებიან და ქრებიან 10-განზომილებიანი სივრცე-დროითი ბუმბუტულაკები. რომელთაგან ერთ-ერთი წარმოადგენდა ჩვენ პროტოსამყაროს (იხ. ნან. III თავი 1).

ნაწილი III უახლესი კოსმოლოგია

თავი 1 სიმური კოსმოლოგიის შესახებ

შესავალი

სამყაროს წარმოშობის დიდი აფეთქების თეორიას ამჟამად საყოველთაოდაა მიღებული, მაგრამ მას გააჩნია ხარვეზები, რომლებიც ნაწილობრივად მოხსნა ამ თეორიის ინფლაციურმა მოდელმა, რომლის მიხედვით სამყარო საწყის სტადიაში წარმოადგენდა, უზარმაზარი სიმკვრის მქონე და უმცირესი ზომის ვაკუუმის ენერჯის შემცველ ბუშტულაკს.

აშკარაა, რომ ასეთი სისტემის აღსაწერად საჭიროა როგორც ზოგადი ფარდობითობის თეორია, ისე კვანტური მექანიკა. ამიტომ მისი მდგომარეობა უნდა აღწერილიყო ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის დიდი გაერთიანების თეორიის მოდელით, რომლის მიხედვით სივრცე უნდა იყოს 9-განზომილებიანი. ამ თეორიის თანახმად ნივთიერი სამყაროს ფუნდამენტს კვარკები კი არა, ე.წ. „სიმები“ წარმოადგენენ. მის მიხედვით ბუნება შედგება უმცირესი ზომის გარკვეული სიხშირის ტალღებისაგან, რომლებსაც უწვრილესი სუპერ-სიმები ასხივებენ მათი სხვადასხვა სიხშირით რხევისას.

ამრიგად სამყაროს საყნისი სტადია კარგი პოლიგონია სუპერსიმების თეორიის იდეების გამოყენებისათვის [73;224].

დიდი აფეთქებიდან 1 წამის ფარგლებში წარმოადგენს კოსმოლოგიურ არენას სიმების თეორიისათვის. შესაბამისად შეიქმნა **სიმური კოსმოლოგია**.

1. სამყაროს დასაწყისი სიმური კოსმოლოგიით

სიმების თეორიას, ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის ახსნის გარდა, უნდა აეხსნა სამყაროს გაჩენაც. მას პასუხი უნდა გაეცა კოსმოლოგიის უმთავრესი საკითხისათვის თუ რა ხდებოდა სამყაროს წარმოქმნის საწყის მომენტში, იდუმალებით მოცულ სინგულარობის წერტილში.

დაბადების მომენტში სამყაროს უნდა ჰქონოდა მინიმალური დასაშვები ზომა. მაშინ როცა სამყაროს წარმოქმნის სტანდარტულ თეორიაში მისი საწყისი ზომა ნულის ტოლია, ხოლო ტემპერატურა – უსასრულო. გამოთვლები უჩვენებენ, რომ მისი ტემპერატურა იზრდება ხოლო სამყაროს ზომა ყველა მიმართულობით უახლოვდება პლანკისეულ ზომას. სამყაროს განზომილებათა ჩახვევის რადიუსები უახლოვდება პლანკის ზომისეულს და შემდეგ კიდევ უფრო მცირდება. სიმების თეორიის მიხედვით, სამყაროს რადიუსის შემცირებით პლანლისეული ზომის ნაკლებ ზომაზე, მიზიდვის ძალების მაგიერ ადგილი აქვს განზიდვის ძალების წარმოშობას, რის გამოც სამყაროს რადიუსის კიდევ მეტად შეკუმშვა შეუძლებელი ხდება. ამ მომენტში სამყაროს ტემპერატურა აღწევს მაქსიმუმს და შემდეგ იწყებს შემცირებას. ამიტომ მას გააჩნდა მაქსიმალური, მარამ არა უსასრულოდ დიდი ტემპერატურა და ენერჯის სიმკვრივე. ამრიგად სიმების თეორიამ მოხსნა ნულოვანი ზომისა და უსასრულო სიმკვრივის პარადოქსები სამყაროს წარმოქმნის საწყის სტადიაში [73;232]. ამრიგად სამყაროს უმცირესი რადიუსი შემოსაზღვრულია ქვემოდან r_p პლანკი-სეული ზომით.

2. M-თეორიის მიხედვით, ფიზიკური ვაკუუმი წარმოადგენს 11 განზომილებიან სივრცე-დროით კონტინიუმს, რომელშიც ნივთიერი საყმაროს საფუძველს „სიმები“ კი არა, ე.წ. „მემბრანები“ წარმოადგენენ. მე-11 განზომილების ერთ ბოლოში შეიძლება არსებობდეს ერთი სახის მემბრანა, ხოლო მეორე ბოლოში – მეორე სახის მემბრანა. ყოველ მემბრანა ხასიათდება გარკვეული ხორკლიანობით და შესაბამისად თავისი განსაკუთრებული თვისებებით. რადგანაც თვითეულ მემბრანის ხორკლიანობას შეესაბამება ელემენტალური ნაწილაკების გარკვეული ერთობლიობა, ანუ სამყაროს გარკვეული ფორმა, ამიტომ ამ თეორიაში დაშვებულია სხვადასხვა სახის პარალელური სამყაროების არსებობა. ყოველი მემბრანა სხვა სამყაროა, რომლის შესახებ ჩვენ არაფერი არც ვიცით და არც გვეცოდინება, მათი უჩინარობის გამო. ჩვენი სამყარო მხოლო-

ოდ ერთ-ერთია უსასრულო რაოდენობის სამყაროებს შორის. შეიძლება არსებობდეს ჩვენი სამყაროს მსგავსი სამყარო, მხოლოდ ჩვენ გარეშე.

სიმების თეორიის მიხედვით უხილავი პატარა სიმები სავარაუდოდ იყო ფუნდამენტური მასალა სამყაროში არსებული ყველანაირი მატერიისა. მაგრამ მეთერთმეტე განზომილების დამატებამ ეს მოსაზრება შეცვალა. გაკეთდა კიდევ ერთი გამაოგნებელი დასკვნა, რომ სამყაროში აბსოლუტურად ყველა მატერია უკავშირდებოდა ერთ დიდ სტრუქტურას მემბრანის სახელწოდებით. ანუ ჩვენი სამგანზომილებიანი სამყარო ფაქტობრივად ერთი მემბრანა აღმოჩნდა.

ისევ დაიწყო კვლევები სამყაროში მიმდინარე ყველანაირი პროცესის ამოსახსნელად. კვლევის ბირთვი კი ეს ახალი თეორია გახლდათ. მას ეწოდა მემბრანის თეორია, იგივე **M** თეორია. **M** თეორია იძლეოდა იმედს, რომ ის გასცემდა პასუხს ყველა კითხვას, მაგრამ სანამ გაარკვევდნენ, რამდენად მართებული იყო ეს თეორია, მეთერთმეტე განზომილება კარგად შესწავლას საჭიროებდა. მალევე გაირკვა, რომ ეს იყო განზომილება, სადაც ცნობილი კანონები აზრს კარგავს. რაიმე ობიექტისთვის ის არის უსასრულოდ გრძელი, მაგრამ ძალიან პატარა – სიგანეში. მეთერთმეტე განზომილების სიგანის მაქსიმუმია მილიმეტრის მეტრილიონედი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჩვენს 3 განზომილებიან სამყაროში მეთერთმეტე განზომილება არსებობს ყველა წერტილის მეტრილიონედ მილიმეტრში. ის უფრო ახლოსაა სხეულთან, ვიდრე ტანისამოსი, მაგრამ მაინც ვერ აღვიქვამთ.

რა ინვეზს თითოეული სამყაროს წარმოშობას?

ამ შეკითხვას ფიზიკოსებმა პასუხი გასცეს უჩვეულო სიტუაციაში: კონფერენციის ბოლო დღეს ნეილ ტუროკმა, პოლ სტეინჰარდტმა და ბერტ ოვრუტმა გადამწყვიტეს, ერთად ჩაღრმავებოდნენ საკითხებს. ისინი ლონდონში გაემგზავრნენ მწერალ მაიკლ ფრაინის წარმოდგენაზე, სახელად „კოპენჰაგენზე“, დასასწრებად. მათ ტრანსპორტად მატარებელი აირჩიეს, გზაში კი მეცნიერული დისკუსიები უნდა გაემართათ.

სამი ფიზიკოსი, ერთი მატარებელი და ჩვენი სამყაროს უდიდესი საიდუმლო: რამ გამოიწვია დიდი აფეთქება. და უეცრად ერთ-ერთმა მათგანმა წამოაყენა აზრი – იქნებ ჩვენი სამყარო სხვა სამყაროების ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიშვა? იქნებ დიდი აფეთქება ორი პარალელური სამყაროს შეჯახების შედეგია? მაგრამ როგორ შეეძლო ასეთ შეჯახებას, წარმოეშვა ჩვენთვის ცნობილი სამყარო? ჩვენს სამყაროს მატერიის უზარმაზარი გროვები აქვს, რომლებსაც ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების სახელით ვიცნობთ. მეცნიერებს უნდა ამოეხსნათ, რა გზით იქმნება მატერია პარალელური სამყაროების შეჯახებისას. შეეძლო ამის ახსნა მემბრანას? მემბრანა წარმოედგინათ, როგორც ბრტყელი, სრულყოფილი გეომეტრიული სივრცე.

მაგრამ სამმა მეცნიერმა ეს იდეა არამართებულად მიიჩნია: მათი აზრით, მემბრანა სრულყოფილად ბრტყელი კი არა, ტალღოვანი ზედაპირია.

მათი მოსაზრებით, როცა მემბრანები ერთმანეთს უახლოვდებიან, ორივე მათგანის ზედაპირზე წარმოიქმნება რაღაც გამონაზარდები (ხორკლი), მიახლოებისას კი არ ეჯახებიან ერთმანეთს ერთსა და იმავე ადგილას და ერთსა და იმავე დროს. შეჯახების მომენტში ეს გამონაზარდები გარდაიქმნებიან მატერიად. პარალელური სამყაროები მოძრაობენ მეთერთმეტე განზომილების გასწვრივ ტალღების მსგავსად და ტალღებისნაირადვე ზოგჯერ ერთიანდებიან. სწორედ ასეთმა შემთხვევამ გამოიწვია მატერიის წარმოშობა დიდი აფეთქების შემდეგ. როგორც იქნა, ჩვენი სამყაროს დაბადების შესახებ მეცნიერული ახსნა მზად იყო. ახლა მეცნიერებს შეეძლოთ, უფრო რთულ საკითხს შეჭიდებოდნენ – ფიზიკის კანონების გამოყენებით განეხილათ უფრო შორეული წარსული, დიდი აფეთქების მომენტი. მემბრანების არსებობა დიდი აფეთქებამდე გვანიშნებს, რომ დიდ აფეთქებამდე დრო არსებობდა. ანუ რომ დროს ემოქმედა სინგულარობის დაწყებიდანვე.

მემბრანების შეჯახების შედეგად 11-განზომილებიანი უსასრულო სივრცეში წარმოიქმნება უმცირესი ზომის 10

განზომილებიანი ბუშტულაკი. ამ მომენტში ჩვენი პროტოსამყაროს ყველა განზომილება იყო ჩახვეული პლანკის ზომის გორგლად და ერთნაირ პირობებში იმყოფებოდა.

სამყაროს არსებობის საწყის სტადიაში უდიდესი, მაგრამ შემოსაზღვრული ტემპერატურის დროს, ყველა ჩახვეული განზომილება ცდილობს გაფართოებას, რასაც ენინაალმდეგება მათზე დახვეული სიმები და ანტისიმები.

ისმის კითხვა, რატომ გაფართოვდა მარტო 3 განზომილება და არა მეტი, ან 10-ვე?

ამ კითხვაზე სიმების თეორია შემდეგნაირად პასუხობს.

ადრე თუ გვიან შემთხვევითი ტემპერატურული ფლუქტუაციის გამო, 3 განზომილების რადიუსი დანარჩენებთან შედარებით აღმოჩნდება მეტი. ამიტომ მათზე დახვეული სიმისა და ანტისიმის წყვილის შეხვედრის ალბათობა გაიზრდება, რის გამოც ხდება მათი ანიგილაცია. ეს ინვესს ამ განზომილებების გაფართოების შემაფერხებელი ძალის შესუსტებას და შედეგად ისინი იწყებენ გაფართოებას. ალბათი განზომილების გაფართოების პარალელურად მცირდება მასზე რაიმე სიმის დახვევის ალბათობა. ამიტომ ზემოხსენებული 3 განზომილება შეუფერხებლად, განუწყვეტლად განაგრძობს სივრცულ გაფართოებას. დანარჩენები კი ჩახვეულნი რჩებიან [73;233].

შემდგომ იქმნება ბუშტულაკის განვითარების პირობები მისი დიდი აფეთქების თეორიის ინფლაციური მოდელის მიხედვით განვითარებისათვის.

ამ მიდგომაში გათვალისწინებულია ის აზრი, რომ დამატებითი განზომილება უჩინარია მხოლოდ მისი ჩახვევის რადიუსის სიმცირის გამო, მაგრამ თუ ისინი უჩინარნი არიან სხვა მიზეზით, მაშინ შესაძლებელია 3-ზე მეტი, ან ყველა განზომილება გაფართოებულიყო. ამ საკითხს ჩვენ შემდეგ თავებში დაუბრუნდებით.

2. მულტისამყაროს შესახებ

გ. ვენეციანომ და მ. გასპერინიმ ტურინის უნივერსიტეტიდან წამოაყენეს სიმური კოსმოლოგიის ლამაზი ვარიანტი, რომლის მიხედვით არსებობდა ისტორიამდელი კოსმიური სამყარო, რომელშიც წარმოიშვა ჩვენი კოსმოსური სამყაროს საწყისი ემბრიონი. ავტორების აზრით ისტორიამდელი კოსმოსური სამყარო იყო ცივი და უსასრულოდ განფენილი. გარკვეულ მომენტში, როგორც სიმების თეორიის განტოლებიდან გამოდის, სამყარო მოიცვა არასტაბილურობამ და ყოველმა მისმა ნერტილმა უეცრად დაიწყო ურთიერთდაშორება. ავტორების აზრით, ამის გამო იგი მყისიერად გამრუდდა და გადახურდა. შესაბამისად მისი ტემპერატურაც და ენერჯის სიმკვრივეც მყისიერად გაიზარდა. უკიდევანო სივრცეში მცირე დროში წარმოიქმნა მილიმეტრის ზომის 3-განზომილებანი მკვრივი ლაქები, იმის მსგავსი რომლებიც წარმოიქმნებოდა ინფლაციური გაფართოების საწყის სტადიაში. შემდეგ ყველაფერი წარიმართა დიდი აფეთქების სცენარის მიხედვით და გაფართოებადი ლაქა, გარკვეულ საწყის პირობებში, გარდაიქმნა ჩვენს მიერ დაკვირვებად სამყაროდ [73;234].

ეს მოდელი შეესაბამება ჩემ მოსაზრებას უსასრულო და მარადიული კოსმიური სამყაროს არსებობის შესახებ, რომელშიც ციკლურად წარმოიქმნება ჩვენი სამყაროს მსგავსი სამყაროები.

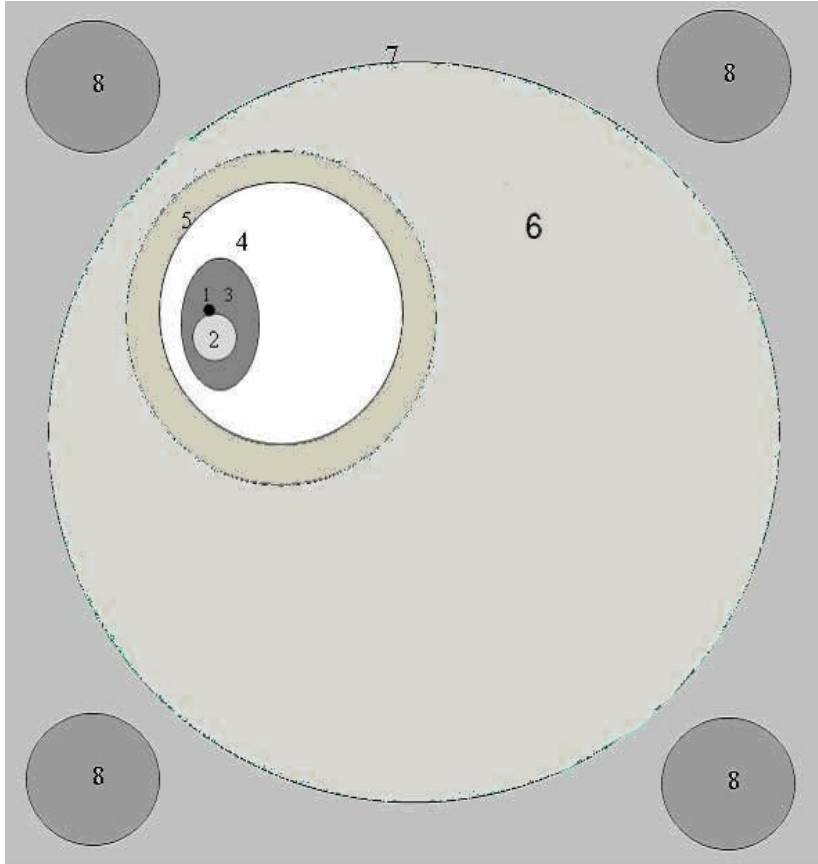
ამრიგად, **M** თეორიამ პასუხი გასცა შემდეგ გაუგებარ და პარადოქსალურ საკითხებს:

ა. დიდი აფეთქების თეორიაში სამყაროს წარმოქმნის საწყის სტადიაში არსებობდა სინგულარობა, რომლის ახსნაც შეუძლებელი იყო.

ბ. აზრი არ ჰქონდა აგრეთვე კითხვის დასმას, თუ რა იყო სამყაროს წარმოქმნამდე.

გ. არ არსებობდა დრო და სივრცე.

დ. სამყარო წარმოიქმნა არაფრისაგან, სრულიად შემთხვევით. ეს ყოველივე პარადოქსალურ მტკიცებას წარმოადგენს.



ნახ. 3.1 მეგასამყაროს სქემატური სურათი

1- გამოხატავს დამკვირვებელს; 2 - დედამიწას; 3 - ჩვენ გალაქტიკას; 4 - ხილული სამყაროს ნაწილს, რომლის რადიუსი $R_6 = 1.310^{25}$ სმ; 5 - პოტენციურად დაკვირვებადი სამყარო, რომლის რადიუსი გამოითვლება ფორმულით: $R_3 = ct = 1.310^{28}$ სმ; 6 - ჩვენი გრძნობადი 3-განზომილებიანი სამყარო, დიამეტრით $D_{გრ.}$. 7 - უჩინარი 11- განზომილებიანი სივრცე, სადაც იბადება და ვითარდება სხვადასახვა სამყაროები; 8 - უცხო სამყაროები.

M თეორიაში ზემოთ ნახსენები სინგულარობა შეიცვალა მემბრანების დაჯახების თეორიით, რომლის აღწერა შესაძლებელია მათემატიკურად.

აზრი მიეცა აგრეთვე კითხვას თუ რა იყო დიდ აფეთქებამდე, რადგანაც, **M** თეორიის მიხედვით 11-განზომილებიანი კოსმიური სამყაროს დრო და სივრცე, რომელიც არსებობდა დიდ აფეთქებამდეც, ეხლაც არსებობს და მომავალშიც იარსებებს.

ანუ, მოიხსნა სამყაროს არაფრისაგან წარმოშობისა და სინგულარობის პრობლემა. გარდა ამისა **M** თეორია უშვებს პარალელური უჩინარი სამყაროების, უსასრულო კოსმიური სამყაროსა და მარადისობის არსებობას.

საბოლოო თეორიის დადგენისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო სამყაროს ფუნდამენტულ ფიზიკურ კანონებს, არამედ იმ საკითხებსაც რომლებიც ეხება ისტორიამდელ კოსმიურ სამყაროს. სხვანაირად, ჩვენთვის აუცილებელია სანყისი პირობების ცოდნა, რომლითაც განისაზღვრება ჩვენი სამყაროს ევოლუცია. ევოლუცია კი განსაზღვრავს სამყაროს

M-თეორიის მიხედვით ადრინდელი სამყაროს ევოლუციის პროცესში სივრცის დამატებით განზომილებებს შეეძლოთ საამშენებლო ნაწილაკებისა და მათ შორის ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკების ძირითად თვისებებს [73;236].

ტრანსფორმირება ერთი ფორმიდან მეორეში რომლის სახე, ცხადია, დამოკიდებული იქნება აგრეთვე სანყის პირობებზე.

ჯერჯერობით კი სანყისი კოსმოლოგიური პირობების განსაზღვრა შეუძლებელია და იგი მომავლი გამოკვლევების მთავარი თემაა [73;237].

ჩემი წარმოდგენით, სიმური კოსმოლოგიისა და **M**-თეორიის გათვალისწინებით, მეგასამყაროს სქემატური სურათი შეძლება წარმოვიდგინოთ ნახაზ 3.1 -ზე მოცემული სქემის სახით.

თავი 2 უახლესი კოსმოლოგიური მიღწევები

შესავალი

მეცნიერები შეეჩვივნენ იმ აზრს, რომ ძალიან დიდი ხნის წინ მოხდა დიდი აფეთქება, რომელმაც დაბადა ჩვენი სამყარო. თვით დაბადების აქტის შესახებ თეორია არაფერს ამბობდა. ეს საკითხი მან დაუტოვა კვანტურ მექანიკასა და მეტაფიზიკას. ის მარტო იმას ამტკიცებდა, რომ სამყარო ყოველთვის ფართოვდებოდა, ცივდებოდა და მასში ადგილი ჰქონდა ქაოსურობიდან წესრიგის დამყარებას. თანდათანობით სამყარომ დაიწყო თავისთავადი მონესრიგება. ამ მოდელთან შესაბამისობაში იყო ბოლოდროინდელი მეცნიერული დაკვირვებებიც. კვანტური მექანიკისა და სამყაროს წარმოშობის ინფლაციური მოდელის თანახმად, სამყარო წარმოიქმნა არაფრისაგან, რაც წარმოუდგენელია. **M**-თეორიამ მოხსნა სამყაროს არაფრისაგან წარმოშობის პრობლემა, მაგრამ დაუშვა უჩინარი და მარადიული უსასრულო კოსმიური მულტისამყაროს არსებობის შესაძლებლობა (იხ. ნაწ I; თავი 12). ამრიგად, მეცნიერებამ ახსნა მინერალური სამყაროს წარმოშობისა და ევოლუციური განვითარების საკითხი, თუმცა მასში სიცოცხლის წარმოშობის პრობლემას მხოლოდ ანთროპული პრინციპით ხსნიდა.

მეცნიერები მიეჩვივნენ იმ აზრს, რომ ჩვენი სამყარო დიდ მასშტაბებში ერთგვაროვანია, ხოლო მისი სიმკვრივე კრიტიკულის ტოლია, რის გამოც მისი გაფართოება, გრავიტაციული მიზიდულობის გამო, გაგრძელდება უსასრულოდ, მაგრამ, შენელებულად. თუმცა, მისთვის გაუგებარი რჩებოდა ვაკუუმის ბნელი ენერჯის წარმოშობისა და მისი სიმკვრივის სიმცირის საკითხი.

ასტროფიზიკოსებმა დაიწყეს სამყაროს რუკის (ვარსკლავების სივრცული განლაგების) შედგენა [114].

1998 წელს ასტრონომებმა გადაწყვიტეს გაეზომათ გაფართოებადი სამყაროს შენელების სიჩქარე. შედეგად კი მიიღეს, რომ ის ჩქარდება! რაც, კოსმოლოგებისათვის დიდი შოკისმომ-

გვრელი ფაქტი გამოდგა. აღმოჩნდა, რომ დაახლოებით 5 მილიარდი წლის წინ, მატერიამ დაკარგა მართვა და დაიწყო კოსმოსის აჩქარებული გაფართოება. თითქოს დიდ აფეთქებას მეორე სუნთქვა გაეხსნა, რამაც მომავალში შეიძლება დაშალოს გალაქტიკები, ვარსკვლავები და პლანეტებიც კი, ანუ მოხდეს დიდი გახლეჩვა.

ამჟამად, მრავალი ფიზიკოსი ფიქრობს, რომ სენსაციურ აღმოჩენაზე საჭიროა შესაბამისი რეაგირება. სამყაროს გაფართოების აჩქარების არსებობის ფაქტს, ახალ ჰიპოთეზებთან ერთად, დიდი აფეთქების თეორია გადაჰყავს თვისებრივად ახალ დონეზე. მათ წამოაყენეს რამდენიმე სხვადასხვა ჰიპოთეზა სამყაროს აჩქარებული გაფართოების ასახსნელად [95].

ისმის კითხვები:

ახალი იდეების ნაკადი ხომ არ გამოიწვევს ხელახალ ქაოსს?

მართლა „აბსურდული“ ხომ არ არის ჩვენი კოსმოსი?

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად მეცნიერები ძალიანმეცადიან იჩინენ ხუთი მიმართულებით:

ა. დგინდება ვაკუუმის ბნელი ენერჯის წარმოშობისა და მისი სიმკვრივის სიდიდის საკითხი [67].

ბ. დაწვრილებით სწვლობენ კოსმოსურ მოკლეტალღვანი რელიქტიური გამოსხივების ფონს [126].

გ. თანამედროვე ასტრონომები ქმნიან ვარსკვლავების სამგანზომილებიან დაწვრილებით რუკას მთელი სამყაროსათვის [114].

დ. ზეახალი ვარსკვლავების შესწავლით დგინდება სამყაროს აჩქარებული გაფართოების მიზეზი და დაწყების პერიოდი [106].

ე. დამატებით განზომილებებზე დაფუძნებით, ზუსტდება გრავიტაციული მიზიდულობის კანონი [77და 91].

1. რელიქტიური გამოსხივების შესწავლის ახალი შედეგები

კოსმოსური რელიქტიური გამოსხივების შესწავლა ეხმარება მეცნიერებს პასუხი გასცენ ზოგიერთ მარადიულ შეკითხვას: რა ხნისაა სამყარო? რისგან შედგება იგი? საიდან გაჩნდნენ მასში არსებული ობიექტები? [126].

კოსმოსური მიკროტალღური ფონის(კმფ) ტემპერატურა სანყის სტადიაში 3000K^0 -ის ტოლი იყო, შემდგომში ის გაცივდა $2,7\text{ K}^0$ -მდე. მისი სპექტრი, გაზომილი დედამიწის თანამგზავრით, მთლიანად თანხვდება გამოთვლილს. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ კმფ ხასიათდება $0,001\%$ -იანი ანიზოტროპიით. 2001 წელს მზის მახლობელ ორბიტაზე გაშვებულ იქნა სპეციალური კოსმოსური აპარატი. მის მიერ გადმოცემული მონაცემების საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ კმფ-ს გამოსხივების ტემპერატურის სივრცული განაწილება გარკვეულ კანონზომიერებას ემორჩილება.

აღმოჩნდა, რომ დიდი აფეთქების პირველ მომენტშივე წარმოქმნილმა ინფლაციურმა გაფართოებამ აღძრა ბგერითი ტალღები, რომელთაც გამოიწვიეს პირველადი პლაზმის არეების მორიგეობითი შეკუმშვა-გაფართოება.

როცა სამყარო საკმაოდ გაცივდა და წარმოიქმნენ ნეიტრალური ატომები, აკუსტიკური ტალღებით შექმნილი სიმკვრივის განაწილების სურათი ჩაიბეჭდა რელიქტიურ გამოსხივებაში. რელიქტიური გამოსხივების აკუსტიკური მოდულაციის შესწავლით კოსმოლოგებმა შეძლეს შეეფასებინათ სამყაროს ხნოვანება, შემადგენლობა და გეომეტრია. აღმოჩნდა, რომ თანამედროვე სამყაროს ძირითად კომპონენტს (70%) წარმოადგენს იდუმალებით მოცული ბნელი ენერგია [126;36].

კმფ-ის შესწავლით დადგენილ იქნა, რომ ფოტონებმა, რომლებმაც დედამიწამდე მოაღწიეს, გაიარეს 45 მილიარდი სინათლის წლის ტოლი მანძილი (თუმცა ისინი მოძრაობდნენ 14 მილიარდი წლის განმავლობაში, სამყაროს აჩქარებულმა გაფართოებამ განწელა მათ მიერ გავლილი მანძილი).

კოსმოლოგები დარწმუნდნენ, რომ ბგერითი ტალღების მიერ გავლილი მანძილებისაგან შედგენილი სამკუთხედის შიდა კუთხეების ჯამი 180° -ის ტოლია, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ჩვენი სამყარო ბრტყელია და ემორჩილება ევკლიდეს გეომეტრიას.

ეს კი, თავის მხრივ, იმას ნიშნავს, რომ მისი საშუალო სიმკვრივე კრიტიკულის ტოლია და უდრის $2,5 \cdot 10^{-29}$ გრ/სმ³.

დაზუსტებულ იქნა სამყაროს მატერიალურ-ენერგეტიკული შემადგენლობა. იგი შედგება 4% ჩვეულებრივი მატერიისა, 26% ბნელი მატერიისა და 70% ბნელი ენერგიისაგან, ინფლაციონის სახელწოდებით. ეს მონაცემები გასაკვირად კარგ შესაბამისობაშია სხვა შესატყვის ასტრონომიულ მონაცემებთან [126].

2. კოსმოსური რუკის შესწავლის შედეგები

ჯერ კიდევ 70-იან წლებში კოსმოლოგია, ანუ სწავლება სამყაროს შესახებ როგორც მთლიანზე, წარმოადგენდა მეცნიერებას, სადაც დაშვებები სჭარბობდა მეცნიერულ ფაქტებს. ამჟამად, კოსმოლოგიამ შეიძინა მტკიცე თეორიული ფუნდამენტი, რომელიც ეყრდნობა მრავალ სისტემატურ დაკვირვებას.

ამჟამად კოსმოლოგები ცდილობენ გაიგონ თუ როგორ წარმოიქმნა სამყაროს დიდ მასშტაბიანი სტრუქტურები. როგორც აღვნიშნეთ, ვარსკვლავები სამყაროში განაწილებულია არაერთგვაროვნად. ისინი დაჯგუფებულნი არიან გალაქტიკების სახით. ჩვენი მზე წარმოადგენს ერთ-ერთი გალაქტიკის, ირმის ნახტომის, ერთ მეასმილიარდედ ვარსკვლავს. თავის მხრივ, ირმის ნახტომი არის ერთ-ერთი იმ ათი მილიარდი გალაქტიკიდან, რომლებიც გაბნეულია ჩვენი სამყაროს დაკვირვებად ნაწილში. უახლოესი გალაქტიკა ჩვენგან დაშორებულია 2 მილიონი სინათლის წლით. ხოლო, თვით გალაქტიკები ერთიანდებიან 1000-წევრიანი ჯგუფების სახით, რომელთა ზომა რამდენიმე მილიონი სინათლის წლის რიგისაა.

აღ. აინშტაინმა ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ჩამოყალიბებისას, გააკეთა ერთი მარტივი და მნიშვნელოვანი დაშვება კოსმოლოგიური პრინციპის სახელწოდებით: სამყარო ერთგვაროვანი და იზოტროპიულია დიდი მასშტაბის გათვალისწინებით [114;45].

ეს პრინციპი დაედო საფუძვლად სამყაროს ყველა მეცნიერულ მოდელს.

ისმის კითხვა, სამართლიანია თუ არა კოსმოლოგიური პრინციპი უფრო დიდ მასშტაბებში, ვიდრე გალაქტიკების გროვების ზომებია.

1970 წლებისთვის ტელესკოპების გაუმჯობესებამ საშუალება მისცა ასტრონომებს შეექმნათ ახლობელი კოსმოსის სამგანზომილებიანი რუკა. უახლოესმა კოსმოსურმა რუკებმა შესაძლებლობა მოგვცა აღმოგვეჩინა ყველაზე დიდი ბუნებრივი სტრუქტურები – გალაქტიკების ჯგუფები, რომლებიც სიდიდით გაცილებით მეტია სამყაროს სხვა უდიდეს ობიექტებზე.

აღმოჩენილ იქნა გალაქტიკების შემკვრივები (уплотнение), რომლებიც გაცილებით დიდია გალაქტიკების ცალკეულ გროვაზე (скопление) და მათ შორის უშველებელი სიცარიელები 10 მილიონიანი სინათლის წლის მანძილებით. ეს კი იმაზე მეტყველებს, რომ შესაძლებელია დარღვეული იყოს აინშტაინის კოსმოლოგიური პრინციპი [114;45].

1986 წელს მეცნიერებმა ამერიკის ასტროფიზიკური ცენტრიდან გამოაქვეყნეს 15 ათასი გალაქტიკის სივრცული განაწილების რუკა. მასში აღმოჩნდა გალაქტიკების კონცენტრაცია გარკვეული ზედაპირის გასწვრივ, რომელიც საზღვრავდა უზარმაზარ ცარიელ სივრცეს. რუკაზე გამოვლინდა სტრუქტურა, სიგრძით 700 მილიონი სინათლის წელი, რომელსაც დიდი კედელი უწოდეს. ამ ფაქტმა ეჭვის ქვეშ დააყენა აინშტაინის კოსმოსური პრინციპი სამყაროს ერთგვაროვნების შესახებ. ამ საკითხის გასარკვევად, საჭირო იყო სამყაროს უფრო ფართო მასშტაბის გამოკვლევების ჩატარება [114;46].

სამყაროში არსებული მატერიის 26% ბნელია, რომელიც თავს ამჟღავნებს მხოლოდ გრავიტაციის მეშვეობით. მეცნიერული მოდელები ბნელი მატერიის შესახებ გაიყო ორი ნაწილად. ერთის მიხედვით, ბნელი მატერია ცივია, ხოლო მეორის მიხედვით – ცხელი. ცივი და ბნელი მატერიის ვერსიით ჯერ უნდა წარმოშობილიყო გალაქტიკების მსგავსი მცირე კოსმოსური ობიექტები, როლებიც შემდგომში გრავიტაციული ძალების მოქმედებით გაერთიანდნენ მსხვილ სტრუქტურებად. ამ მოდელის მიხედვით დიდი კედელი გვიანდელი წარმონაქმნია. ხოლო ცხელი და ბნელი მატერიის მომხრეების მიხედვით, ბნელი ნივთიერება ადრინდელ სამყაროში მოძრაობდა ქაოტურად და დიდი სიჩქარით, რის გამოც მცირე შენადელები იშლებოდნენ. ამიტომ თავიდან წარმოიქმნენ მრავალი მილიონი სინათლის წლების ზომის მსხვილი პლასტები და სტრუქტურები, როლებიც შემდეგ დაიშალნენ გალაქტიკებად. ასეთ შემთხვევაში დიდი კედელი უძველესი წარმონაქმნია.

1990 წელს ამერიკელი ასტრონომების მიერ წარმოდგენილი იქნა მიმოხილვა, რომელიც შეიცავს 26418 გალაქტიკას. აღმოჩნდა, რომ აინშტაინის კოსმოლოგიური პრინციპი ძალაშია, ანუ, დიდ მასშტაბში სამყარო იზოტროპიული და ერთგვაროვანია [114;46].

მეცნიერები მიიჩნევენ, რომ სამყაროში ბნელი მატერიის განაწილება ისეთივეა, როგორც გალაქტიკების ხილვადი ნაწილისა, რადგანაც გალაქტიკა წარმოიქმნება მხოლოდ ბნელი მატერიის არსებობის პირობებში. ბოლო წლებში მეცნიერებმა წარმოადგინეს 221414 გალაქტიკისაგან შედგენილი რუკის მიმოხილვა. ამჟამად მეცნიერების მიერ სივრცეში გალაქტიკების განაწილების შესწავლისთვის ყველაზე ხელსაყრელ მნიშვნელოვან ინსტრუმენტად მიჩნეულია ე.წ. სიმძლავრის სპექტრი. მთელ სამყაროში გამოყოფილია სფეროები 40 მილიონი სინათლის წლის რადიუსით, რომელიც სამყაროში გაფანტულია შემთხვევითობის პრინციპით. ითვლიან გალაქ-

ტიკების რიცხვს თითოეულ მათგანში. მეცნიერების მიერ დადგენილ იქნა, რომ:

ა. თითოეულ სფეროში აღმოჩნდა გალაქტიკების დაახლოებით თანაბარი რიცხვი მცირე ფლუქტუაციებით, რაც ადასტურებს აინშტაინის კოსმოლოგიური პრინციპის ქვშმარიტებას.

ბ. სამყაროში ჩვეულებრივი ნივთიერების სიმკვრივე ტოლია $2,5 \cdot 10^{-29}$ გრ/სმ³-სა. გარდა ამისა, მიღებული მონაცემების ერთობლიობა გვიჩვენებს, რომ ბნელი მატერია ცივია. ასტრონომიული დაკვირვებები შესაბამისობაშია კოსმოსური მიკროტალღოვანი გამოსხივების შესწავლით მიღებულ მონაცემებთან [114;51].

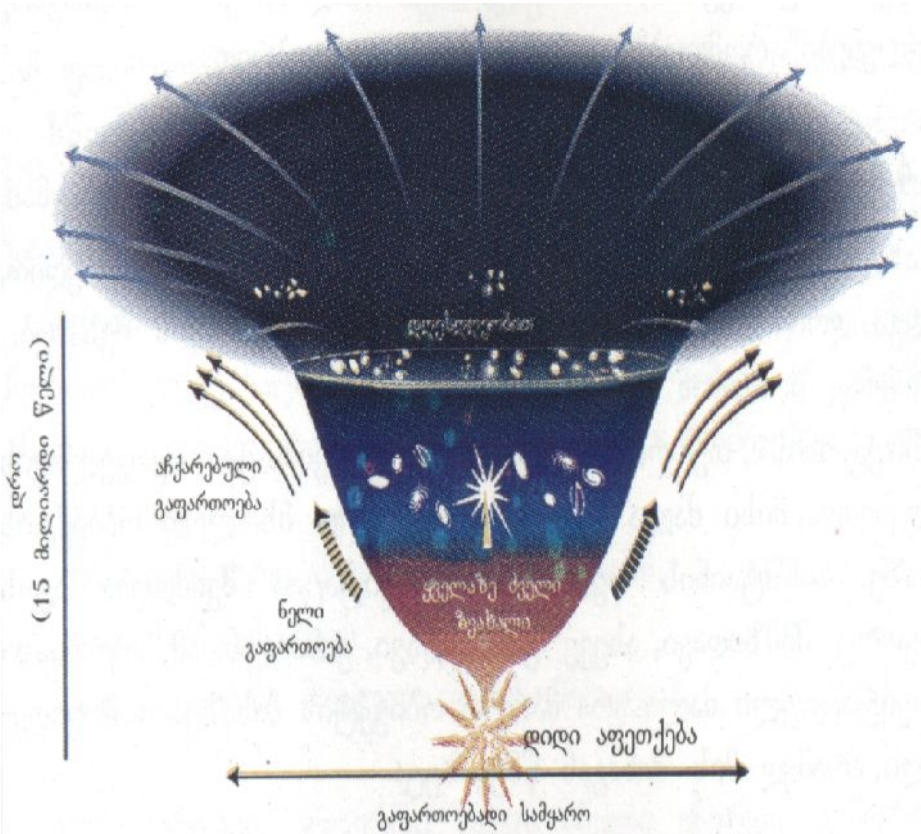
3. სამყაროს აჩქარებულად გაფართოების აღმოჩენა

ნიუტონის დროიდან დაწყებული 1990 წლამდე ითვლებოდა, რომ გრავიტაციის განსაკუთრებული თვისებაა მიზიდულობა. მართალია, აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორია უშვებდა, რომ გრავიტაციის ძალები შეიძლება ყოფილიყო გამზიდავიც, მაგრამ ფიზიკოსების უმეტესობას ეს მხოლოდ თეორიულ შესაძლებლად ესახებოდათ. უახლოეს დრომდე ასტრონომებსაც მიაჩნდათ, რომ გრავიტაცია მხოლოდ ანელებს სამყაროს გაფართოებას. როგორც აღვნიშნეთ შორეული ზეახალი ვარსკვლავების მოძრაობის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ სამყაროს გაფართოება კი არ ნელდება, არამედ ჩქარდება. (ნახ. 3.2).

ისმის კითხვა, თუ როდის დაიწყო სამყარომ აჩქარებული გაფართოება? ან რით არის განპირობებული სამყაროს შენელებული გაფართოების შეცვლა აჩქარებულით?

ტიტანების ბრძოლა. აინშტაინის თეორიაში ნებისმიერი ფორმის ნივთიერება და ენერგია იწვევს გრავიტაციულ მიზიდულობას, ამიტომ ამ თეორიის მიხედვით სამყაროს გაფართოება, მით უფრო უნდა შენელდეს, რაც მეტია მასში ენერგიისა და ნივთიერების სიმკვრივე. თუმცა თეორია უშვებს

ისეთი სახის ენერჯის არსებობის შესაძლებლობას, რომელიც ინვესს გამზიდავ გრავიტაციას.



ნახ. 3.2

ის, რომ სამყაროს გაფართოება არ ნელდება, ადასტურებს ასეთი ფორმის ენერჯის არსებობას. მას ბნელი ენერჯია უწოდეს. ამრიგად, სამყაროს გაფართოების ხასიათი დამოკიდებულია ორი ტიტანური ძალის ბრძოლაზე: გრავიტაციული მიზიდულობისა და გრავიტაციული განზიდულობისა. ის, თუ როგორ წარიმართება ეს დაპირისპირება, განისაზღვრება მიმზიდავი ნივთიერების სიმკვრივისა და გამზიდავი, ბნელი

ენერჯის სიმკვრივის თანაფარდობით. ითვლება, რომ სამყაროს გაფართოების გამო, ჩვეულებრივი ნივთიერების სიმკვრივე მცირდება, მაშინ, როცა ბნელი ენერჯის სიმკვრივე მხოლოდ უმნიშვნელოდ იცვლება [106;53].

ექსპერიმენტულად მტკიცდება, რომ სამყაროს აჩქარებულ გაფართოებას ადგილი არ ჰქონია მისი გაფართოების სანყის სტადიაში. საჭირო იყო სამყაროს შენელებული გაფართოების ექსპერიმენტული დადასტურების ფაქტი ადრეულ სტადიაში. ეს უნდა გამოჩენილიყო, შორეული გალაქტიკების სიჩქარეებისა და დაშორების მანძილების ურთიერთთანაფარდობაში. თუ სამყაროს გაფართოება ნელდება, მაშინ შორეული გალაქტიკის სიჩქარე უნდა მეტი იყოს ჰაბლის კანონით გამოთვლილთან შედარებით, ხოლო თუ ის აჩქარებულია – ნაკლები.

ისეთ ასტრონომიულ ობიექტებს, რომელთა ნათება წინასწარ არის ცნობილი, წარმოადგენენ Ia ტიპის ზეახალი ვარსკვლავები, რომელთა ნათება იმდენად ძლიერია, რომ მათი დაფიქსირება შეუძლიათ დედამიწაზე მდებარე ტელესკოპებსაც დაკვირვებადი სამყაროს ზომის ნახევარ მანძილებზე, ხოლო კოსმოსურ ტელესკოპ „Xabl“-ს – უფრო შორ მანძილებზეც.

ბოლო 10 წლის განმავლობაში ასტრონომების მიერ ზუსტად გაზომილ იქნა მანძილები Ia ტიპის ზეახლებამდე და მათი დაშორების სიჩქარეები. 2001 წელს ტელესკოპმა „Xabl“-მა დააფიქსირა ძალიან შორეული Ia ტიპის ზეახალი ვარსკვლავი, რომელიც წითელი ნანაცვლების მიხედვით, აფეთქდა 10 მილიარდი წლის წინ. ხოლო მისი ნათება მიგვითითებს იმაზე, რომ იმ დროს ადგილი ჰქონდა სამყაროს გაფართოების შენელებას. ზეახალი ვარსკვლავების შესწავლამ უჩვენა, რომ სამყაროს აჩქარებული გაფართოება დაიწყო დაახლოებით 5 მილიარდი წლის წინ, რაც შეესაბამება კოსმოლოგების მოლოდინს [106].

თეორეტიკოსების გამოთვლებმა უჩვენა, რომ ეს აჩქარებული გაფართოება არ არის გამოწვეული კვანტური ვაკუუმის ენერჯით. მათ გამოძებნეს ახალი მიდგომები, რომელიც

შემდეგში მდგომარეობს. სამყაროს აჩქარებული გაფართოება გამოწვეულია:

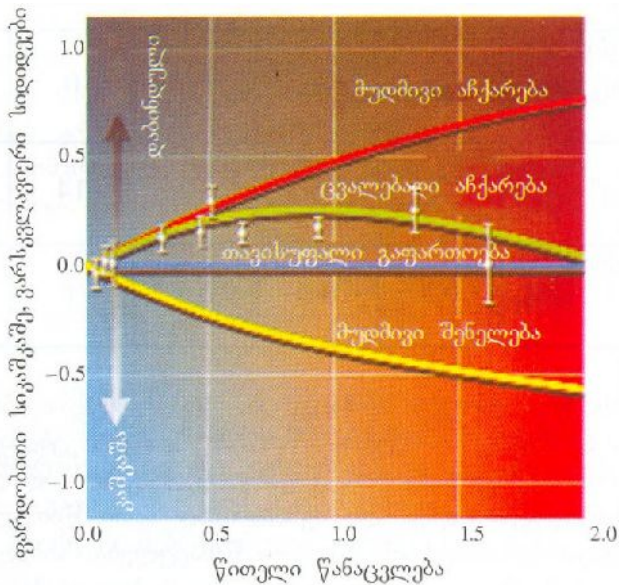
ა. სამყაროს **ფარული განზომილებების** გამოვლენით.

ბ. რაღაც ახალი ველის ენერჯის არსებობით, რომელსაც **კვინტესენცია** უწოდეს.

ფარული განზომილებებისა და მათი გავლენის საკითხი სამყაროს აჩქარებულ გაფართოებაზე შეისწავლება გია დვალისა და მისი კოლეგების მიერ [77;55].

ის, თუ ამ ორიდან რომელი მიდგომაა ჭეშმარიტი, გამოირკვევა უახლესი მეცნიერული გამოკვლევებით.

სამყარო აჩქარებულად გაფართოვების აღმოჩენის ექსპერიმენტულ დემონსტრირებას წარმოადგენს შემდეგი სქემა (ნახ.3.3).



ნახ. 3.3 აჩქარებული გაფართოება

ამ სქემაზე ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაზომილია წითელი წანაცვლების სიდიდე. ვერტიკალურზე კი ზეახალი ვარსკვლავების ფარდობითი სიკაშკაშე.

ობიექტები, რომლებიც ადრე წარმოიშვნენ, ძალიან დაგ-
ვმორდნენ და შესაბამისად მათი წითელი ნანაცვლება დიდია.
ნულოვანი წითელი ნანაცვლება შეესაბამება დღევანდელ
დღეს, ანუ სამყაროს ასაკი 14 მილიარდი წელია, ხოლო მისი
ზომა პირობითად 1-ს ტოლია.

ნახაზიდან ჩანს, რომ ექსპერიმენტული წერტილები,
რომლებიც გამოხატავენ ზეახალი ვარსკვლავების სიკაშკაშის
დამოკიდებულებას მისივე წითელ ნანაცვლებსთან, განლა-
გებულნი არიან იმ მრუდზე, რომელიც შეესაბამება სამყაროს
ისეთ აჩქარებულ გაფართოებას, რომელიც მოჰყვება შენელების
პერიოდს.

ამ მრუდის მაქსიმუმი მოდის წითელი ნანაცვლების 0,7 –
0,9 არეში, რაც სამყაროს ასაკის 7 მილიარდ წელს შეესაბამება.
ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სამყარო, ინფლაციური გაფართოების
შენწყვეტის შემდეგ შენელებულად ფართოვდებოდა 7 მილიარ-
დი წლის განმავლობაში, ხოლო შემდეგ დაიწყო აჩქარებული
გაფართოება და ეხლაც აჩქარებულად ფართოვდება. სამყა-
როს აჩქარებულად გაფართოების გათვალისწინებით, მტკი-
ცდება, რომ იგი დაიწყო 14 მილიარდი წლის წინ.

4. სიმების თეორიის ლანდშაფტი

ზოგადი ფარდობითობის თეორიის თანახმად, გრავიტაცია
განპირობებულია სივრცე-დროის გამრუდებით. ჯერ კიდევ
ადრე დაისვა კითხვა: თუკი გრავიტაცია წარმოადგენს
სივრცე-დროითი კონტინიუმის 4 განზომილების ფორმის
ასახვას, მაშინ ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება, ხომ
არ არის განპირობებული დამატებითი მეხუთე განზო-
მილებით, რომელიც თავისი სიმცირის გამო, უჩინარია. ამ
შეკითხვას, როგორც ცნობილია, დადებითი პასუხი გასცეს
კალუციმ და კლეინმა. ამ იდეაზე დაყრდნობით, ალ. აინ-
შტაინმა მოიწადინა ყველა ურთიერთქმედების ერთი თეო-
რიის ქვეშ გაერთიანება, მაგრამ მისი ეს ცდა წინააღმდეგობის
აღმოჩნდა. ფიზიკოსები ამ საკითხს გასული საუკუნის
სამოცდაათიან წლებში დაუბრუნდნენ. აღმოჩნდა, რომ

როგორც აინშტაინმა იწინასწარმეტყველა, ერთიანი თეორიის შექმნაში ძირითად როლს გეომეტრიული მოსაზრებები ასრულებენ. ფარდობითობის ზოგადი თეორიის, კვანტური მექანიკის, ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკისა და კოსმოლოგიის გამაერთიანებელ თეორიაში ძირითად როლს ასრულებენ დამატებითი განზომილებები. მათი ზომებისა და კონფიგურაციების განმსაზღვრელი უახლესი ექპერიმენტული და თეორიული მონაცემები ურთიერთწინააღმდეგობრივი და გასაკვირი აღმოჩნდა. ამიტომ, შესაძლებელია, რომ სავსებით შეიცვალოს ჩვენი წარმოდგენები კოსმოსური სამყაროს შესახებ[67;58].

ძალიან ბევრი ამოხსნები. სიმების თეორიაში, მისი მრავალგანზომილებიანობის გამო, საკმაოდ ბევრია თავისუფალი პარამეტრების რიცხვი. მართალია, ერთი დამატებითი განზომილება ჩახვეულია მარტო წრეწირის სახით, მაგრამ დამატებითი განზომილებების ერთობლიობამ შეიძლება წარმოქმნას სრულიად სხვადასხვა ფორმის მემბრანები. ისე, რომ მცირე განზომილებების ერთობამ შეიძლება წარმოქმნას უამრავი სხვადასხვა სახის კონფიგურაცია. ამასთან თითოეულ კონფიგურაციას გააჩნია თავისი შესაბამისი პოტენციალური ენერგია. ეს არის ე.წ. ვაკუუმის ენერგია, რომელსაც ფლობს სივრცე-დრო, მაშინ, როდესაც 3 ძირითადი განზომილება სავსებით ცარიელია მატერიისა და ველებისაგან. მცირე განზომილებები მიისწრაფიან ისეთი კონფიგურაციისაკენ, რომელთაც შეესაბამებათ ვაკუუმის მინიმალური ენერგიები. ჩვენ სამყაროში უჩინარი განზომილებების ზომები არ იცვლება, რადგანაც წინააღმდეგ შემთხვევაში ფუნდამენტური ფიზიკური მუდმივებიც შეიცვლებოდა. აღმოჩნდა, რომ ჩვენ ვიმყოფებით ისეთ მინიმუმში, რომელსაც შეესაბამება ვაკუუმის დადებითი ენერგია.

ზედაპირის მრავალგანზომილებიანობა და პარამეტრების სიმრავლე განაპირობებს მის მრავალფეროვნებას, შესაბამისი მაღალი ბურცოებებით (მთებით), ჩაღრმავებებით (ხეობებითა) და ველებით, რომელსაც მეცნიერებმა სიმების თეორიის

ლანდშაფტი უწოდეს. ჩალრმავეების ძირებს (მინიმუმებს) შეესაბამება სივრცე-დროის, ანუ ვაკუუმის, მდგრადი მდგომარეობები. ასეთ მდგარად მდგომარეობებში შეიძლება განთავსდნენ სხვადასხვა სამყაროები თავთავისი ფიზიკური კანონებითა და სტრუქტურებით. ამრიგად, სიმების თეორიაში არსებობს უამრავი ამოხსნა, რომელთაგან ბევრი მდგრადია. თითოეულს შეესაბამება არა მარტო ვაკუუმური ენერგიის სიმკვრივის გარკვეული მნიშვნელობა, არამედ ბუნების კანონების გარკვეული ერთობლიობა, რომლებიც მოქმედებენ სამგანზომილებიან სამყაროში. ისინი განსაზღვრავენ, თუ რა ტიპის ნაწილაკები არსებობენ მასში და რა ძალებით მოქმედებენ ისინი ერთმანეთზე, ანუ სამყაროს სახეს. ყოველ ამოხსნას შეესაბამება გარკვეული ნაწილაკების გარკვეული ერთობა, ძალები და კანონები შესაბამის მაკროსკოპიულ სამყაროში. ანუ, დამატებითი განზომილებების მრავალგანზომილებიანი რუკა წარმოადგენს ლანდშაფტს, რომლის ყოველი დაბლობი შეესაბამება გარკვეული ფიზიკური კანონების მდგრად ერთობას. ჩვენი დაკვირვებადი სამყარო შემთხვევით აღმოჩნდა იმ არეში, სადაც ფიზიკის კანონები ვარგისია სიცოცხლის წარმოშობის, არსებობისა და განვითარებისათვის [67;58].

5. ვაკუუმური ბნელი ენერგიის პრობლემა

ვაკუუმის ენერგიის პრობლემა წარმოადგენს თეორიული ფიზიკის უმნიშვნელოვანეს პრობლემას. კვანტური მექანიკის მიხედვით, ცარიელ სივრცეში განუწყვეტლივ წარმოიქმნებიან და ქრებიან ვირტუალური ნაწილაკები და ველები, რომლებიც ფლობენ დადებით ან უარყოფით ენერგიას. ყოველ პლანკის ზომის მოცულობაზე მოდის პლანკის ზომის ენერგია სიმკვრივით $\Lambda_3 = 10^{94}$ გრ/სმ³, მაშინ, როცა ვაკუუმის ენერგიის სიმკვრივის ამჟამინდელი ექსპერიმენტული მნიშვნელობა არ აღემატება 10^{-120} Λ_3 -ს.

ის, თუ რით აიხსნება ვაკუუმის ენერგიის სიმკვრივის ასეთი სიმცირე, 2000 წელს მეცნიერები შეეცადნენ აეხსნათ

სიმების თეორიის ამოხსნების უამრავობის საფუძველზე. სიმთა თეორიის ლანდშაფტზე შეიძლება წარმოიქმნას უამრავი, მაგალითად, 10^{500} სხვადასხვა მინიმუმი, რომელთაგან თითოეულ ამოხსნას თავისი შესაბამისი ვაკუუმური ენერჯის სიმკვრივის მნიშვნელობა შეესაბამება.

სიმების თეორიის მიხედვით, ვაკუუმური ენერჯია სქემატურად წარმოდგენს მრვალგანზომილებიანი ლანდშაფტის სიმაღლეს, რომელმაც შეიძლება მიიღოს ნებისმიერი მნიშვნელობა $-\Lambda_3$ -დან, $+\Lambda_3$ -მდე. სიმაღლეების საშუალო განსხვავება ტოლი იქნება $10^{-120}\Lambda_3$ -სი. ამიტომ ბევრი მნიშვნელობა მოხვდება $(0 - 10^{-120})\Lambda_3$ შუალედში. ჩვენი სამყაროს მდგომარეობა ერთ-ერთია 10^{500} მდგომარეობიდან. ამით აიხსნება მისი ვაკუუმური ენერჯის სიმკვრივის შესაბამისი მცირე მნიშვნელობა. სამყაროს არეები დიდი დადებითი სიმკვრივით იმდენად სწრაფად ფართოვდება, რომ წარმოუდგენელია იქ რაიმე სტრუქტურების ჩამოყალიბების მოსწრება. დიდი უარყოფითი სიმკვრივის რაიონები მალე იჭმუხნებიან და ქრებიან. ჩვენი სამყაროს შესაბამისი ვაკუუმური სიმკვრივე რომ ყოფილიყო $10^{-120}\Lambda_3$ -ზე მეტი, ან $10^{-118}\Lambda_3$ -ზე ნაკლები, ჩვენ მასში ვერ ვიქნებოდით. ამჟამად ზეახალ ვარსკვლავებზე დაკვირვებით დადგინდა იქნა, რომ ჩვენი სამყაროს სიმკვრივე $10^{-120}\Lambda_3$ -ს ტოლია. ბევრ მეცნიერს იმედი აქვს, რომ ფიზიკა საბოლოო ჯამში, ახსნის, თუ რატომაა ჩვენი სამყარო ასეთი. მაგრამ ჯერ საჭიროა პასუხი გაეცეს კითხვებს სიმთა თეორიის ლანდშაფტის შესახებ: ლანდშაფტის რომელ მდგრადად მდგომარეობას შეესაბამება ჩვენი ფიზიკური ვაკუუმი? ყველა სხვა ამოხსნა, ხომ არ შეიძლება ჩავთვალოთ მხოლოდ აბსტრაქტულ მათემატიკურ შესაძლებლობად? ნუთუ სიმების თეორია მხოლოდ ერთ ამოხსნას აძლევს რეალიზაციის საშუალებას? ხომ არ არსებობენ ჩვენი სამყაროს გვერდით სხვადასხვა სამყაროებიც, რომელთა არსებობის შესახებ ჩვენ არაფერი ვიცით და არც შეიძლება ვიცოდეთ?[67;61].

ამ ლანდშაფტის ყოველ ღრმულში არსებული ვაკუუმის დადებითი ენერჯია მოქმედებს ანტიგრავიტაციის მსგავსად და

ინვესსიის სამყაროს სამი განზომილების გაფართოებას. ყოველთვის უნდა გვახსოვდეს, რომ ჩვენი სამგანზომილებიანი სივრცის ყოველ წერტილში არსებობს მცირე ექვსგანზომილებიანი არე, რომელსაც შეესაბამება ლანდშოუტის რომელიმე წერტილი. ეს უმცირესი სივრცე წარმოადგენს უმცირეს 6-განზომილებიან ბუშტულს, რომელიც შეიძლება გადავიდეს ახალ ფაზაში და დაიწყოს ჩქარი გაფართოება. როგორც ძველი, ისე ახლად წარმოქმნილი სივრცე, ისე ფართოვდება, რომ ძველ სივრცეს ახალი არ გადაფარავს. რადგანაც სივრცე მალე იწვლება, მასში არის სამყოფი ადგილი როგორც ძველი, ისე ახალი ვაკუუმისთვის. ახალ ვაკუუმში, ენერჯის სიმკვრივე მცირეა ძველთან შედარებით. შემდეგ, ახალი მდგომარეობაც იშლება და მასში ჩნდება ვაკუუმის ახალი მზარდი ბუშტულაკი, კიდევ უფრო მცირე ენერჯით. პროცესი მეორდება მრავალჯერ ისე, რომ ადგილი აქვს განუწყვეტლივ ინფლაციურ გაფართოებას [94].

თითოეულ ბუშტულაკში მყოფი დამკვირვებელი (თუ პირობები ხელს უწყობს მის არსებობას), რომელიც ცდებს ატარებს დაბალ ენერჯიებზე, შეიმეცნება 4-განზომილებიან სამყაროს თავისი ფიზიკური კანონებით. ბუშტულაკში გარედან ინფორმაცია არ ხვდება, რადგანაც შუალედური სივრცე ფართოვდება ძალიან სწრაფად და სინათლეს არ ძალუძს მისი გადალახვა. შესაძლებელია, რომ ჩვენი სამყაროს დიდი აფეთქება წარმოადგენს უჩინარი განზომილებების ბოლო გადასვლას ახალ კონფიგურაციაში, რომელიც ახლაც ვერცელდება მრავალ მილიარდიანი სინათლის წლის მანძილზე. და ერთხელ (ძალიან შორეულ მომავალში) კოსმიური სამყაროს ჩვენმა ნაწილმა შეიძლება ხელახლა განიცადოს ახალი, მსგავსი გადასვლა [67;62].

რაც, ჩემი აზრით, იმას ნიშნავს, რომ სავსებით შესაძლებელია წარმოიქმნას ახალი ჩვენნაირი სამყარო. (ანუ სამყარო ციკლურია).

მთლიანად კოსმიური სამყარო წარმოადგენს ერთმანეთში ჩადგმულ გაფართოებადი ბუშტულაკების ქაფს. ამ ბუშტულა-

კებიდან მხოლოდ ზოგიერთში არსებობს ფიზიკის კანონების ერთობლიობა გალაქტიკების ფორმირებისათვის და სიცოცხლის წარმოშობისათვის. ჩვენი ხილული კოსმოსური სამყარო, დიამეტრით მაქსიმუმ 30-მილიარდი სინათლის წელი, წარმოადგენს მხოლოდ ერთ-ერთი ასეთი ბუშტულაკის უმცირეს ნაწილს [67;64].

მიუხედავად იმისა, რომ მეცნიერები ცდილობენ სიმების თეორიის დაზუსტებას, მისი ძირითად დებულებებში და შედეგების სისწორეში ეჭვი არ ეპარებათ. ჩვენი სამყაროს ბუნების კანონები დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელ ბუშტულაკში ვიმყოფებით.

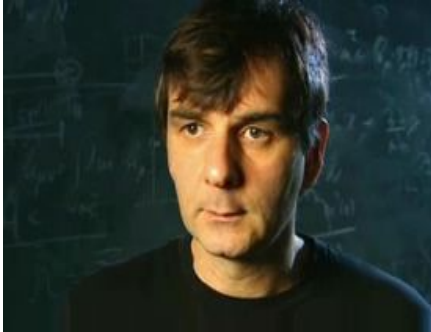
სიმების თეორიის რუკის ლანდშაფტზე ბევრი თეთრი ლაქაა. ჩვენ ჯერ კიდევ ვერ განვსაზღვრეთ ადგილმდებარეობა იმ მდგრადი ვაკუუმისა, რომელიც განაპირობებს ჩვენ ოთხგანზომილებიანი სივრცე-დროის კანონებს. ჯერჯერობით საჭიროა კოსმიური სამყაროს გამოკვლევა როგორც სიმების თეორიით, ისე სხვა მიდგომებითაც. აინშტაინი ცდილობდა გამოერკვია, შეეძლო თუ არა შემოქმედს აერჩია თუ როგორ აეგო სამყარო, თუ რაღაც ფუნდამენტური პრინციპი ზუსტად განსაზღვრავს სამყაროს კანონებს. ფიზიკოსები იმედოვნებენ, რომ მიაგნებენ ასეთ პრინციპს [67;65].

ჩემი აზრით, ეს პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ჩვენი უსასრულო და დაუსაბამო მრალგანზომილებიანი კოსმიური სამყარო წარმოადგენს თვითგანვითარებად, გონიერ და სულიერ ცოცხალ არსებას, რომელიც განუწყვეტლივ მიისწრაფვის აბსოლუტური სრულყოფისაკენ.

თავი 3 გ. დვალის დამსახურების შესახებ უახლეს კოსმოლოგიაში

შესავალი

გია დვალმა 1985 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო



უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი, 1992 წელს მოიპოვა მეცნიერული ხარისხი თბილისშივე თეორიულ ფიზიკაში. ამჟამად იგი ნიუიორკის უნივერსიტეტის პროფესორია თეორიულ ფიზიკის განხრით. 2001 წელს მან მიიღო ნიუიორკის მერის მიერ დაწესებული ჯილდო

განსაკუთრებული მიღწევებისთვის მეცნიერებასა და ტექნოლოგიაში. დღესდღეობით იგი ითვლება მეცნიერულ ავტორიტეტად თეორიული ფიზიკის დარგში. ძირითადად მუშაობს ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკისა და კოსმოლოგიაში. იგი მონაწილეობას იღებს დიდი ადრონული კოლაიდერზე ჩატარებულ ექსპერიმენტებში.

გია დვალისა და მისი ამერიკელი კოლეგების პროფესორების – ნიმა არკანი-ჰამედისა და სავას დიმოპოლოსის მიერ **PHYSICAL REVIEW**-ში გამოქვეყნებული ნაშრომი **XXI** საუკუნის სენსაციად იქცა, რომელმაც დააინტირესა არა მარტო სპეციალისტები, არამედ ფართო საზოგადოებაც [142].

მათი სამეცნიერო პოპულარობის მაჩვენებელია ციტირების ინდექსი, რომელმაც 3 წელიწადში 3000-ს გადააჭარბა და რამდენიმე მეტად პრესტიჟული პრემია, რომელიც მათ დაიმსახურეს. მეცნიერთა შრომა ეხება სამგანზომილებიანი სამყაროში დამატებითი ფარული განზომილებების არსებობას. ისე როგორც ორგანზომილებიანი სივრცე (ზედაპირი) შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ჩვენი სამგანზომილებიანი სივრცის ნაწილი, მისი ერთგვარი ჭრილი, ხომ არ შეიძლება

სამგანზომილებიანი სამყარო, თავის მხრივ, აგრეთვე იყოს რაღაც უფრო რთული, მრავალგანზომილებიანი სამყაროს ჭრილი (პროექცია).

მართალია, ექსპერიმენტულად ჩვენს სივრცეში დამატებითი განზომილება არ დაიკვირვება, მაგრამ ფიზიკოსები მივიდნენ იმ აზრამდე, რომ სავსებით დასაშვებია მასში არსებობდეს ძალიან მცირე (10^{-33} სმ) რადიუსის მქონე ჩახვეული დამატებითი გამზომილებები [33].

როგორც აღვნიშნეთ ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 20-იან წლებში, გერმანელი თ. კალუცასა და შვედი ოს. კლაინის მიერ წარმოდგენილ იქნა თეორია ერთი დამატებითი ჩახვეული განზომილებით, რომელმაც ვერ მიაღწია სერიოზულ წარმატებას. ასეთი მიდგომა კარგა ხნით იქნა უგულვებლყოფილი ფიზიკოსების მიერ. მაგრამ 50 წლის შემდეგ კალუცა-კლაინის მიდგომის მსგავსმა მიდგომამ დიდი პოპულარობა მოიპოვა და დასაბამი მისცა მთელ რიგ პერსპექტიულ თეორიებს. მათ შორის, უაღრესად მნიშვნელოვანია თეორია, რომელიც სუპერსიმების თეორიის საფუძველზე წარმოიქმნა. ამ თეორიაში ყველა დამატებითი განზომილების ზომა პლანკისეული ზომის – 10^{-33} -სმ რიგისაა. ასეთი მცირე განზომილებები ფიზიკოსებს დასჭირ-დათ ელემენტარული ნაწილაკების თანმიმდევრული თეორიის შესაქმნელად. მაგრამ იმავდროულად საჭიროა სივრცის სტრუქტურის შესწავლა აღებულ მანძილებზე, რისთვისაც აუცილებელი იქნებოდა 10^{19} GeV ენერგიის მქონე ნაწილაკები. საუკეთესო თანამედროვე ამაჩქარებლები იძლევიან მაქსიმუმ 10^3 GeV ენერგიის ნაწილაკებს. რაც იმას ნიშნავს, რომ ყოვლად შეუძლებელია ასეთი მცირე ზომის ფარგლებში სივრცის სტრუქტურის ექსპერიმენტული შესწავლა. სწორედ ამ ჩიხიდან გამოსვლის მიზნით, გაა დვალმა და მისმა თანაავტორებმა წამოაყენეს მეტად გაბედული იდეა, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს:

ჩვენს სამყაროს გააჩნია დამატებითი განზომილებები, რომელთა ჩახვევის რადიუსები პლანკისეული ზომისა კი არაა,

არამედ მილიმეტრის მეასედის რიგისა შეიძლება იყოს, რაც ძალიან დიდია ატომური ფიზიკის თვალსაზრისით [33;14].

ამ შემთხვევაში, ფიზიკოსებს შესაძლებლობა ეძლევათ შეისწავლონ სივრცის სტრუქტურა მათთვის ხელმისაწვდომ ენერგიების ფარგლებში.

ნებისმიერ მკითხველს ზემოხსენებული იდეა შეიძლება მეტად მარტივად მოეჩვენოს, მაგრამ ის მარტო ერთი შეხედვითაა მარტივი. სინამდვილეში, მეტად რთული იყო მისი სამართლიანობის შესაძლებლობის ახსნა. საქმე იმაშია, რომ ეს ახალი თეორია მარტო მაშინ იქნება მისაღები, თუ ის არსად არ მოვა წინააღმდეგობაში ფიზიკის მიერ უკვე დაგროვილ ცოდნასთან, ანუ დაკვირვებითა და ექსპერიმენტებით დადგენილ ფაქტებთან [33;18].

1. დამატებითი განზომილებები და მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

ნიუტონისეული გრავიტაციული ურთიერთქმედების კანონი გვეუბნება, რომ ორი სხეულის მიზიდულობის ძალა ამ სხეულების მასების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია და მათ შორის r მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია:

$$F = G_0 m_1 m_2 / r^2 \quad (1)$$

ამ ფორმულაში G გრავიტაციული მუდმივის რიცხვითი მნიშვნელობა დგინდება ექსპერიმენტით და არ ვიცით თუ რატომ აქვს მას ის მნიშვნელობა, რომელიც აქვს. ის კი გასაგებია, რომ ძალის მანძილის კვადრატისადმი უკუპროპორციული დამოკიდებულება ჩვენი სამყაროს სამგანზომილებიანობის შედეგია.

ჯერ კიდევ XIX საუკუნეში გაუსმა უჩვენა, რომ გრავიტაციული ველის მიზიდულობის ძალა განისაზღვრება გრავიტაციული ველის ძალხაზების სიმკვრივით. იგი სამგანზომილებიან სივრცეში ორგანზომილებიანი ზედაპირის ფართობის უკუპროპორციულია, რომლის სიდიდე მანძილის კვადრატით განისაზღვრება. ოთხგანზომილებიანი სივრცის შემთხვევაში (როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ) ზედაპირი იქნება სამგანზომ-

მიღებიანი. რის გამოც, გრავიტაციული ძალა მანძილის კუბის უკუპროპორციული იქნება, რაც გამოიწვევს მიზიდულობის კანონის შეცვლას [77;60].

ამიტომ, ოთხგანზომილებიან სივრცეში შესაბამისი გრავიტაციული ძალისათვის მივიღებთ:

$$F \sim 1/r^3.$$

ზოგადად n დამატებითი განზომილების შემთხვევაში მსოფლიო მიზიდულობის კანონს ექნება შემდეგი სახე:

$$F_n = G_n m_1 m_2 / r^{2+n} \quad (2)$$

თუ დამატებითი განზომილება ჩაკეტილია რაღაც R_0 ზომის რადიუსით, მაშინ $r < R_0$ არეში მსოფლიო მიზიდულობის კანონს აქვს თანაფარდობა (2)-ს სახე, ხოლო $r > R_0$ არეში, - (1)-ს სახე, რადგანაც ამ არეში დამატებითი განზომილებები უკვე ჩაკეტილი იქნება.

ცხადია, რომ $r=R_0$ მანძილზე ადგილი უნდა ჰქონდეს ტოლობას:

$$G_0 m_1 m_2 / R_0^2 = G_n m_1 m_2 / R_0^{2+n},$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$G_0 = G_n / R_0^n.$$

შევნიშნოთ, რომ გრავიტაციული G_n მუდმივა განისაზღვრება n -ით, R_0 -ითა და „ჭეშმარიტად“ ფუნდამენტური G_0 გრავიტაციული მუდმივით. ნიუტონის კანონი ცდებით შემონმეებული ყოფილა მხოლოდ სანტიმეტრამდე მანძილებისათვის. ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონის სამართლიანობის შემონმეება უფრო მცირე მანძილებზე, საშუალებას იძლევა შემონმდეს ჭეშმარიტება ჩაკეტილი განზომილებების არსებობის შესახებ. ასეთი ცდები მართლაც ჩატარდა სანტიმეტრის მეასედ მანძილებზე და ვერ აღმოაჩინეს რაიმე გადახრა ნიუტონისეული (1) კანონიდან. უფრო მცირე მანძილებზე სხეულზე გრავიტაციული ძალების მოქმედება ვეღარ იზომება [33;20].

რა მოვლენებში უნდა გამოჩნდეს ჩახვეული დამატებითი განზომილებები?

თანამედროვე ფიზიკის თვალსაზრისით, ყველა ურთიერთქმედება აიხსნება რალაც მუხტის (m – მასა, e – ელექტრული მუხტი და სხვა) გარშემო შესაბამისი ველის გაჩენით. ურთიერთქმედება ნაწილაკებს შორის ჩნდება იმის შედეგად, რომ ერთი სახის მუხტის მქონე ნაწილაკი ასხივებს შესაბამისი ველის კვანტს, რომელსაც მეორე ასეთივე სახის მუხტი შთანთქავს. ხოლო ველი არის ამ მუხტის გარშემო ველის ვირტუალური კვანტების განუწყვეტელი გამოსხივება და შთანთქმა.

კულონის კანონისა და გრავიტაციული ურთიერთქმედების კანონების მიხედვით მოქმედი ძალა უკუპროპორციულია მანძილის კვადრატისა, რაც განპირობებულია ჩვენი სამყაროს სამგანზომილებიანობით. თუ ეს ასეა, დამატებითი განზომილების გაჩენამ კულონის ფორმულის სახეც უნდა შეცვალოს. ახალი თეორიის მიხედვით, დამატებითი განზომილებები ატომის ზომებზე ბევრად მეტია. ამიტომ, მათ უნდა შეეცვალოს კულონის კანონის სახე. ეს ცვლილება კარდინალურად დაამახინჯებდა მიკროსამყაროში მიმდინარე პროცესებს. სინამდვილეში არაფერი ამისთანა არ ხდება. კვანტური მექანიკა მშვენივრად აღწერს ატომების ყველა თვისებას კულონის კანონის საფუძველზე. ანუ, დამატებითი განზომილებები არ ცვლის მიკროსამყაროში მიმდინარე პროცესებს ატომის ზომის ფარგლებში [33;22].

გია დვალმა და მისმა თანაავტორებმა დამაჯერებლად აჩვენეს, რომ დამატებით განზომილებებში შეღწევა და იქ მოძრაობა ჩვენივე ცნობილი ყველა ელემენტარული ნაწილაკებიდან მხოლოდ გრავიტაციული ველის გადამტან გრავიტონებს შეუძლიათ. ანუ, ჩვენი სამგანზომილებიანი სივრცეიდან ამოხტომა და სხვა დამატებით განზომილებიანი სივრცეში გადაკარგვა შეუძლიათ მხოლოდ გრავიტონებს. დანარჩენ ნაწილაკებს: ფოტონებს, ელექტრონებს, პროტონებსა და ატომებს არ ძალუძთ დატოვონ სამგანზომილებიანი სამყარო და გადაბარგდნენ სხვა დამატებით განზომილებიან სივრცეში. ეს ობიექტები ვერ ხედავენ მათთვის გახსნილ ახალ

გზებს. ამიტომ ახალი განზომილებების შემოტანა არაფერს ცვლის ჩვეულებრივ სამგანზომილებიან სამყაროში მიმდინარე მოვლენებისათვის. განსხვავება შეიძლება ვეძიოთ მხოლოდ გრავიტაციული ძალებით გამოწვეულ პროცესებში. ამის დამაჯერებელი ჩვენება კი არც ისე მარტივი იყო, რაც ავტორების დიდ მიღწევად უნდა ჩაითვალოს [33;23]

ფიზიკოსებს იმედი მიეცათ, რომ, როცა ამუშავდება მძლავრი ამაჩქარებელი, ევროპის ბირთვული გამოკვლევების (ცენტრში ჟენევა, შვეიცარია), დააკვირდებიან დიდი ენერგიის მქონე ნაწილაკების დაჯახებისას დაბადებული გრავიტონების დამატებით განზომილებებში გაფანტვის ეფექტს. ამ დროს შესამჩნევი იქნება ჩვენს სამგანზომილებიან სამყაროში იმ ენერგიის დანაკარგი, რომელსაც გრავიტონები წაიყოლებენ დამატებითი განზომილებების სივრცეში გადასვლისას. ეს იქნება ახალი თეორიის დამაჯერებელი დადასტურება [33;23].

2. სიცარიელის ენერგია

აღ. აიშტაინმა, გრავიტაციისა და მატერიისათვის უმცირესი ქმედების პრინციპის გამოყენებით, გამოიყვანა გრავიტაციული ველის განტოლება – ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ძირითადი განტოლება, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$R_{ik} - g_{ik} R / 2 = (8\pi k / c^4) T_{ik} \quad (3)$$

სადაც R_{ik} არის სივრცის სიმრუდის მეორე რანგის ტენზორი. R სივრცის სკალარული სიმრუდეა, რომელიც ინვარიანტული სიდიდეა და გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$R = g^{ik} R_{ik}$$

T_{ik} ენერგია-იმპულსის ტენზორია, ხოლო k -კოეფიციენტი – გრავიტაციული მუდმივა.

გრავიტაციული ველის განტოლებაში მარცხნივ არის სივრცე-დროის სიმრუდის მეორე რანგის ტენზორის კომპონენტები, ხოლო მარჯვნივ ენერგია-იმპულსის მეორე რანგის ტემზორის კომპონენტები.

აინშტაინმა ჩათვალა, რომ კოსმოსური სამყარო არის შემოსაზღვრული და სტაციონალური. ამიტომ მან თავის გრავიტაციული განტოლებას დაუმატა Λ -კოსმოლოგიური მუდმივა. როცა აინშტაინმა მას დაამატა მუდმივა, იგი მოათავსა განტოლების მარცხენა მხარეს, იმ დაშვებით, რომ იგი წარმოადგენს სივრცე-დროის თვისებას. მაგრამ თუ ამ წევრს გადავსვამთ ტოლობის მარჯვენა მხარეზე, ის მიიღებს სწორედ იმ მნიშვნელობას, რომელსაც მას ამჟამად მიაწერენ:

$$R_{ik} - g_{ik}R/2 = (8fk/c^4)T_{ik} + g_{ik}\Lambda \quad (4)$$

ამჟამინდელი გაგებით Λ მუდმივას როლს ვაკუუმის ენერჯიის სიმკვრივე ... ასრულებს.

მთელი 60 წლის განმავლობაში კოსმოლოგების მიერ კოსმოლოგიიდან ამოღებული იყო კოსმოლოგიური მუდმივა. ამჟამად, კოსმოლოგიური მოდმივა წარმოქმნა კვანტურმა მექანიკამ, რომელიც აღწერს ყველაზე მცირე მასშტაბის ფიზიკას. ახალი თეორიით, იგი წარმოადგენს ენერჯიის უცნაურ, ბნელ ფორმას, რომლის სიმკვრივე მუდმივი რჩება სამყაროს გაფართოებისას. ხოლო, ჯამური გრავიტაცია წარმოადგენს გამზიდავ ძალას და არა მიმზიდავს. ასეთი სახის ენერჯია, თურმე, მარტო ცარიელ სივრცეში შეიძლება არსებობდეს. მეცნიერთა უმეტესი ნაწილისათვის ცარიელი სივრცის ენერჯია, ინტუიციურად ნულის ტოლი უნდა იყოს. მაგრამ კვანტური ეფექტები ინტუიციას არ ემორჩილებიან. მასში თავისთავად იბადებიან და ქრებიან ნაწილაკ-ანტინაწილაკების წყვილები. ამიტომ, ვაკუუმს შეიძლება გააჩნდეს გარკვეული ენერჯია. ზოგი გამოთვლით, ვაკუუმის ენერჯიის სიმკვრივე გამოვიდა გაცილებით მეტი, კრიტიკულთან შედარებით. ფიზიკოსებისათვის გაუგებარი შეიქნა აინშტაინის კოსმოსური მუდმივის მნიშვნელობა, მაგრამ საქმეში ჩაერთო ბუნება [91;52].

კოსმოსური მიკროტალღოვანი ფონის არაერთგვაროვნებების შესწავლის საფუძველზე 2000 წელს მეცნიერების მიერ დადგენილ იქნა, რომ ჩვენი სამყაროს გეომეტრია ბრტყელია.

ამ აღმოჩენის სისწორე დადასტურდა 2003 წელს ახალი კოსმოსური აპარატურით ჩატარებული გაზომვებითაც [95].

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სამყაროს სიმკვრივე ნამდვილად კრიტიკულის ტოლია. დაკვირვებები კი მიუთითებენ, რომ სამყაროს არსებული დაკვირვებადი და ბნელი მატერიის ჯამური სიმკვრივე არ აღემატება 30%-ს, რაც, თავის მხრივ, იმაზე მიუთითებს, რომ სამყაროს 70% შევსებულია ვაკუუმის ბნელი ენერგიით.

მაგრამ, ასეთი მიდგომით სამყაროში მიმდინარე პროცესების განხილვისას მიღებულ იქნა, რომ სამყაროს ასაკი 13,7 მილიარდი წელია, რაც ყველაზე ძველი ვარსკვლავების ასაკზე ნაკლები აღმოჩნდა. მეორე მხრივ, ზეახალი ვარსკვლავების ნითელი წანაცვლების შესწავლამ უჩვენა, რომ დაახლოებით 5 მილიარდი წლის წინ სამყაროს შენელებული გაფართოება შეიცვალა აჩქარებული გაფართოებით [106].

ამჟამინდელი გამოთვლებით, სამყაროს აჩქარებული გაფართოების გათვალისწინებით, დგინდება, რომ სამყაროს ასაკი 14 მილიარდი წელია, რაც უკვე შესაბამისობაშია უძველეს ვარსკვლავთა ასაკთანაც.

3. სუპერსიმეტრიების სამყარო

მრავალი ფიზიკოსის აზრით, კვანტური მექანიკისა და გრავიტაციის გაერთიანება შეიძლება სუპერსიმეტრიული სიმების თეორიის ფარგლებში, რომლის ერთ-ერთ საფუძველს სუპერსიმეტრიები წარმოადგენს. ანუ სიმეტრიები ნახევარ-სპინიან ნაწილაკებსა და მთელ სპინიან ნაწილაკებს შორის.

აღმოჩნდა, რომ M-თეორია უშვებს ისეთ ამოხსნებს, რომელშიც ვაკუუმის ენეგიის სიმკვრივე შესაბამისობაშია კოსმოლოგიასთან [91;57].

გარდა ამისა, სიმების თეორია საშუალებას იძლევა სრულიად სხვა მიდგომით აიხსნას სამყაროს აჩქარებული გაფართოება. ამ მიზნით, გია დვალმა და მისმა კოლეგებმა გამოიყენეს სუპერსიმების თეორიის ის თავისებურება, რომელიც 3 ძირითად განზომილებასთან ერთად, უშვებს 5 - 7

ფარული დამატებითი განზომილების არსებობას. მათ დაუშვეს, რომ ეს დამატებითი განზომილებები შეიძლება გამოვლინდეს აინშტაინის ველის განტოლების დამატებითი წევრის სახით, რომელიც განაპირობებს სამყაროს აჩქარებულ გაფართოებას.

გ. დვალი სტატიაში „ვინ დაარღვია მიზიდულობის კანონი“, არკვევს, თუ რით უნდა იყოს გამოწვეული სამყაროს აჩქარებული გაფართოება, რომელმაც გააოგნა კოსმოლოგები და მიკროსამყაროს შემსწავლელი ფიზიკოსები. ცხადია მხოლოდ ის, რომ ყველაზე დიდ დაკვირვებად მანძილებზე, გრავიტაცია თავს ამჟღავნებს გამზიდავი ძალის სახით. ფიზიკის კანონების მიხედვით, გრავიტაცია წარმოიქმნება მატერიით. ამიტომ ფიზიკოსები გრავიტაციის უცნაურობას მიაწერენ ენერჯიის ახალ უცნაურ ფორმას. ეს არის ბნელი ენერჯიის არსებობის დაფუძნების საშუალება.

მაგრამ არსებობს თვით გრავიტაციული კანონის ცვლილების შესაძლებლობა. მეცნიერების ისტორიაში უკვე გვექონდა ამის პრეცედენტი, როცა ნიუტონის მიზიდულობის კანონი შეცვლილ იქნა აინშტაინის ზოგადი ფარდობითობის თეორიით. ხოლო ეს უკანასკნელი, უმცირეს მანძილებზე შეიცვალა გრავიტაციის კვანტური თეორიით. გრავიტაციის კვანტური თეორია შეიცვალა სიმების თეორიით, რომელიც აღწერს შავი ხვრელის ცენტრსა და პროტოსამყაროში მიმდინარე პროცესებს. სიმების თეორიის სპეციალისტები უგულვებლყოფენ კვანტომექანიკურ ეფექტებს დიდ მანძილებზე. მაგრამ, ბოლოდროინდელმა კოსმოლოგიურმა აღმოჩენებმა მეცნიერების წინაშე დასვა კითხვა: ხომ არ დაგვეზარება სიმების თეორია იმაში, რომ აღწეროს გრავიტაციის კანონი არა მარტო მიკროსკოპულ, არამედ ყველაზე შორ მანძილებზეც. ეს იმის შედეგია, რომ, როგორც უახლოესმა მეცნიერულმა მიღწევებმა გვიჩვენა, ზოგი დამატებითი განზომილება შეიძლება უსასრულო დიდობა და უჩინარიც იყოს. ისინი უჩინარნი არიან არა იმიტომ, რომ მათი ჩახვევის რადიუსები ძალიან მცირეა, არამედ იმიტომ, რომ ჩვენი სხეულების შემად-

გენელ ნაწილაკებს არ ძალუძთ ჩვენი სამგანზომილებიანი სივრცის დატოვება და დამატებითი გადასვლა. მხოლოდ გრავიტონებს შეუძლიათ ამ ხაფანგიდან თავის დახსნა, რის გამოც იცვლება გრავიტაციის კანონი [77;59].

4. სამუდამო პატიმრობა

გია დვალის აზრით, ჩაკეტილი განზომილებების იდეას აქვს ნაკლი. რატომაა რომ დამატებითი (ჩახვეული) განზომილებები (დიდი აფეთქების შემდეგ) რჩებიან ჩახვეულნი, მაშინ, როცა ჩვეულებრივი – უსასრულოდ იშლებიან?

მატერიისა და ენერჯის გავლენით ჩახვეული განზომილებებიც უნდა გამართულიყვნენ.

2002 წელს გია დვალმა გრიგორ გაბადაძესა და მასსიმო პორ-რატისთან ერთად დაუშვეს, რომ არსებობენ დამატებითი განზომილებები, რომლებიც არაფრით განსხვავდება ჩვეულებრივი, ჩვენთვის დაკვირვებადი 3 განზომილებისაგან. ანუ, ჩვენი სამგანზომილებიანი სივრცე წარმოადგენს სამგანზომილებიან ზედაპირს (მემბრანას), მრავალგანზომილებიან სამყაროში. ჩვეულებრივ მატერიას შეუძლია იარსებოს მხოლოდ ამ მემბრანის ფარგლებში, ხოლო გრავიტაციას შეუძლია მის მიღმა გასხლეტა. ეს შესაძლებელია იმის გამო, რომ იგი განპირობებულია გრავიტონების ნაკადით. სტატიკური გრავიტაცია ხორციელდება ვირტუალური გრავიტონებით, რომელთა დაკვირვება, როგორც დამოუკიდებელი ნაწილაკებისა, შეუძლებელია. მზე აკავებს დედამიწას გამოსხივებული ვირტუალური გრავიტონებით, რომლებსაც დედამიწა შთანთქავს. რეალური, ანუ უშუალოდ დაკვირვებადი გრავიტონები იბადებიან განსაზღვრულ პირობებში. სიმების თეორიის მიხედვით, გრავიტონები, სხვა ნაწილაკების მსგავსად, წარმოადგენენ უმცირესი ზომის რხევად სიმებს. ელექტრონი, პროტონი, ნეიტრონი და ფოტონი განიხილებიან, როგორც ღია და დამაგრებული ბოლოების მქონე (გიტარის სიმების მსგავსი) რხევადი სიმები, ხოლო გრავიტონი, როგორც ჩაკეტილი, რეზინის რგოლის მსგავსი – რხევადი სიმი.

მეცნიერების მიერ ნაჩვენებ იქნა, რომ ღია სიმებს ბოლოები დამაგრებულია სამგანზომილებიან მემბრანაზე. თუ ვეცდებით, რომ ღია სიმი მემბრანას მოვაცილოთ, ის გაიჭიმება, მაგრამ მასზე დამაგრებული დარჩება. ჩაკეტილი სიმები (გრაფიტონები) კი, პირიქით, თავისუფლად მოძრაობენ მთელ მრავალგანზომილებიან სივრცეში.

ავტორების აზრით, მცირე მასშტაბის პირობებში დამატებითი განზომილებები მჟღავნდება ისეთნაირადვე, როგორც ჩახვეული განზომილებების ჰიპოთეზაში. საშუალო მანძილებზე გრაფიტონები ემორჩილებიან გრაფიტაციის კლასიკურ კანონებს. აქ მთავარ როლს ასრულებს მემბრანა, როგორც სრულყოფილი მატერიალური ობიექტი. მასზე არსებობენ ჩვეულებრივი ნაწილაკები. მათ გარდა, იგი შეიცავს ვირტუალურ ნაწილაკ-ანტინაწილაკებს, რომლებიც იქმნებიან კვანტური ფლუქტუაციებით. ისინი ქმნიან გრაფიტაციას და რეაგირებენ მასზე. მემბრანის შემომსახვრელი სივრცე მართლა ცარიელია და გრაფიტონები თავისუფლად გადიან მის გარეთ. აღმოჩნდა, რომ საშუალო ტალღის სიგრძის გრაფიტონები მოძრაობენ მემბრანის გასწვრივ, რის გამოც, მიზიდულობის გრაფიტაცია ემორჩილება მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულობას. ამასთან, დიდი ტალღის სიგრძის გრაფიტონებს, რომელთა როლი უმნიშვნელოა მცირე მანძილებზე, შეუძლიათ თავისუფლად გადავიდნენ დამატებით განზომილებებში. ამიტომ, თუ ერთი დამატებითი განზომილება უსასრულოა, გრაფიტაციის ძალა შემცირდება მანძილის კუბის პროპორციულად [77;64].

გ. დვალი, თანავტორებთან ერთად, მივიდა დასკვნამდე, რომ დამატებითი განზომილებები არა მარტო ამცირებენ მიზიდულობას, არამედ აჩქარებენ კიდევ კოსმოსური სამყაროს გაფართოებას. ძირითადი იდეა აინშტაინისა იმასში მდგომარეობს, რომ მიზიდულობა წარმოადგენს სივრცე-დროის გამრუდების შედეგს, რომელიც დაკავშირებულია მასში არსებული მატერიისა და ენერჯიის სიმკვრივესთან. თუმცა, მრავალგანზომილებიან თეორიაში სიმკვრივესა და

გამრუდებას შორის თანაფარდობა იცვლება. დამატებითი განზომილებები განაპირობებენ განტოლებაში ისეთი შესწორებადი წევრის გაჩენას, რომელსაც მიყვავართ უბრალო მემბრანის გამრუდებასთანაც კი. ანუ, გრავიტონების გადინება იწვევს მემბრანის გამრუდებას, რომელიც არაა დამოკიდებული მემბრანის ფარგლებში არსებულ მატერიასა და ენერგიაზე. გარკვეული დროის შემდეგ მატერიისა და ენერგიის სიმკვრივე მცირდება და მათ მიერ გამოწვეული სიმრუდეც მცირდება, ხოლო, დამატებითი განზომილებებით გამოწვეული დეფორმაციის მნიშვნელობა იზრდება. იგი ასრულებს ისეთი დეფორმაციის როლს, როგორსაც გამოიწვევდა მუდმივი სიმკვრივის მქონე ფარული ენერგია (კვინტენსენცია) [77;66].

გ. დვალისა და მისი კოლეგების აზრით, მცირე მანძილებზე სამყარო აღინერება განტოლებით, რომელშიც ვაკუუმის ენერგიის სიმკვრივე იწვევს უარყოფით წნევას, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს სამყაროს აუჩქარებელ გაფართოებას. დიდ მანძილებზე აუცილებელია დამატებითი უსასრულო განზომილებების გათვალისწინება, რაც იწვევს დამატებითი წევრის გაჩენას გრავიტაციული ველის განტოლებაში.

ამიტომ, ვაკუუმის ენერგია ნულისაგან განსხვავდება და თანაბრადაა განაწილებული მთელ სამყაროში. ამ შემთხვევაში, წნევა $P = - \dots$

შესაბამისად, ავტორების აზრით, აინშტაინის გრავიტაციული ველის (4) განტოლება n -განზომილებიან სივრცეში, $c=1$ ერთეულებში, იღებს შემდეგ სახეს:

$$R_{ik} - g_{ik} R^{1/2}/2r_c - g_{ik} \dots = 8\pi G_n T_{ik},$$

სადაც $g_{ik} R^{1/2}/2r_c$ ახალი წევრია, რომელიც იწვევს მემბრანის გამრუდებას; T_{ik} - ენერგია-იმპულსის ტენზორია; G_n გრავიტაციული მუდმივაა - n რაოდენობის დამატებითი განზომილებიანი სივრცისათვის; r_c კრიტიკული მანძილია და $r_c = 14 \cdot 10^9$ სინათლის წელი.

$r = r_c$ მანძილებზე იცვლება სამყაროს გაფართოების კანონი. ახალი წევრები ქმნიან სივრცის უარყოფით სიმრუდეს,

რომელიც შედარებით მცირე მანძილებზე ნულის ტოლია, ხოლო დიდ მანძილებზე ინვევენ სამყაროს აჩქარებულ გაფართოებას.

5. დაკვირვების საშუალებები

იმისთვის, რომ გაირკვეს სამყაროს აჩქარებული გაფართოების მიზეზი, გ. დვალის აზრით, მეცნიერები დიდ იმედებს ამყარებენ ზეახალი ვარსკვლავების უფრო ზუსტ და დეტალურ შესწავლაზე.

მეორე სახის ექსპერიმენტული შემონმება მდგომარეობს მთვარის ნელი პრეცესიის შესწავლაში, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს გრავიტონების გადინებით. სანამ მთვარე შეასრულებს ერთ ბრუნს დედამიწის გარშემო, მისი მაქსიმალური დაშორების წერტილი პირველადი მდებარეობის მიმართ წაინაცვლებს 1 მმ-ით. მისი დაფიქსირება შესაძლებელი იქნება ამჟამინდელი გამზომი აპარატურის სიზუსტის 10-ჯერ გაზრდის შემთხვევაში.

გ. დვალის აზრით, დიდი ხნის განმავლობაში ითვლებოდა, რომ სიმების თეორია ეხებოდა მხოლოდ ზემცირე ობიექტებს და ვერავითარი ექსპერიმენტით ვერ დასტურდებოდა მისი ჭეშმარიტება. იქნება კოსმოსური აჩქრება მოგვეჩმაროს, ჩვენთვის ჯერ მიუღწეველ, დამატებით განზომილებებში შეღწევაში და უმცირესისა და უდიდესის ერთმანეთთან დაკავშირებაში. ანუ, გამორიცხული არ არის, რომ მთელი სამყაროს ბედი სიმებზე ჰკიდია[77;66].

ვიმედოვნოთ, რომ გ. დვალის ეს მოსაზრება უახლოეს ხანში ექსპერიმენტით დადასტურდება და ეჭვი გაუქრებათ იმ სკეპტიკოსებს, რომლებიც ფიქრობენ, რომ სამგანზომილებიანი სამყაროს წარმოქმნა დიდი აფეთქების მეშვეობით – მითია.

ამრიგად: *გ. დვალისა და მისი კოლეგების მიხედვით, სამყარო წარმოადგენს n-განზომილებიან სივრცეს, რომელშიც ნიუტონის მიზიდულობის კანონი იღებს შემდეგ სახეს:*

$$F_n = G_n m_1 m_2 / r^{2+n},$$

ხოლო ალ. აინშტაინის გრავიტაციული ველის განტოლება ოთხგანზომილებიან სივრცეში იღებს შემდეგ სახეს:

$$R_{ik} - g_{ik} R^{1/2}/2r_c - g_{ik} p_g = 8\pi G_n T_{ik}$$

ამასთან, ჩვენი სამგანზომილებიანი ხილული სამყარო წარმოადგენს უსასრულო მრავალგანზომილებიანი და მარადიული სამყაროს პროექციას, რომელშიც ის დაიბადა 14 მილიარდი წლის წინ.

ვიმედოვნოთ, რომ გია დვალის ეს მოსაზრება უახლეს ხანში ექსპერიმენტით დადასტურდება.

დასკვნა

ამჟამინდელი კოსმოლოგია ფიზიკის განვითარების თვალსაზრისით ახალ რეზერვს წარმოადგენს. კერძოდ, სამყაროს დიდი აფეთქება. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა მჭიდროდ გადაეჯაჭვა კოსმოლოგიას და სამყაროს ევოლუციას. დღევანდელი სამყაროს სურათის ესტრაპოლირებით შორეული წარსულისაკენ ტარდება ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის თანამედროვე წარმოდგენების შემონმების ცდები [67;44].

ამ დიდ მართონში საკმაოდ წარმატებულად მონაწილეობდა და მონაწილეობენ ქართველი ფიზიკოსებიც. ელემენტარული ფიზიკის განვითარების განვითარების ყველა ეტაპზე ქართველი ფიზიკოსებიც აქტიურად მონაწილეობდნენ და თითქმის ყველა თემაზე შესრულებული აქვთ თითო-ოროლა მაინც მნიშვნელოვანი ნაშრომი. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი ფიზიკის ფაკულტეტის კურსდამთავრებულები მონაწილეობენ დუბნაში, მოსკოვში, სერპუხოვოში, შვეიცარიაში, გერმანიაში, აშშ-ში და მთელი რიგი სხვა ქვეყნების ფიზიკოსთა კოლაბარაციებში. საქართველოში აღზრდილმა ფიზიკოსებმა შორს გაითქვეს სახელი. ყველასთვის ცნობილია გია დვალის, გიგა გაბადაძის, ზურაბ ბერეჟინის შრომები.

თავი 4. სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების ეტაპები უახლესი კოსმოლოგიის თვალსაზრისით

შესავალი

მრავალი მეცნიერის თვალსაზრისით, „თანამედროვე ფიზიკამ ამჟამად დასვა და წარმატებით გასცა პასუხი ისეთ გრანდიოზულ საკითხს, როგორცაა მთელი სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების საკითხი“ [19;9].

დღეისათვის საყოველთაოდაა მიღებული, რომ ოდესღაც, შორეულ წარსულში, მოხდა დიდი აფეთქება, რომლის შედეგადაც სივრცე, დრო და მატერია ერთდროულად წარმოიქმნა. ამ ფანტასტიკურ მომენტში ჩაისახა ბუნების კანონები [42;34].

რაც იმას ნიშნავს, რომ სულ რამდენიმე წლის წინ, მრავალი მეცნიერისათვის მისაღები იყო არაფრისაგან ყველაფრის წარმოშობის იდეა. უახლოეს წარსულში მეცნიერების მიერ სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების ყველაზე ოპტიმალურ თეორიად აღიარებული იყო სუპერგრაფიტაციაზე დაფუძნებული დიდი აფეთქების თეორიის ინფლაციური მოდელი, თეორია, რომელმაც გააერთიანა მიკროსამყაროს ფიზიკისა და მაკროსამყაროს შემსწავლელ მეცნიერებათა მიღწევები ერთიან მწყობრ, თანმიმდევრულ სისტემად. აკადემიკოს ი. ზელდოვიჩის აზრით, ეს თეორია იმდენადაა სანდო და ჭეშმარიტი, რამდენადაც ჭეშმარიტია ის, რომ დედამიწა ბრუნავს მზის გარშემო [73].

სამყაროს წარმოშობის დიდი აფეთქების თანამედროვე თეორიას საფუძვლად უდევს შემდეგი, ფუნდამენტური მნიშვნელობის, მეცნიერული მიღწევები:

1. ფრიდმანის მიერ 1922 წელს შექმნილი მკაცრი მათემატიკური თეორია სამყაროს არასტაციონარულობის შესახებ;

2. ჰაბლის კანონის აღმოჩენა სამყაროს გაფართოების შესახებ;

3. სამყაროში არსებული $3K^0$ ტემპერატურის მქონე მიკროტალღოვანი, ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ექსპერიმენტული აღმოჩენა (ა. პენზიანისა და რ. ვილსონის მიერ 1965

ნელს), რომელიც ნანინასწარმეტყველები იყო გ.გამოვის მიერ 1948 წელს დიდი აფეთქების თეორიაზე დაყრდნობით.

4. სამყაროს ჩასახვის მოწმე რელიქტიური ნანილაკები, რომელთაც დროის რომელიმე მომენტიდან შეწყვიტეს ურთიერთქმედება გარემოსთან, გადარჩნენ და დღევანდლამდე მოაღწიეს. იქიდან მოყოლებული მათ მოაქვთ ინფორმაცია სამყაროს იმდროინდელი მდგომარეობის შესახებ [42;47].

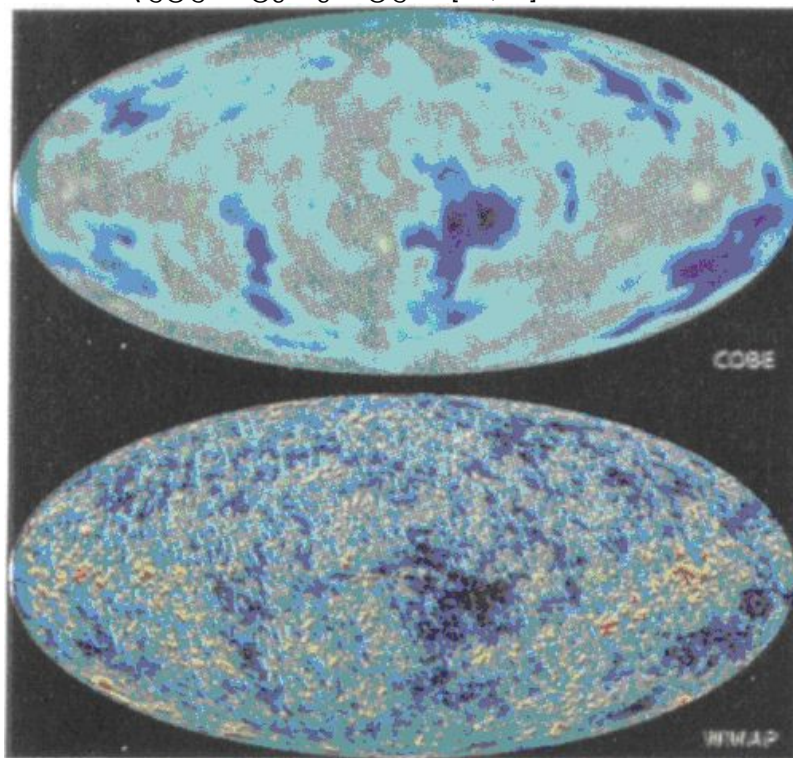
ასეთებია:

ა. გრავიტაციული ტალღები, რომლებიც განთავისუფლდნენ სამყაროს დაბადებიდან 10^{-43} წამში. იმ დროის მატერია უნდა აღინეროს გრავიტაციის კვანტური თეორიით, რომელიც ჯერ არ არის ბოლომდე დამუშავებული. პირველადი გრავიტაციული ტალღების სიგრძე სამყაროს ზომის რიგისა უნდა იყოს. გრავიტონები ჯერჯერობით უშუალოდ აღმოჩენილი არ არის, მაგრამ რელიქტიური გრავიტაციული ტალღების შესწავლით დადგენილ იქნა, რომ სამყარო ბრტყელია [126].

ბ. ნეიტრინოები, რომლებიც სუსტად ურთიერთმოქმედი, უმსუბუქესი ნანილაკებია. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ დიდი აფეთქებიდან 0,01 წამის შემდეგ ნეიტრინო აღარ ურთიერთქმედებდა გარემოსთან. ისინი ატარებენ ინფორმაციას 0,01 წამის შემდეგდროინდელი სამყაროს შესახებ. მაგრამ, ასტროფიზიკოსები მხოლოდ ახლა ითვისებენ ახალ მიმართულებას – ნეიტრონულ ასტროფიზიკას. ჯერჯერობით რელიქტიური ნეიტრინოების შესახებ არაფერია ცნობილი.

გ. ბირთვული ნანილაკები, რომლებიც წარმოიქმნენ აფეთქებიდან 14 წამის შემდეგ, ბირთვული ძალების მეშვეობით, პროტონებისა და ნეიტრონების გაერთიანების შედეგად. დაიწყო დეითერიუმისა და ჰელიუმის სინთეზი, რომელიც შეწყდა (3-5) წუთის შემდეგ, როცა ტემპერატურა დაეცა $3 \cdot 10^8$ K°-მდე. ამ მომენტიდან ჰელიუმის საერთო მასა პროტონების საერთო მასის 22-28 %-ს შეადგენს, რაც დასტურდება ჩვენი და ახლო მდებარე ვარსკვლავების ექსპერიმენტული მონაცემებით[42;49].

დ. $4 \cdot 10^5$ წუთის შემდეგ პლაზმის ტემპერატურა დაეცა 3000K^0 -მდე და პლაზმა გადაიქცა ნეიტრალურ აირად. ამ დროიდან ელექტრომაგნიტური გამოსხივება გამოეყო და დღესაც არსებობს მიკროტალღოვანი გამოსხივების სახით, რომელსაც რელიქტიურ გამოსხივებას უწოდებენ. მისი უაღბათესი ტალღის სიგრძე 1 მმ-ის რიგისაა, რასაც შეესაბამება $2,73\text{K}^0$ აბსოლუტური ტემპერატურა [42;44].



ნახ.3.4

რელიქტიური ფონის დიდი სუბუსტიტით გამოკვლევა საშუალებას იძლევა დადგინდეს სამყაროს ის სურათი, როგორიც ის იყო 14 მილიარდი წლის წინ. აღმოჩნდა, რომ რელიქტიური

ფონი ხასიათდება მცირე (0,0001%) არაერთგვაროვნებებით. 2003 წელს მაღალ მგრძობიარე თანამგზავრული ხელსაწყო WMAP (NASA) -ის მეშვეობით მიღებულ იქნა რელიქტიური ფონის ნატიფი სტრუქტურა. მიღებულ სურათზე ჩანს ფონის ტემპერეტურის მცირე არაერთგვაროვნებები (ნახ. 3.4).

მისი გამოკვლევით დადგინდა:

ა. ფონური გამოსხივება თარიღდება დიდი აფეთქებიდან 380000 წლით;

ბ. პირველი ვარსკვლავები გაჩნდა 210⁸ წლის შემდეგ;

გ. სამყარო შეადგენს 4% ჩვეულებრივ ბარიონულ მატერიას, 26% - ბნელ მატერიასა და 70% ბნელ ენერგიას;

დ. სამყარო მართლაც ბრტყელია.

5. ბოლო დროინდელი ყოვლისმომცველი და ოთხივე ფუნდამენტური ურთიერთქმედების გამაერთიანებელი M-თეორია, რომლის მიხედვით, ჩვენი სამგანზომილებიანი სამყარო წარმოიქმნა 11-განზომილებიან უსასრულო და მარადიულ სამყაროში, მასში არსებული მემბრანების დაჯახების შედეგად [73].

ჩვენი მიზანია, სუპერგრაფიტაციაზე დაფუძნებული დიდი აფეთქების ინფლაციური გაფართოების მოდელისა (თავი 2.3) და უახლესი M-თეორიის მიხედვით, განვიხილოთ გრძობად-კოსმოსური სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების ეტაპები:

1. 0 წმ, ნულოვანი ეტაპი;

2. 10⁻⁴³ წმ, აქტი სამყაროს წარმოქმნისა;

3. 10⁻³⁸ - 10⁻³⁶ წმ, ინფლაციური გაფართოების ეპოქა;

4. 10⁻³⁶ წმ, კვარკებისა და ლეპტონების წარმოშობის ეპოქა;

5. 10⁻⁵ წმ, პროტონებისა და ნეიტრონების ფორმირების ეპოქა;

6. 10⁻³ - 10² წამი, ჰელიუმის ბირთვების ფორმირება;

7. 310⁵ წუთი, პირველი ატომების გაჩენა;

8. 410⁵ წუთი, მოხდა სამყაროს გასხივოსნება ფიზიკური თვალსაზრისით.

9. 310⁵ წელი, გალაქტიკების ფორმირება, ვარსკვლავების წარმოქმნა;

10. 710⁹ წელი, მზის სისტემის წარმოქმნა;

11. 13,710⁹ წელი; თანამედროვე კოსმოსი.

1. ნულოვანი ეტაპი

ჩვენი კოსმოსური სამყაროს წარმოშობის დიდი აფეთქების ინფლაციური მოდელის მიხედვით ჩვენი დაკვირვებადი სამყაროს სივრცე, დრო და მატერია ერთდროულად წარმოიქმნა. ამიტომ „ნულოვანი ეტაპის“ ქვეშ იგულისხმება მისი წარმოშობის წინა პერიოდი, რომელსაც გრძნობადი სამყაროს დროის მიხედვით აზრი არა აქვს. მაგრამ ისმის კითხვა, რაში წარმოიშვა სამყარო, თუ ჩვენი ალქმადი სამყაროს სივრცე და დრო მასთან ერთად დაიბადა. იქმნება შთაბეჭდილება, რომ სამყაროს გაჩენის ნულოვან ეტაპზე არსებობდა მხოლოდ „არაფერი“, მაგრამ ლოგიკის თვალსაზრისით, „არაფერში“ არ შეიძლება რაიმე გაჩენილიყო, რადგან არაფრისგან, არათუ შეიძლება რაიმე წარმოიშვას, არამედ, როგორც ლუკრეციუსი გვამცნობს: „არაფრისაგან თვითონ ღმერთიც ვერაფერს შექმნის“ [27].

დიდი აფეთქების სტანდარტულ თეორიაში სამყაროს წარმოქმნის წინ არ არსებობდა დრო და სივრცე და სამყარო წარმოიქმნებოდა არაფრისაგან, სრულიად შემთხვევით, რაც პარადოქსულ მტკიცებას წარმოადგენს.

ეს პარადოქსი მოხსნა M-თეორიამ, რადგანაც მან პასუხი გასცა კითხვას, თუ რა იყო დიდ აფეთქებამდე. M-თეორიის მიხედვით, 11-განზომილებიან კოსმიურ სამყაროს გააჩნია თავისი უსასრულო სივრცე და მარადიული დრო, რომელიც არსებობდა დიდ აფეთქებამდეც, ახლაც არსებობს და მომავალშიც იარსებებს.

ამრიგად, „სიციარიელე“, სადაც დაიბადა ჩვენი სამგანზომილებიანი ალქმდი სამყარო, წარმოადგენს 11-განზომილებიან უსასრულო სივრცე-დროს, სავსეს ვაკუუმური ენერგიითა და

მატერიის ვირტუალური „უჩინარი“ ფორმით, რომელიც შე-
გრძნობადი მატერიის ფორმის (ნივთიერების) თვალსაზრისით,
„არაფერია“, მაგრამ პოტენციურად შეიცავს „ყველაფერს“
სამგანზომილებიანი რეალური აღქმადი სამყაროს წარმოსა-
ქმნელად.

ნმ. ბასილი დიდის აზრით, სამყაროზე ადრე იყო რაღაც
ზეციური ძალებისათვის შესაფერისი მდგომარეობა: ზედრო-
ული და მარადიული. მასში ყოველთა შემოქმედმა და დამბა-
დებელმა სრულყო ქმნილებანი: ნათელი, გონიერი და უხილავი
არსებანი, ყოველმხრივ შემკულნი და ჩვენს გონებაზე აღმატე-
ბულნი. ისინი უხილავი სამყაროს ყოფიერებას აღავსებენ
[7;117].

ჩემი აზრით, „ზეციური ძალების შესაფერისი მდგომა-
რეობა“ შეესაბამება 11-განზომილებიან უსასრულო სივრცე-
დროით ფიზიკურ ვაკუუმს – „სიცარიელეს“, რომელიც წარ-
მოადგნს შემოქმედის მოღვაწეობის არენას, სადაც იგი ქმის
უხილავ არსებებს, ხოლო შემდეგ წარმოქმნის ჩვენს გრძნო-
ბადკონკრეტულ სამყაროს ადამიანის ჩათვლით.

2. აქტი სამყაროს დაბადებისა

ამრიგად, შეიძლება დავუშვათ, რომ ე.წ. „სიცარიელე“,
რაშიც წარმოიშვა ჩვენი გკს პირველადი უმცირესი ბუშტუ-
ლაკის სახით, წარმოადგენდა 11-განზომილებიან უსასრულო
სივრცე-დროით ფიზიკურ ვაკუუმს. მასში არსებული მემბრა-
ნების დაჯახების შედეგად განუწყვეტლივ წარმოიშობიან და
ქრებიან 10^{-32} სმ ზომის 10-განზომილებიანი სივრცე-დროითი
ბუშტულაკები თავისი გეომეტრიითა და ფიზიკური თვისებე-
ბით. ამასთან, თითოეული მინისამყარო იბადება თავისი
დამახასიათებელი ρ სიმკვრივით, ფიზიკური მუდმივებითა და
კანონებით. სწორედ ერთ-ერთ ასეთ ბუშტულაკს წარმოად-
გენდა ჩვენი პროტოსამყარო, რომელიც წარმოიქმნა
პლანკისეულ უმცირეს დროში ($t = 5,4 \cdot 10^{-44}$ წმ), პლანკისეული
ზომისა ($r = 1,6 \cdot 10^{-32}$ სმ) და პლანკისეული (კრიტიკული)

სიმკვრივის ($\rho_3=1.4 \cdot 10^{94}$ გრ/სმ³) მქონე 10-განზომილებიანი სივრცე-დროითი ბუშტულაკის სახით.

მისი გაჩენის მომენტიდან დაიწყო ჩვენი სამყაროს დროის ათვლა, რომელიც ჯერ პორციებად, ხოლო შემდეგ უწყვეტად მიედინება. ამ მომენტიდან დაიწყო ჩვენმა სამყარომ თავისი ევოლუციური განვითარება, რომლის დროსაც ის გადავიდა თავისი განვითარების ერთი ფაზიდან მეორე ფაზაში და თანდათან მიაღწია ამჟამინდელ მდგომარეობას.

3. სამყაროს ინფლაციური გაფართოების ეტაპი

M-თეორიის მიხედვით, მარადიულად არსებულ 11-განზომილებიან სივრცეში არსებული მემბრანების ურთიერთ შეჯახების შედეგად წარმოიქმნა 10-განზომილებიანი უმცირესი ზომის მქონე ბუშტულაკი, რომელიც წარმოადგენდა ჩვენი სამყაროს **პროტოსამყაროს**. შემდგომ ბუშტულაკი განვითარდა ა. ლინდეს დიდი აფეთქების თეორიის ინფლაციური მოდელის მიხედვით.

ა. ლინდეს მიხედვით, წარმოქმნილი 10 განზომილებიანი სივრცული ბუშტულაკი წარმოადგენდა „ფსევდო“ ვაკუუმს, რომელიც იმყოფებოდა მეტასტაბილურ მდგომარეობაში [94].

აღმოჩნდა, „ფსევდო“ ვაკუუმი კვანტური ფიზიკის თვალსაზრისით ხასიათდება ენერჯიის ϵ სიმკვრივითა და უარყოფითი წნევით $p = -\epsilon$.

ვაკუუმში არსებული უარყოფითი წნევა იწვევს სამყაროს აჩქარებულ გაფართოებას. გაფართოების დასაწყისში ადგილი ჰქონდა ე.წ. გაფართოების ინფლაციურ სტადიას, როცა ბუშტულაკი მასში არსებული უარყოფითი წნევის ხარჯზე უსწრაფესად ფართოვდებოდა და მისი რადიუსი იზრდებოდა ექსპონენციალური კანონით.

ლათინური სიტყვა **inflatio** ნიშნავს გაბერვას. ინფლაციურმა გაბერვამ ახსნა კოსმოლოგიის ყველაზე მწვავე საკითხი: თუ რატომ არ გაქრა მყისიერად (გაჩენისთანავე) ახლად დაბადებული პროტოსამყარო. იგი სწრაფმა გაფართოებამ გადაარჩინა გაქრობას.

როცა ბუშტულაკის რადიუსმა მიაღწია გარკვეულ კრიტიკულ ზომას, სისტემა თავისი არამდგრადობის გამო, კვანტური ტუნელირების გზით, გადავიდა სხვა – ახალ ფაზურ მდგომარეობაში. ამ მდგომარეობაში სისტემა უკვე წარმოადგენდა კრიტიკული რადიუსის ზომის სამგანზომილებიანი სფერული ფორმის უზარმაზარი სიმკვრივის მქონე მონოლითს. როგორც პ. დევისი აღნიშნავს, ფსევდოვაკუუმი ხასიათდება არამდგრადობით, რომელიც, ერთი მხრივ, იწვევს მის ექსპონენციალურ გაფართოებას, ხოლო, მეორე მხრივ, ენერგიის შეუქცევად წარმოებას „არაფრისაგან“. ბუნებრივი ვაკუუმი წარმოადგენს უძირო „ქვევრს“. ბუნება ჰგავს ჭაობში ჩაფლულ იმ ბიჭს, რომელმაც თავი გაითავისუფლა საკუთარი ფეხსაცმლის ზონრების ამოქაჩვით [75;214].

იმ განსხვავებით, რომ ბიჭის შესაძლებლობები შეზღუდულია, ხოლო ბუნებისა – შეუზღუდავი.

აქედან იწყება ჩვენი გრძნობად-კოსმოსური სამყაროს განვითარების ახალი სტადია – დიდი აფეთქება. აქედან დაწყებული სამყარო ინერციით განაგრძობს გაფართოებას, რომლის სიჩქარე სწრაფად ეცემა სინათლის c სიჩქარეზე ნაკლებ სიჩქარემდე.

ს. ავალიანი, ნივთიერ მატერიასთან შედარებით, ქაოსს „არარად“ მიიჩნევს (ამ თვალსაზრისით, მით უმეტეს ვაკუუმური ბუშტულაკის ბნელი ენერგიაც შეიძლება „არარად“ მივიჩნიოთ. შესაბამისად სამყაროს წარმოქმნა ფსევდოვაკუუმის ბნელი ენერგიიდან შეიძლება მივიჩნიოთ კოსმოლოგიურ კრეაციონიზმად). ამიტომ, მისი აზრით, სამყაროს დიდი აფეთქებისა და ინფლაციური გაფართოების მოდელზე დაფუძნებულმა კოსმოლოგიური კრეაციონიზმის თეორიამ საბოლოოდ უარყო მატერიის მარადისობის იდეა, რომელიც ნებისმიერი მატერიალისტური მსოფლმხედველობის მთავარ საყრდენს წარმოადგენს. საუკუნეების მანძილზე უდავოდ მიჩნეული მატერიისა და ენერგიის შენახვის კანონი, თანამედროვე კოსმოლოგიამ, რბილად რომ ვთქვათ, კითხვის ქვეშ დააყენა, ხოლო შესაბამისად რელიგიურმა მსოფლმხედ-

ველობამ ახალი არგუმენტები შეიძინა და ის, რაც ადრე რწმენის სფერო იყო, ცოდნის, მეცნიერების სახით წარმოდგა [5;87].

ინფლაციის ეპოქა ვრცელდება (10^{-38} - 10^{-36}) წამის განმავლობაში. ფიქრობენ, რომ სამყაროს ზომა ორმაგდებოდა ყოველ 10^{-38} წამში. ე.ი. ინფლაციური გაფართოებისას სამყაროს ზომა გაიზარდა 2^{100} -ჯერ. ასეთი საჩქარე კი მრავალი რიგით აღემატება სინათლის სიჩქარეს. ეს დასაშვებია, რადგან ინფლაციური გაფართოების დროს არაფერი არ მოძრაობს, ფართოვდება მხოლოდ სივრცე და თან იყოლიებს მატერიას. ამასთან, სივრცის ყოველი წერტილი წარმოადგენს ცენტრს, რომლის მიმართ სფერული სიმეტრიით ფართოვდება სამყარო. ანუ, არ არსებობს სამყაროს აფეთქების 1 გამოყოფილი წერტილი.

ინფლაციური გაფართოების დასასრულს, $t = 10^{-36}$ წამისთვის, გკს წარმოადგენდა $T=0K^0$ ტემპერატურის მქონე სფეროს ფორმის გაფართოებად „მონოლითს“. ამ მდგომარეობაში ის წარმოადგენდა ფსევდოვაკუუმის მაგვარ მდგომარეობას, რომლის არამდგრადობის გამო, მყისიერად გადავიდა ახალ მომდევნო ფაზურ მდგომარეობაში: ბუშტულაკში ვაკუუმის ენერჯიის სახით არსებული ენერჯიის 30% გარდაიქმნა გამოსხივების ენერჯიად (ჩვეულებრივი მატერიის ენერჯიად დადებითი წნევით) γ -კვანტების სახით. გკს $T=0K^0$ გრადუსი ტემპერატურის მდგომარეობიდან მყისიერად გადავიდა გადახურებულ მდგომარეობაში ტემპერატურით $T=10^{28}K^0$ [94].

დიდი აფეთქების საწყის მომენტში, როცა (10^{19} - 10^{18}) გვე ენერჯიის მახლობლობაში ხორციელდება სუპერდიდი გაერთიანებისათვის საჭირო პირობები: უაღრესად დიდი ენერჯიები და უაღრესად მცირე მასშტაბები. მაშინ წარმოიქმნა მატერიის რალაც საწყისი მდგომარეობა, რომლის შემდგომმა განვითარებამ მიგვიყვანა დღევანდელ სამყარომდე.

ამის შემდეგ, ვაკუუმისმაგვარი მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი გრავიტაციული განზიდვა შეიცვალა ჩვეულებრივი გრავიტაციით, შენელებადი გაფართოებით და სამყარო ვითრდება ცხელი სამყაროს მოდელის მიხედვით.

4. სამყაროს დანაწევრების ეტაპი

გაფართოვების გამო სამყაროს ტემპერატურა მცირდება დიდი გაერთიანების თეორიის შესაბამის ტემპერატურად: $T_{\text{ღ}} = 10^{14}$ გევ $\approx 10^{27} K^\circ$.

ამ დროს პროცესები აღინერება დიდი გაერთიანების თეორიის შესაბამისი $SU(5)$ სიმეტრიით. ამ დროს თავისუფლად წარმოიქმნება ე.წ. X და \bar{X} ბოზონები.

სწორედ, გკს-ოს მდგომარეობის ეს ეტაპი წარმოადგენს „ლაბორატორიას“ დიდი გაერთიანების თეორიის შესამოწმებლად. ასეთ მაღალ ტემპერატურაზე, კვანტური ურთიერთქმედებების შედეგად, ვაკუუმის დიდი პოტენციალური ენერჯიის ხარჯზე იბადებიან და ქრებიან მძიმე ვექტორული ნაწილაკ-ანტინაწილაკები, ე.წ. X და \bar{X} ბოზონების სახით. თითოეული ბოზონის მასა $m_x = 10^{14}$ გევ-ის ტოლია. ამ დროს ადგილი ჰქონდა შემდეგ რეაქციებს:

$$X + \bar{X} = \gamma + \gamma;$$

$$\gamma + \gamma = X + \bar{X};$$

ანუ, მატერია ვაკუუმის ნეიტრალური პოტენციალური ენერჯიის ფორმიდან გადავიდა მატერიის ნივთიერ ფორმაში მატერიისა (ნაწილაკები) და ანტიმატერიის (ანტინაწილაკების) სახით. სამყარო, გაფართოებასთან ერთად, თანდათან ცივდებოდა, რის გამოც მცირდებოდა ბოზონების მოძრაობის სიჩქარე. ამიტომ ისინი სუსტი ურთიერთქმედების საშუალებით დაიშალნენ შემდეგი არხებით:

$$X \Rightarrow q + q;$$

$$X \Rightarrow q + e^-;$$

$$X \Rightarrow \bar{q} + \bar{q};$$

$$\bar{X} \Rightarrow \bar{q} + e^+;$$

სადაც q კვარკია, \bar{q} – ანტიკვარკი, e^- – ელექტრონი, ხოლო e^+ – პოზიტრონი (ანტიელექტრონი).

X ბოზონებისა და \bar{X} ანტიბოზონების დაშლის ალბათობა ერთნაირია. მაგრამ, დიდი აფეთქების თეორიის თანახმად,

დაშლის დროს ადგილი ჰქონდა მცირე ასიმეტრიას. ი.ზელდოვიჩის თვალსაზრისით, ასიმეტრია ნაწილაკ-ანტინაწილაკებად დაშლისას წარმოიქმნება მხოლოდ მაშინ, როცა სისტემა ევოლუციას განიცდის, ე.ი. როცა წარმოიქმნება დროის ისარი [80].

თუ ბუშტულაკის წარმოქმნასა და მის გაფართოების დაწყებას მივიჩნევთ ელემენტარულ აქტად და არა მრავლობით პროცესად (რომელიც იწვევს თერმოდინამიკური დროის ისრის წარმოქმნას), მაშინ, მისი გაფართოების დაწყება შეიძლება მივიჩნიოთ T-ინვარიანტობის დარღვევად. ეს, თავის მხრივ, იწვევს CP-ინვარიანტობის დარღვევას.

ამიტომ გასაგებია, რომ კოსმოსურ სამყაროში X და \bar{X} ბოზონების დაშლისას ადგილი ჰქონდა CP-ინვარიანტობის დარღვევას, რის გამოც ერთმანეთს არ უდრიდა მათი სხვადასხვა არხით დაშლის ალბათობათა შეფარდება:

$$k_1 \neq k_2;$$

სადაც

$$k_1 = \sigma(q + \bar{q}) / \sigma(\bar{q} + e^-),$$

$$k_2 = \sigma(\bar{q} + \bar{q}) / \sigma(\bar{q} + e^+).$$

აქ σ აღნიშნავს შესაბამისი პროცესის კვეთას. შედეგად აღმოჩნდა, რომ ყოველ 10^9 ნაწილაკ-ანტინაწილაკის წყვილზე ერთი ზედმეტი ნაწილაკი დაიბადა [80].

ამაში მჟღავნდება სუსტი ურთიერთქმედების აუცილებლობა გკს-ოს წარმოქმნისათვის. მიუხედავად იმისა, რომ X და \bar{X} ბოზონების კვარკ-ანტიკვარკებად დაშლის ასიმეტრიულობა ასეთი მცირე იყო, სწორედ ამან განაპირობა, შემდეგში ჩვენი გ.კს.-ოს ისეთი სახით ჩამოყალიბება, როგორიც ამჟამადაა. საქმე იმაშია, რომ შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ნივთიერი სამყაროსა და ანტისამყაროს თანაარსებობა შეუძლებელია. ნაწილაკები და ანტინაწილაკები ურთიერთშეხვედრისას განიცდიან ანიჰილაციას, ე.ი. გარდაიქმნებიან ფოტონებად და ქრებიან, როგორც ნივთიერი ნაწილაკები. მხოლოდ ის ერთი ნაწილაკი, რომელიც დარჩა თავის მენყვილე

ანტინანილაკის გარეშე, ინარჩუნებს რა თავის ნივთიერ არსებობას, წარმოადგენს უმცირეს „აგურაკს“ ნივთიერი სამყაროს ასაშენებლად. სწორედ ასეთმა, განადგურებას გადარჩენილმა, კვარკებმა განაპირობეს გალაქტიკების, ვარსკვლავების, პლანეტების, სხეულებისა და ადამიანების წარმოშობა.

დანარჩენი ნანილაკ-ანტინანილაკების წყვილები გარდაიქმნენ ფოტონებად (მატერიის ნეიტრალურ ფორმად), რომელთა კვალი ამჟამად აღმოჩენილია ფონური მოკლეტალღიანი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სახით.

5. სამყაროს ადრონიზაციის ეტაპი

დანაწევრების ეტაპის ბოლოს გრძნობადკოსმოსური სამყარო წარმოადგენდა კვარკების, ლეპტონებისა და γ -კვანტების გადახურებულ „ფაფას“. სამყაროს ეს მდგომარეობა აღინერება სტანდარტული მოდელის შესაბამისი ყალიბრულ სიმეტრიის შესაბამისი $SU(3) \times SU(2) \times SU(1)$ ჯგუფით.

$T = (10^{-12} - 10^{-5})$ წამის შუალედში, ტემპერატურის შემცირების კვალობაზე ($T = 10^{14} K^0$) იწყება კვარკ-ლეპტონური „ფაფის“ ახალ ფაზურ მდგომარეობაში გადასვლა – კვარკების „გატომრიანება“ (ადრონიზაციის ეტაპი). ამ პროცესს კვარკ-ადრონული გადასვლა ეწოდება, რომლითაც იწყება გკს-ოს აღმშენებლობითი ეტაპი. კვარკები, რომლებიც ნივთიერი სამყაროს უმცირეს „აგურაკებს“ წარმოადგენენ, ერთიანდებიან უფრო მსხვილ ერთეულებად – ადრონებად. მაგალითად, u და d კვარკებისაგან წარმოიქმნებიან – p პროტონები და n – ნეიტრონები.

$$(u u d) \Rightarrow p; \quad (u d d) \Rightarrow n;$$

ანალოგიურად, ანტიკვარკების შეერთებით მიიღება – \bar{p} ანტიპროტონი და – \bar{n} ანტინეიტრონი.

$$(\bar{u} \bar{d} \bar{d}) \Rightarrow \bar{n}; \quad (\bar{u} \bar{u} \bar{d}) \Rightarrow \bar{p};$$

სამ-სამი კვარკის შეერთებით, გარდა ნეიტრონებისა და პროტონებისა, წარმოიქმნებიან მათი მსგავსი ბარიონები და ანტიბარიონები; კვარკებისა და ანტიკვარკების გაერთიანებით კი, ე.წ. მეზონები. იმ დროს სამყაროს ტემპერატურა საკმაოდ

მაღალი იყო და დიდი ენერჯის ბარიონებისა და ანტიბარიონების ანიგილაციით წარმოიქმნებოდნენ γ -კვანტები, ხოლო γ -კვანტების ურთიერთქმედებით ბარიონ-ანტიბარიონები. იმ დროს, სამყარო წარმოადგენდა ბარიონების, ანტიბარიონების, მეზონების, ანტიმეზონების, ლეპტონების, ანტილეპტონებისა და γ -კვანტების „ფაფას“, სიმკვრივით $\rho = 10^{16}$ გრ/სმ³ და ტემპერატურით $T=10^{12}$ K⁰.

დაწყებული $t=10^{-3}$ წამიდან, როცა $T=10^{11}$ K⁰, ანიგილაციის გამო ადრონებისა და ანტიადრონების რაოდენობა მკვეთრად შემცირდა და სამყარო ძირითადად წარმოადგენდა ლეპტონების, ანტილეპტონებისა და γ -კვანტების „ფაფას“, ლეპტონ-ანტილეპტონური წყვილები ერთნაირი სისწრაფით იბადებოდნენ და ქრებოდნენ. ამ დროს არსებობდა პროტონებისა და ნეიტრონების შედარებით მცირე რაოდენობა. ეს პერიოდი გაგრძელდა $t = 1$ წამამდე, რომლის შემდეგ, კოსმოსური სამყაროს გაფართოების გამო ტემპერატურის – $T = 3 \cdot 10^9$ K⁰-მდე დაცემის შედეგად, ლეპტონ-ანტილეპტონების წყვილები ურთიერთ ანიგილაციით სწრაფად გარდაიქმნენ γ -კვანტებად. ამ მომენტიდან კოსმოსური სამყარო შედგებოდა უმთავრესად ფოტონებისაგან, ნეიტრინოებისაგან და შედარებით მცირე რაოდენობით პროტონების, ნეიტრონებისა და ელექტრონებისაგან.

6. ატომბირთვების წარმოშობის ეტაპი

სამყაროს დაბადებიდან დაახლოებით 150 წამის შემდეგ, როცა მისი ტემპერატურა $T=10^9$ K⁰-მდე დაეცა, დაიწყო სამყაროს აღმშენებლობის მეორე ეტაპი – ატომბირთვების წარმოქმნის ეტაპი, რომლის დროსაც p -სა და n -ის დაჯახებისას ძლიერი ურთიერთქმედების საფუძველზე წარმოიქმნება დეითერიუმის – ${}^2\text{D}$ ბირთვები, ხოლო ორი დეითერიუმის ბირთვის დაჯახების შედეგად კი, წარმოიქმნება ჰელიუმის ბირთვები – ${}^4\text{He}$. გ. გამოვის თეორიის თანახმად,

დაახლოებით 200 წუთში, სამყაროს ნივთიერების 25%-მდე გადაიქცა ჰელიუმის ბირთვებად (ვარსკვლავებში წარმოშობილი ჰელიუმის რაოდენობა შეადგენს 1%-ს), ხოლო დანარჩენი 75% დარჩა პროტონების სახით. ამ ეპოქაში წარმოიშვა მსუბუქი ელემენტების ბირთვებიც, რომელთა რაოდენობა 1%-ზე ნაკლები იყო. უფრო მძიმე ატომების ბირთვები წარმოიქმნენ გაცილებით გვიან, ვარსკვლავებში. ეს თეორია კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან [19;168].

7. ატომების წარმოშობის ეტაპი

რამდენიმე ასეული წლის განმავლობაში სამყარო წარმოადგენდა გაუმჭვირვალე პლაზმას, შედგენილს პროტონების, მსუბუქი ბირთვების, ელექტრონებისა და ფოტონებისაგან. გაუმჭვირვალეობა განპირობებული იყო თავისუფალი ფოტონების არარსებობით. საწყისი ბუშტულაკის წარმოქმნიდან $5 \cdot 10^5$ წლის შემდეგ, როცა ტემპერატურა $3000K^0$ -მდე დაეცა, ელექტრონებსა და პროტონებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთერთქმედების გამო, დაიწყო ნყალბადის ატომების წარმოქმნა.

8. სამყაროს გასხივოსნების ეტაპი

წყალბადის ატომების წარმოქმნიდან მოყოლებული ფოტონების ენერგია იმდენად შემცირდა, რომ მათ აღარ შეეძლოთ ატომების დაშლა, რის გამოც ისინი ჩამოშორდნენ ნივთიერ სამყაროს და თავისუფლად დაიწყეს მოძრაობა. ჩაბნელებული ნისლიც უცბად გაიფანტა და სივრცეც გახდა გამჭვირვალე. ე.ი. მოხდა სამყაროს გასხივოსნება ფიზიკური თვალსაზრისით.

აქედან იწყება გამჭვირვალე სამყაროს ეპოქა, სადაც ძირითად როლს ატომები ასრულებენ. თავისუფლად მოძრავი ფოტონები ქმნიან მხოლოდ ფონს გარკვეული ტემპერატურით, რომლის სიდიდე $3000K^0$ -დან 10^{10} წლის შემდეგ $2,7K^0$ -მდე დაეცა (ეს ფონური ტემპერატურაა 1946 წელს მ. გამოგმა ინინასწარმეტყველა და 17 წლის შემდეგ ა.პენზიასმა და რ.

ვილსონმა აღმოაჩინეს, რისთვისაც მათ 1965 წელს ნობელის პრემია დაიმსახურეს. ეს ფაქტი წარმოადგენს კოსმოსური სამყაროს წარმოშობის დიდი აფეთქების თეორიის ექსპერიმენტულ დასაბუთებას).

ნივთიერი სამყაროდან სინათლის გამოყოფის შემდეგ, სამყარო დიდი ხნის განმავლობაში უფორმო, ცივი და ბმელი იყო. ამ წლებს „სამყაროს შუა საუკუნეებს“ უწოდებენ.

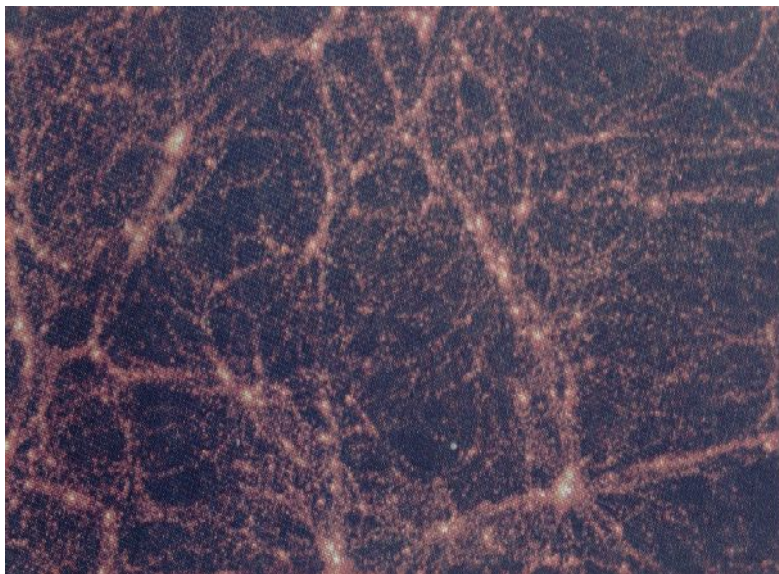
აქედან მოყოლობული იწყება სამყაროს განვითარების ახალი ეპოქა. სამყაროს ახლა მხოლოდ გრავიტაციული ძალა განაგებს, რომელიც განისაზღვრება მხოლოდ მასების განაწილებით სივრცეში [19;171].

9. ბადისებრი ქსელის წარმოშობა

დაახლოებით პირველი 510^5 წლის განმავლობაში, სამყარო იყო ძალიან მკვრივი და ცხელი, რომელიც თანდათან ფართოვდებოდა და ცივდებოდა, მაგრამ კვლავ მთლიან მასად რჩებოდა. თუმცა, მასში არსებობდა სიმკვრივის მცირე არაერთგვაროვნებები.

როგოც აღვნიშნეთ, M-თეორიის მიხედვით, მემბრანების ხორკლიანობის გამო, მათი დაჯახების შედეგად წარმოქმნილ ბუშტულაკში თავიდანვე გაჩნდა მცირე არაერთგვაროვნებები მატერიის განაწილებაში. ამიტომ, ინფლაციის ეპოქის ბოლოს, მასში დარჩა სიმკვრივის რალაც მცირე ფლუქტუაციები, ანუ გაიშვიათებული და მკვრივი არეები. მატერიის მომატებული სიმკვრივის არეები ქმნიდნენ გრავიტაციულ ძალებს, რომლებიც იზიდავდნენ გარშემო მყოფ მატერიას. ამიტომ, სიმკვრივის არაერთგვაროვნებები კიდევ უფრო მატულობდა, რომლებიც კიდევ უფრო ძლიერად იზიდავდნენ ირგვლივ ჰქმნიდნენ არსებულ მატერიას და სამყაროს ქსელს (ნახ.3.5).

ქსელის კვანძებში თავს იყრიდა სულ უფრო მეტი მატერია. დასაწყისში ქსელის უჯრედები მცირე გაბარიტიანი იყო, დროთა განმავლობაში კი ისინი გაიზარდნენ. შენადედთა ზრდასთან ერთად,, თვით ქსელიც იცვლებოდა.



ნახ.3.5 ბადისებრი ქსელი

ქსელის კვანძები მიიმდებოდა, ხოლო შენადედთა უჯრედების ზომა იზრდებოდა. ბოლოს და ბოლოს გაჩნდა შედარებით მკვრივი წარმონაქმნები ე.წ. პროტოგალაქტიკების სახით. რალაც დროის განმავლობაში მყარდებოდა გარკვეული წონასწორობა შინაგან წნევასა და მიზიდულობის ძალას შორის. წარმოიქმნენ ატომები და მოლეკულები, რომლებიც ასხივებდნენ სინათლის კვანტებს. გამოსხივების შედეგად მცირდებოდა შენადედის საერთო ტემპერატურა. შედეგად შენადედი მკვრივდებოდა და, შესაბამისად, შინაგანი ტემპერატურა იზრდებოდა. ბოლოს, მასში გაჩნდა შავი ხვრელი, რომელიც ხელს უწყობდა ვარსკვლავების წარმოშობას [42;51].

10. გალაქტიკების წარმოშობის ეტაპი

ცნობილი ფიზიკოსის ს. ვაინბერგის თვალსაზრისით, გალაქტიკების წარმოშობის თეორიული ახსნის პრობლემა

წარმოადგენდა ასტროფიზიკის ყველაზე უფრო რთულსა და გადაუჭრელ პრობლემას [68].

გალაქტიკების წარმოშობა და ევოლუცია განისაზღვრება რამდენიმე ძირითადი პროცესით: გრავიტაციული არამდგრადობით, რელაქსაციით, რადიაციული გაცივებითა და ვარსკვლავთ წარმოქმნით. გრავიტაციული არამდგრადობის გამო, მატერიის ქსელების ფორმირებისას, რალაც ეტაპზე ყოველ კვანძში თავს იყრის მატერიის ისეთი რაოდენობა, რომელიც საკმარისია გალაქტიკების წარმოსაქმნელად.

ამჟამინდელი წარმოდგენით, დიდი აფეთქებიდან მილიონი წლის შემდეგ, ქსელის კვანძებში წარმოიქმნენ პირველი, 30-100 სინათლის წლის დიამეტრის მქონე, არცთუ ისე დიდი ზომის, პროტოგალაქტიკები. შემდეგ აირის უფრო მკვრივი არეები განიცდიდნენ კოლაფსს, რამაც შექმნა პირველადი ვარსკვლავების წარმოქმნის პირობები. პირველადი ვარსკვლავების აფეთქების შემდეგ, წარმოიშვა ზეახალი ვარსკვლავები და შავი ხვრელები. დაიწყო თანამედროვე ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების წარმოშობა. გალაქტიკები, თავის მხრივ, ჯგუფდებოდნენ გროვებად და ზეგროვებად.

კოსმოსური სტრუქტურების განვითარების პრინციპი იგივე რჩება. სიმკვრივის ფლუქტუაციური არეები გრავიტაციული ძალებით, სულ უფრო მსხვილ ობიექტებად ერთიანდებოდნენ. სამყაროს ქსელი სულ უფრო მსხვილუჯრედებიანი ხდებოდა. კვანძებში ლაგდებოდნენ სულ უფრო და უფრო მსხვილი ობიექტები (პროტოვარსკვლავები, პროტოგალაქტიკები და გალაქტიკათა ჯგუფები).

გრავიტაციულ ძალთა ჭიდილში სამყაროს მთელი მატერია სხვადასხვა კვანძებში ნაწილდებოდა. პარალელურად სამყარო ფართოვდებოდა, რაც იწვევდა ქსელის გაჭიმვას. ამ პროცესის გამო პატარა კვანძები გაიწოვებოდა და ქრებოდა, ხოლო დიდები უფრო მსხვილდებოდა.

გარდა ამისა, პირველადი ვარსკვლავების (გალაქტიკებში არსებული შავი ხვრელების) აფეთქების შედეგად, წარმოიქმნებოდა ახალი მძიმე ელემენტები, რომლებიც შეიწოვებოდა

სხვა ახლად წარმოქმნილი შენადნობების მიერ. შემდეგ, ეს უკანასკნელები უფრო რთულ და მკვრივ ობიექტებად გარდაიქმნებოდნენ.

ბოლოს, ქსელის ძაფების გასწვრივ დალაგდნენ მატერიის ახალი მსხვილი შენადნოები. ხოლო, ქსელის კვანძებში დალაგდნენ გალაქტიკათა გროვები და ზეგროვები [42;58].

პროტოვარსკვლავების ცენტრში გაზის სიმკვრივე თანდათან გაიზარდა და საკუთარმა გრავიტაციულმა ძალებმა ისინი კიდევ უფრო შეკუმშა.

პროტოგალაქტიკები თანდათან გადავიდნენ ერთი მდგომარეობიდან მეორე, უფრო მდგრად სტრუქტურულ მდგომარეობაში, და ბოლოს, წარმოიქმნენ თანამედროვე სახის გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების სტრუქტურული ფორმები.

გალაქტიკა წარმოადგენს ვარსკვლავთა ერთობას. მისი ჩვეულებრივი მასა თავმოყრილია ვარსკვლავებში. დაახლოებით 10% მტვრისა და ატომების სახითაა ვარსკვლავებს შორის. გალაქტიკის სრული მასის უდიდესი ნაწილი ბნელ მატერიას წარმოადგენს. აღმოჩნდა, რომ ყოველ გალაქტიკაში საშუალოდ ყოველწლიურად ერთი ახალი ვარსკვლავი იბადება [45;59].

თანამედროვე გალაქტიკებში ჩვეულებრივი მატერია, რომელიც ყველა ელემენტს შეიცავს, კონცენტრირებულია მის ცენტრში, ხოლო ბნელი მატერია მის გარშემოა კონცენტრირებული და ავსებს მთელ გალაქტიკას. პროტოგალაქტიკებში ჩვეულებრივი მატერია, რომელიც წყალბადსა და ჰელიუმს წარმოადგენდა, შერეული იყო ბნელ მატერიასთან [42;55].

გალაქტიკური მატერიის შემადგენელი ნაწილების (მატერიის შენადნოების) შეჯახებათა შედეგად, მასში მყარდება წონასწორობა მიზიდულობის ძალებსა და შენადნოთა შიდა წნევას შორის. ამას მივყავართ ორივე სახის – ჩვეულებრივისა და ბნელი მატერიის სიმკვრივის შემცირებასთან ცენტრიდან პერიფერიისაკენ. ამ ეტაპზე ჩვეუ-

ლებრივი და ბნელი მატერია ჯერ კიდევ არ არის განცალკევებული.

შენადედაში შეკუმშვისას თავმოყრილი მატერიის ტემპერატურა მატულობს. ამიტომ, იზრდება შენადედის შიდა წნევაც, რომელიც მის შედეგ შეკუმშვას ანელებს. გათვლების მიხედვით, ტემპერატურა იზრდება დაახლოებით 1000K° -მდე (წნევა-მიზიდულობის ჭიდილში, ძლევს მიზიდულება და ჩვეულებრივი მატერია კვლავ იკუმშება). ამ ტემპერატურაზე წარმოიქმნება წყალბადის მოლეკულები, რომლებიც წყალბადის ატომებთან დაჯახებისას გამოასხივებენ ინფრანითელ სინათლეს. ამ გამოსხივების შედეგად ჩვეულებრივი მატერიის ტემპერატურა მცირდება ($200 - 300$) K° -მდე. შესაბამისად, ამ არეში წნევა მცირდება და ისევე მძლავრობს მიზიდულობა და ისევე იკუმშება ჩვეულებრივი მატერია. ამ პროცესში არ მონაწილეობს ბნელი მატერია, ვინიდან ის არ ასხივებს, რის გამოც ის არ ცივდება და არ იკუმშება. ამრიგად, ხდება ამ ორი მატერიის სივრცული განცალკევება. შედეგად, გალაქტიკის პერიფერიებში აღმოჩნდება ბნელი მატერია, რომელიც 5-6 - ჯერ მეტია ჩვეულებრივ მატერიაზე.

ექსპერიმენტულად მტკიცდება, რომ თითოეულ გალაქტიკაში და მის გარშემოც არსებობს უხილავი ნივთიერება, რომელიც თავს ამჟღავნებს მარტო გრავიტაციული მოქმედებით [75].

ეს ბნელი მატერია აკავშირებს ვარსკვლავებს გალაქტიკების შიგნით და მიუხედავად სამყაროს გაფართოებისა, არ აძლევს მათ საშუალებას დაშორდნენ ერთმანეთს. ცხადია, გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების სტრუქტურულობის ზრდა ხასიათდება ენტროპიის, როგორც ქაოსურობის ზომით, შემცირებით, რაც თითქოს ეწინააღმდეგება თერმოდინამიკის მეორე კანონს. მაგრამ ისინი უნდა განვიხილოთ ღია სისტემებად, რომლებიც მთელი სამყაროს მიმართ ქვესისტემებს წარმოადგენენ. ხოლო ცალკეულ ქვესისტემაში ყოველთვის შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს ენტროპიის შემცირებას, თუ სრული სისტემის ენტროპია უფრო სწრაფად გაიზრდება იმ

სიდიდით, რითაც მისი შემადგენელი ქვესისტემების ენტროპია შემცირდა.

რადგანაც გრძნობადკონკრეტული სამყარო როგორც მთლიანი სისტემა, სწრაფად ფართოვდება და შესაბამისად მისი ენტროპია სწრაფად მატულობს, მასში შემავალ ქვესისტემებს ეძლევათ სტრუქტურულობის სირთულის გაზრდის შესაძლებლობა.

გალაქტიკის ნანილების ბრუნვის სიჩქარე იზრდება ცენტრამდე მათი დაშორების მიხედვით. გალაქტიკების ბრუნვითი სიჩქარეების სიდიდეთა მნიშვნელობები გამოიყენება მათი მასების სიდიდეების განსაზღვრისათვის. თითოეული გალაქტიკის მასა 10^{10} – 10^{11} მზის მასის ტოლია. გალაქტიკის ბირთვის მასა მისი სრული მასის მხოლოდ რამდენიმე პროცენტს შეადგენს [96;434].

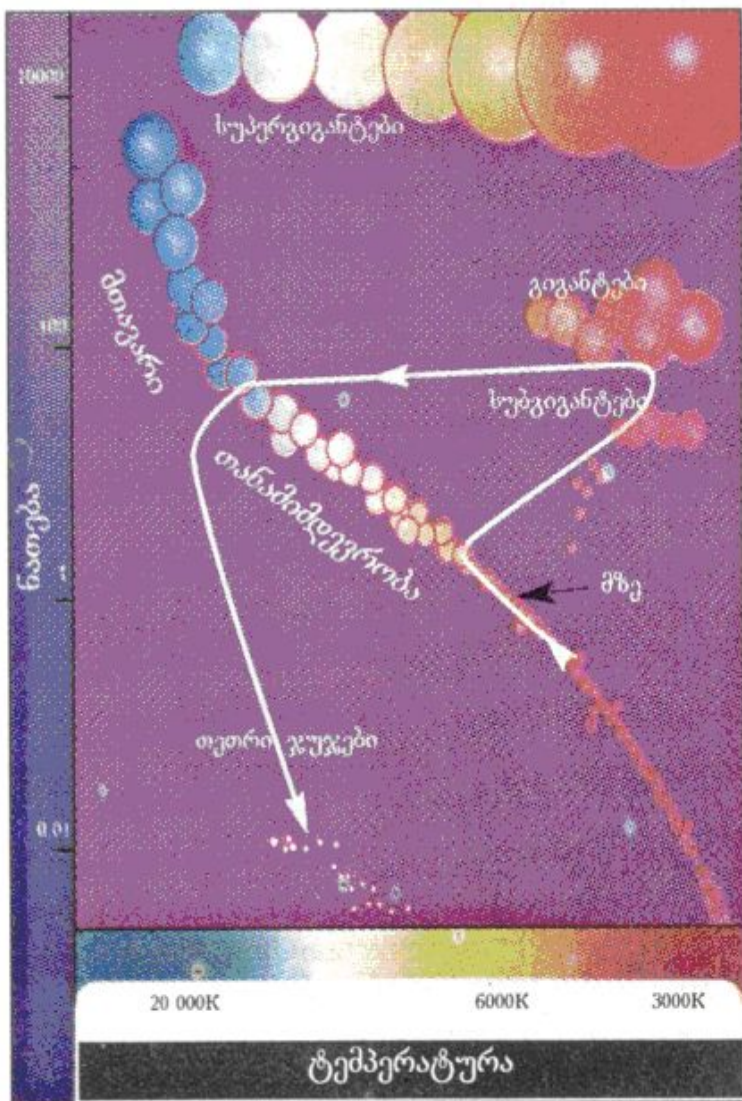
11. ვარსკვლავთა წარმოქმნის ეტაპი

ისევე, როგორც ყოველი ცოცხალი არსება, ვარსკვლავებიც იზადებიან, გადიან ახალგაზრდობის მჩქეფარე ხანას, არსებობის უდიდეს დროს სტაბილურობაში ატარებენ, შემდეგ ხანში შედიან და კვდებიან. წარმოქმნილი გალაქტიკების შიგნით არსებობს მატერიის სიმკვრივის არაერთგვაროვნებები.

თავიდან ვარსკვლავი ჩნდება პროტოვარსკვლავის სახით. იგი წარმოიქმნება ვარსკვლავთშორისო აირისა და მტვრის უშველებელი მუქი ღრუბლისაგან, გარშემო მყოფი მნათობების წნევისა და საკუთარი მიზიდულობის ძალის გავლენით. პროტოვარსკვლავი, პროტოგალაქტიკის მსგავსად, გადის

არაერთ შეკუმშვა-გაცხლების, რადიაციული გამოსხივებით გაციებისა და შეკუმშვის მომდევნო საფეხურის თანმიმდევრულ სტადიას.

ყოველი ასეთი ციკლის შემდეგ პროტოვარსკვლავის შიგნით ტემპერატურა იზრდება.



ნახ. 3.6 ჰერცშპრუნგ-რასელის დიაგრამა

გარკვეულ სტადიაზე იგი აღწევს 10^7K° -ს და იწყება თერმობირთვული რეაქციები ჰელიუმის წარმოქმნით. ამ მომენტიდან პროტოვარსკვლავი

ყოველი ასეთი ციკლის შემდეგ პროტოვარ-სკვლავის შიგა ტემპერატურა იზრდება. გარკვეულ სტადიაზე იგი აღწევს 10^7K° -ს და იწყება თერმობირთვული რეაქციები ჰელიუმის წარმოქმნით. ამ მომენტიდან პროტოვარსკვლავი

იქცევა ვარსკვლავად. ამ დროს იგი წარმოადგენს იონიზებული აერის სფეროს [42;66]. ნახ. 3.6-ზე გამოსახულია ვარსკვლავთა ნათების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

ამ დამოკიდებულებას ჰერცშპტრუნგ-რასელის დიაგრამას უწოდებენ. ჰორიზონტალურ ღერძზე ტემპერატურა მარცხნიდან მარჯვნივ კლებულობს. ვარსკვლავების უმეტესობა განლაგებულია დახრილი მრუდის გასწვრივ, რომელიც მიემართება ქვედა მარჯვენა კუთხიდან ზედა მარცხენა კუთხისაკენ.

ეს არის ე.წ. მთავარი თანმიმდევრობა, რომელზეც ვარსკვლავი ატარებს თავისი არსებობის უმეტეს ნაწილს. დროთა განმავლობაში ვარსკვლავი ამ მრუდზე გადაადგილება მარჯვნიდან მარცხნივ, სანამ არ გამოიწვევს მასში არსებული ნეკალბადი.

3.6-ე ნახაზზე მზის გადაადგილება ვარსკვლავის დიაგრამაზე ნაჩვენებია თეთრი ხაზით. მზე უკვე 5 მილიარდი წელია მიუყვება მთავარ დიაგრამას. გავა კიდევ 5 მილიარდი წელი, ვიდრე იგი მას მიატოვებს. მაშინ მზე დაიწყებს გაციებასა და გაფართოებას, გადაინაცვლებს მარჯვნივ ზევით, სუპერგიგანტების არეში. ამ სტადიაში ის გადაფარავს თავის პლანეტებს და შთანთქავს მათ. შემდეგ, ის თანდათან შეიკუმშება, დაიწყება თერმობირთვული რეაქციები მძიმე ელემენტების წარმოქმნით, და ბოლოს, გადაიქცევა თეთრ ჯუჯა ვარსკვლავად, რომლის დიამეტრი ოდნავ აღემატება დედამიწისას, ხოლო ნათება 1000-ჯერ შემცირდება. მრავალი მილიარდი წლის შემდეგ ის გადაიქცევა შავ ჯუჯად. იგივე ბედი ეწევა ყველა ვარსკვლავს, რომელთა მასა $1,4 M_{\odot}$ -ზე ნაკლებია.

ყოველ წუთში მზეზე 564 ტონა წყალბადი გარდაიქმნება ჰელიუმად, ხოლო 4 ტონა ნივთიერება გარდაიქმნება გამოსხივების ენერგიად, რომელსაც მზე ყველა მიმართულებით აფრქევს.

ვარსკვლავის მასა იზომება მზის მასებში - M_{\odot} , რომელიც $2 \cdot 10^{30}$ კგ-ის ტოლია.

რაც უფრო მსუბუქია ვარსკვლავი, მით უფრო ქვემოთ თავსდება ის მთავარ თანამიმდევრობაში. მზის მასის ვარსკვლავები მთავარ თანამიმდევრობაში რჩებიან 10 მილიარდი წლის განმავლობაში. მაშინ, როცა 5-ჯერ მძიმე ვარსკვლავები მთავარ თანამიმდევრობას ტოვებენ 60 მილიონი წლის შემდეგ [42;68].

12. მზის სისტემის წარმოშობის შესახებ

ჩვენი მზის სისტემის ქვეშ ძირითადად – იგულისხმება მზე და მის გარშემო მოძრავი პლანეტები (მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი, პლუტონი) თავის თანამგზავრებთან ერთად.

პლანეტები მოძრაობენ მზის გარშემო ელიფსურ ორბიტებზე. მათი მოძრაობის მიმართულება თანხვედება მზის ბრუნვის მიმართულებას თავის ღერძის გარშემო.

თითოეული პლანეტა ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო, რომლის მიმართულება თანხვედება მზის ბრუნვის მიმართულებას, გარდა პლანეტა ვენერასი, რომელიც ეკლიპტიკის სიბრტყიდან 98° - გრადუსიანი დახრილობის კუთხით მოძრაობს.

პლანეტებს ყოფენ ორ ჯგუფად:

1. შიდა, ანუ მზესთან ახლოს მდებარე პლანეტები: მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი.

2. გარე პლანეტები, ანუ პლანეტა გიგანტები, განთავსებული მზიდან შორს: იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი.

შიგა პლანეტებისათვის დამახასიათებელია მცირე ზომები, დიდი სიმკვრივე, შედარებით ნელი ღერძული ბრუნვა და თანამგზავრთა შედარებით მცირე რაოდენობა.

გარე ჯგუფის პლანეტები ხასიათდებიან გაცილებით დიდი ზომებით, მცირე საშუალო სიმკვრივით, თანამგზავრთა დიდი რაოდენობითა და ღერძული ბრუნვის დიდი სიჩქარით.

პლანეტების გარშემო ბრუნავს 39 თანამგზავრი, რომელთაგან 29 მოძრაობს პლანეტების მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო 10 – საწინააღმდეგოდ.

მზის სისტემა და მასში შემავალი დედამიწა, წარმოადგენს უნიკალურ სისტემას თავისი თვისებებითა და დამახასიათებელი პარამეტრებით. ალბათობა იმისა, რომ ჩვენ ხილულ სამყაროში ასეთი სისტემა სხვაც მოიძებნება, 10^{-19} -ის ტოლადაა მიჩნეული [124].

მზის სისტემა წარმოიშვა დაახლოებით $4,610^9$ წლის წინ. მზის სისტემის შედარებით სრულყოფილი მოდელი და პლანეტების მოძრაობის ორიგინალური თეორია ეკუთვნის ჩ.წ. აღ. II საუკუნის გამოჩენილ ალექსანდრიელ მეცნიერს **კლავდიოს პტოლემეს** დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში, რომლის ცენტრში მოთავსებულია დამკვირვებელი, მან საკმაოდ ზუსტად ასახა მზის, მთვარისა და პლანეტების მოძრაობა დედამიწის მიმართ. მისი მოდელით მთვარე და მზე დედამიწის გარშემო მოძრაობენ წრეწირზე. ხოლო თითოეული პლანეტა მოძრაობს ა კუთხური სიჩქარით „მცირე წრეწირის“ გარშემო, რომლის ცენტრი Ω კუთხური სიჩქარით მოძრაობს დიდ წრეწირზე დედამიწის გარშემო. პტოლემესი კინემატიკურად ყველაფერი სწორად ჰქონდა წარმოდგენილი, გარდა მანძილებისა დედამიწიდან მზემდე და მერკურამდე. მზის სისტემის ბუნებრივი წარმოშობის მეცნიერული წარმოდგენის პირველი ცდა ეკუთვნის რენე **დეკარტეს** (1596-1650)წწ. მისი თვალთახედვით, სამყაროს პირველსაწყისს წარმოადგენდა ქაოსური გრიგალისებურად მოძრავი მატერია, რომლის თანდათანობით კონცენტრირების შედეგად წარმოიშვა დედა-მიწა და პლანეტები. ამ

შეხედულებამ, შემდგომი განვითარება ჰპოვა კანტისა (1755წ.) და ლაპლასის (1796წ.) ჰიპოთეზაში, რომლის მიხედვით, მზის სისტემა დაიბადა უზარმაზარი აირის ნისლოვანებიდან.

შეკუმშვასთან ერთად, მისი ბრუნვის სიჩქარე იზრდებოდა, რის გამოც, გარკვეულ მომენტში, გარე შრეებზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალები აჭარბებენ მიზიდულობის ძალებს. ყოველ ასეთ მომენტში, ნისლოვანებას სცილდებოდა შემკვრი-

ვებული მასის რგოლები, რომლებიც თანდათან გადაიქცევიან რიგით პლანეტებად. ანალოგიური სახით ფორმირდებოდნენ თანამგზავრები პლანეტების გარშემო. მაგრამ ეს

ჰიპოთეზა წინააღმდეგობაში მოვიდა ახლად აღმოჩენილ ექსპერიმენტულ ფაქტებთან. აკადემიკოსმა შმიდტმა წარმოადგინა ახალი ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვით, მზე და სხვა პლანეტები წარმოიშვნენ სხვადასხვა დროსა და სხვადასხვა ნისლოვანებისაგან. მაგრამ, ეს ჰიპოთეზა წააწყდა დიდ სიძნელეებს პლანეტებისა და მათი თანამგზავრების განლაგებისა და მოძრაობის რაოდენობის მომენტების ექსპერიმენტული მონაცემების ახსნისას.

აკადემიკოსმა ნ. შილომ შემოგვთავაზა მზის სისტემის წარმოშობის ახალ ჰიპოთეზა [127].

მისი აზრით, მზის, პლანეტებისა და მათი თანამგზავრების დამახასიათებელი ფიზიკური პარამეტრების ანალიზური განხილვა საშუალებას იძლევა დავასკვნათ: ისინი წარმოიშვნენ ენერგეტიკულად ერთიანი დინამიკური სისტემიდან, რომელიც შედარებით დამოუკიდებელი იყო სხვა ვარსკვლავებისაგან. ასეთ სისტემად შეიძლება ჩაითვალოს გახურებული სპირალური ღრუბელი, რომელიც ბრუნავს საათის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ, და რომელიც, თავის მხრივ, წარმოიშობა მბრუნავი გალაქტიკის მხარში, დიდი წნევითი არამდგრადობისა და გაზების ძლიერი გრიგალის განვითარებით. ე.ი. პროტომზე წარმოადგენდა ე.წ. პირველადი რიგის სპირალს, რომლის ცენტრი შეიცავდა მისი მთელი მასის 98%-ს [127].

სპირალის ტოტებში, სადაც თავმოყრილი იყო პირველადი სპირალის დანარჩენი ნივთიერება, წარმოიქმნებოდა მეორე-

ული, ადგილობრივი სპირალური მოძრაობანი, რომელთა ცენტრები გარკვეული დროის შემდეგ გარდაიქმნენ პლანეტებად. მეორე რიგის სპირალების ტოტებზე ანალოგიურად, შესაძლებლობის ფარგლებში, ფორმირდებოდა მესამეული გრიგალური სპირალური წარმონაქმნები, რომელთა ცენტრები შემდგომში პლანეტების თანამგზავრებად გარდაიქმნენ. შემდეგ, სპირალური ფორმა თანდათან დაიშალა. ცენტრებიდან წარმოიშვა მზე, პლანეტები და მათი თანამგზავრები, რომელთა მოძრაობამ მიიღო ენერგეტიკულად ხელსაყრელი ფორმა.

ვნახოთ, რამდენად გაამართლებს ეს ჰიპოთეზა. ავტორის აზრით, წარმოდგენილი მოდელით შეიძლება უკეთესად აიხსნას როგორც პლანეტებისა და მათი თანამგზავრების წარმოშობის, ისე მათი მექანიკური მოძრაობის ფიზიკური თავისებურებანი.

სამყაროს დაბადებიდან $\sim 10^{10}$ წლიდან იწყება ჰელიუმზე უფრო მძიმე ქიმიური ელემენტების წარმოშობა ვარსკვლავებში.

დადგენილად ითვლება, რომ მზე 5 მილიარდი წლის შემდეგ ამოწურავს თავის ბირთვულ საწვავს და ჩაქრება. ხოლო სამყაროს ნივთიერი ნაწილი, პროტონების ლეპტონებად დაშლის გამო 10^{22} წლის შემდეგ გადაიქცევა ლეპტონებისა და ფოტონების გაუხშობებულ უდაბნოდ, ანუ სიცარიელედ.

ერთხელ დაბადებულ სამყაროს დასრულებაც ელის, რაც დიდ საიდუმლოებას წარმოადგენს.

დასკვნა:

ამრიგად, ჩვენი სამგანზომილებიანი კოსმოსური სამყარო, დაიბადა უსასრულო 11-განზომილებიან და მარადიულ კოსმიურ სამყაროში, ვითარდება და გარკვეული დროის შემდეგ ისევ დაუბრუნდება უსასრულო სიცარიელეს.

ასეთი წარმოდგენა თანხვედბა ძველად მოსავლურ სიბრძნისეულ აზრს, რომლის მიხედვით, ყოფა იბადება არყოფისაგან და უბრუნდება არყოფას, რომელიც ფლობს უსასრულო შემოქმედებით პოტენციალს.

ციტირებული ლიტერატურა

1. ს. ავალიანი, მეცნიერული ონტოლოგია, გამ.-ბა „ფილოსოფიური ბიბ-კა“, თბ., 1994.
2. ს. ავალიანი, XX საუკუნის ნატურფილოსოფია. თბ., 2004.
3. ს. ავალიანი, აინშტეინი. თბ., 1982.
4. ს. ავალიანი, ტელეოლოგია. შპს „ლევა“. თბ., 2003.
5. ს. ავალიანი, თეორიული ფილოსოფია. გამომცემლობა „უნივერსალი“. თბ., 2007.
6. ს. ავალიანი. გაშუაებული დაკვირვების შესაძლებლობის პრობლემა. „ფილოსოფიური ძიებანი“. მეც. აკადემ. თბ., 2009
7. ნმ. ბასილი დიდი. ჰომილიები ექვსი დღისათვის. საქართველოს ეკლესიის კალენდარი 2000. საქ. საბ. გამ. თბ., 1999
8. ბ. ბრეგვაძე. დრო და მარადისობა. II ტ. „ნეკერი“. თბ., 2006
9. ბ. ბრეგვაძე. ახალი თარგმანები . II ტ. „ნეკერი“. თბ., 2006
10. „ბიბლია“. საქ. საპატრიარქოს გამოცემა. თბ., 1989
11. თ. ბურჭულაძე, აზროვნების ევოლუციის შესახებ. თბ. 1996
12. უ. გათრი, ბერძენი ფილოსოფოსები. თბ., 1983
13. ზ. გამსახურდია, საქართველოს სულიერი მისია. „გან“. 1990
14. აკ. გელოვანი; მითოლოგიური ლექსიკონი. „საბჭოთა საქართველო“. თბ., 1983
15. რ. გორდეზიანი, ბერძნული ცივილიზაცია. „მერ“. თბ., 1988
16. ს. დანელია, ანტიკური ფილოსოფიის ნარკვევები. თბ., 1983
17. ოთ. გუგუჩია, რ. გულუა, რელიგია და მეცნიერება. „ინტელექტი“. თბ., 2004.
18. ვ. ერქომაიშვილი, ადამიანი, თავისუფლება, იდეოლოგია. „თსუ“. თბ., 2002.
19. ივ. ვაშაკიძე, გ. ნიკობაძე, თანამედროვე ფიზიკა ყველასათვის; თსუ, თბ., 1999.
20. ვლ. ვანაძე იბერიის სამეფოს წარმართული ღვთაებები. „უნივერსალი“. თბ., 2007
21. „იოანეს სახარება“; ბიბლიის თარგმნის ინსტიტუტი; 1993.

22. ზ. კიკნაძე, შუამდინარული მითოლოგია. „საბჭოთა საქართველო“. თბ., 1979.
23. გ. კოკოშაშვილი, ტერმინ ნარმართობისათვის. „შრომები“. საერთაშორისო კონფერენცია. , თბ., 2011
24. დ. კურდღელაძე, სიცოცხლე ფიზიკის თვალსაზრისით და სიცოცხლის ადგილი სამყაროში. „საქართველო“. თბ., 2001.
25. ევ. კესარიელი, საეკლესიო ისტორია, „ახალ. ივე“, თბ., 2007
26. ლაო -ძი, დაო დე ძინი. „საბჭოთა საქართველო“. თბ. 1983.
27. ლუკრეციუსი, საგანთა ბუნებისათვის. „საბ. საქ.“. თბ., 1958.
28. ვლ. ლოსკი; დოგმატური ღვთისმეტყველება. თბ. , 2007
29. „მეცნიერება და რელიგია“. პირ. საერთ. კონფერ. თბ. , 2005
30. ნ. მშვენიერძე, კანტის მოძღვრება ადამიანის შესახებ, „მეცნიერება“, თბ., 1986
31. ელ. ნადირაძე, მსოფლიო რელიგიები. „თსუ“. თბ., 1996
32. გ. ნატროშვილი, იბერო-ევროპული მეგაცივილიზაცია. „პოლიტრანსი“. თბ., 2011
33. გ. ნიკობაძე, სამყაროს ფარული განზომილებები. „ინტელექტი“. თბ., 2003
34. შ. ნუცუბიძე, ქართული ფილოსოფიის ისტორია. „საქართველოს მეც. აკადემია“. ტომი 1. თბ., 1956.
35. ვ. პარკაძე. გამოჩენილი ფიზიკოსები. „განათ.“. თბ. , 1967
36. ნ. პაპუაშვილი, რელიგიის კარიბჭე. „რუბიკონი“. თბ., 1996
37. რ. პატარიძე, ქართული ასომთავრული. „ნაკად“. თბ., 1980
38. იოანე პეტრიწი, სათნოებათა კიბე. „საბჭ. საქარ“. თბ., 1968.
39. იოანე პეტრიწი, განმარტებაჲ პროკლესთვის დიადოხოსისა და პლატონისისა ფილოსოფიისათვის. „იო. პეტრიწის შრომები“; ტ. II; შ. ნუცუბიძისა და ს. ყაუხჩიშვილის რედ. თბ., 1937.
40. პლატონი, ტიმეოსი (თარგ. ბაჩანა ბრეგვაძისა), თბ., 1994 .
41. ი. რენანი, ქრისტეს ცხოვრება და მოღვაწეობა. „მერანი“. თბილისი. , 1990.
42. ნ. როინიშვილი, მ. სვანაძე. სამყაროს ევოლუცია დიდი აფეთქებიდან დიდ გახლეჩამდე. თბ. 2004
43. გ. რუხაძე. დოგმატური ღმრთისმეტყველება. მსოფლიო საეკლესიო კრებები. სსგ, ბ., 2008.

44. ვ. რცხილაძე. ბოროტება, მისი ნიღბები და მისი გამოვლი-
ნება საქართველოში. თბ., 2006.
45. სულხან-საბა ორბელიანი, ლექსიკონი ქართული, „საბჭოთა
საქართველო“, თბ., 1966.
46. ვ. ტრასნიკოვი, მეცნიერულია სამყაროს მეცნიერული
სურათი. „მწყემსი კეთილი“, საქ.-ს საპ.ს ჟურნ. თბ., №1; 1995.
47. დ. უზნაძე, ფილოსოფ. შრომები. წიგ. II. „თსუ“, თბ., 1986
48. თ. ფანჯიკიძე. სარედაქციო წერილი ლ. სუნღულაშვილის
წიგნზე „სამყაროსა და სიცოცხლის წარმოშობა“. თბ., 2008
49. თ. ფანჯიკიძე, კრიშნას ცნობიერების საერთაშორისო
საზოგადოების თეორიული ნამძღვრები და პრაქტიკული
საქმიანობა. „ფილოსოფიური ძიებანი“ კრებული. თბ., 1997
50. ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია. ტომი 1. თბ., 1975
51. შ. შოშიაშვილი, მაკროსკოპული სისტემის დახასიათება
ინფორმაციული თვალსაზრისით. „მეცნიერება და
ტექნოლოგიები“, № 4-6 და № 7-8; თბ., 2001
52. შ. შოშიაშვილი, კოსმოსური სამყაროს ციკლოზობის
შესახებ. ჟურ. „მეცნიერება და ტექ. ბი“, № 4-6; 2003
53. შ. შოშიაშვილი, ზოგიერთი ქართული სიტყვის წარმოშობის
შესახებ. ჟურ. „საქართველოს ბიბლიოთეკა“, № 2.. თბ., 2007
54. შ. შოშიაშვილი. K_2^0 -მეზონის $2f$ მეზონად დაშლის აკრძალ-
ვის ხარისხის განსაზღვრა. „თსუ“ ზ3. თბ., 1969
55. შ. შოშიაშვილი. სამყარო მეცნიერება რელიგია.
„მერიდიანი“, თბ., 2008
56. რ. შტაინერი, თეოსოფია. „პითაგორა“. თბ., 1996
57. გ. ჭილაშვილი. რელატივიტური მექანიკა. „თსუ“ თბ., 1997
58. ან. ხელაშვილი. ელემენტარულ ნაწილაკთა ფიზიკის
განვითარების ძირითადი ეტაპები. „... და იყო დღე ფიზიკისა“;
სამეცნიერო კონფერენცია. „უნივერსალი“; თბ., 2005
59. ივ. ჯავახიშვილი, ქართველი ერის ისტორია. ტომი 1; „თსუ“-
ს გამომცემლობა, თბ. 1979
60. ვ. ჰაიზენბერგი, ნაწილი და მთელი. „განათლება“, თბ., 1983.
61. სტ. ჰოუკინგი. დროის მოკლე ისტორია; დიდი აფეთქებიდან
შავ ხვრელამდე. თბ., 2008

62. А. Азимов. Вселенная. „Мир". Москва. 1969
63. А. Березин, Концепция вакуумного мозга не противоречит научной картине Мира. „Наука и рел.", N7,1991.
64. Д. Бом. Причинность и слчаинность в современной физике, „ИИЛ", М. 1959
65. М.Борн. Физика в жизни моего поколения. Из.-во иностранной литературы. Москва 1963
66. В. Г. Буданов. „Синергия гармонии – ключ к эволюции формы и ритма.“ o.narod.ru/bibliotheca/budanov.thm
67. Р. Буссо, Йо. Полчински. Ландшафт теории струн. „В мире науки“, N12, 2004.
68. С. Вайнберг, Первые три минуты. Москва,1988.
69. Г. Вейль, Симметрия. Наука. Москва.1967.
70. Е. Вигнер, Етиуди о симетрии. Мир. Москва 1971.
71. В. Гейзенберг, „Физика и философия“, М. 1962.
72. Голдман, Теория информации. „ИИЛ“, М.,1957.
73. Бр. ГРИН. Элэгантная вселенная. Москва. 2004
74. Л. Гримак, Магия биополя. Энергоинформационное лечение. „Республика“. Москва.,1994.
75. П. Девис, Суперсила., „Мир“, Москва., 1989.
76. Г. Державин. ”Стихотворение”. Ид. „Совет. Писат.“ М., 1947
77. Г. Двали, Кто нарушил закон тяготения? „В мире науки“, N 5, 2004
78. М. Дирак. Воспоминания о необычайной эпохе. Наука. М. 1990
79. В. Ефремов. „Здесь и там: исследования и размышления.“ 2000. airclima.ru/research-deycnd.ntm
80. Я.Б. Зельдович, Современная космология. „Пр.-да", N 9.,1983.
- 81 Г. Р. Иваницкий. XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики. Успехи физических наук. Том 180. М. 4 . 2010 г
82. „Истоки",изд-во „Бхактиведанта“, М., 1994.

83. Краткий философский словарь. „Пол. Лит.“ Москва. 1987.
84. Ф. Капра, Дао физика. Int: <http://www.philosophy.ru/library/Pibrarg/капра>. „ОРИС“, „ЯНА-ПРИНТ“; 994; <http://bookz.ru>
85. Дж. Карери; Порядок и беспорядок в струатуре материи; „Мир“. Москва 1985.
86. Качубеиский, Что вероятное: случайное возникновение жизни на земле или её целонаправленное созидание?. „Наука и религ“, N 8. 1991.
87. Г. Кастлер, Возникновение биологической организации. „Мир“. М. 1967.
88. Краус, Невидимое вещество во Вселенной. „В м. науки“, N 2, 1987
89. В. Крейчи, Мир глазами современной физики. „Мир" М. 1984.
90. Б. Г. Кузнецов. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна. Из.-во Ак. Наук СССР. М. 1963
91. Л. Кросс, М. Тэрнер, Космическая загадка. „В м. Науки“, N 12, 2004.
92. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Теория поля. Наука, М.1984
93. . . 1962
94. А.Линде, Физика элементарных чостц и инфлационная космология. „Наука“, Москва, 1984.
95. Дж. Массер, Четыре ключа к Космлогии. „В м. Науки“, N 5, 2004.
96. Д.Я. Мартынов, Курс общей астрофизики. „Наука“, Москва, 1989
97. Г.И. Наан, Проблемы и тенденции релятивической космологии. „Эйнштейновький сборник“, Мос.,1966.
98. Ё. Намбу, Кварки, Москва „МИР" 1984
99. А.И. Наумов, Физика атомного ядра и элеметарных частиц. М., 1984

100. И. Новиков, Как взорвалась Вселенная. М., „Квант“, N 68, 1988.
101. И.В. Прангишвили. Системный подход к повышению эффективности управления. М., Наука. 2005
102. И. Пригожин, От существующего к возникающему. „Наука“, 1985
103. В.С. Поликарпов, Феномен жизни после смерти. „Феникс“, Ростов-на-Дону, 1995.
104. И. Радунская. Безумные идеи, „Малая гвардия“. Москва, 1967
105. И. Рыбин, Лекции о биофизике. „Ураль, Универ.“, Св.. 1999.
106. Ад. Рисс, М. Тернер, От замедления к ускорению. „В мире науки“, N 5, 2004.
107. Л. Рон Хаббард, Дианетика. Москва. „ВЕЧЕ“, 1995.
108. А.А. Харкевич. О ценности информации. „Проб. кибер.“ 4, 1960.
109. А.А. Сазанов. Зачем вселенной нужен человек?, „Дельфис“. 1999
110. А. Силин, Тайна информации. Журнал „Сознание и физическая реальность“. 30.06. 1998
111. Б. И. Спасский . История физики. Из-во Маск. Унив.-та 1963
112. О. Старосельская – Никитина. Эрнст Резерфорд „Наука“, М., 1967
113. М. Стенли ЛИВИНГСОН. Ускорители. „Иностран. Лит“. М. 1956
114. М. Стросс, План Вселенной. „В мире науки“, N 5. 2004.
115. С. Суворов. Макс Борн и его философские взгляды. (послесловие).
М. Борн. Физика в жизни моего поколения. „Ин. лит.“ М., 1963

116. Г. Тельнов. Ученый раскрыл тайну загробного мира . „Жизнь“ .08 Июня 2005
117. Д. З.Фридман, П. В. Ньювенхойзен. Скрытые размерности пространство-времени. В МИРЕ НАУКИ. N5 1985.
118. Г. Хакен, Синергетика. „Мир“. Москва.1980.
119. Б. Хобринк, Эволюция. Яйца без курицы. „Мартис" Москва, 1993.
120. С. Хокинг, Будет ли необходимость в идее создателя, когда нам станет понятен замысел Бога? „Наука и Религия“, N8,1991.
121. С. Хокинг, Есть ли место Богу в беспредельной Вселенной? „Наука и Религия“, N 6. 1900
122. С. Хокинг, От большого взрыва до чёрных дыр. Москва, 1990.
123. Д. Хоффман „Эрвин Шредингер“. „Мыр“, Москва 1987
124. М .Хлопов. Космомикрофизика. „Знание“, Москва,1989.
125. Хью Росс. Астрономическое доказательство существования библейского бога. 1991.
126. Уэйн Ху, Мартин Уайт, Космическая симфония. „В мире науки“, N 5, 2004.
127. Н. Шилов, Вихри-колыбель Солнечной системы „Гипотезы прогноза“, N 21., 1988.
128. Э.В. Шпольский Атомная физика физ-мат. издат. Москва 1963
129. Э. Шредингер, Что такое жизнь с точки зрения физики. „Атомиздат“, Москва,1957.
130. Р. Штейнман, Пространство и время. „Физ. – Мат. Литер“. М, 1962
131. Э.Шюре, Великие посвящённые. Калуга, 1914

132. Д.С.Чернавский, Теоретический подход к проблеме происхождения жизни. Ж. Всесоюзн. хим.о-ва. Д.Менделэва, N 4. 1980.
133. Эрик Дж. Чейсон. Первые результаты с космического телескоп „Хабл“. В Мире Науки, 9, 1991.
134. И. Юзвешин, К обоснованию фундаментальных основ информациологии. „Проб.-ма информациологии“. М. 1997.
135. И.Юзвешин, Что такое информациология и как она влияет на развитие новой информационно-космической цивилизации. „Между-нар. Акад. Информатизации“, М., 1996.
136. А. Эйнштейн, Собрание научных трудов. т.IV, Москва,1967.
137. А. Эйнштейн, Собрание научных трудов. т.II, Москва,1966.
138. А. Эйнштейн, Л.Инфельд. Эволюция физики. Из.во „Молодая гвардия“. 1968
139. N. S. Amaglobeli, Yu. A. Budagov, V.S. Rumyantsev, R.G. Salukvadze, Sh. S. Shoshiashvili, L. SHander, V.B. Vinogradov, A.G. Volodko; Total multiplicity distributions of secondary particles in f^-p interactions at 5-40 gv/c JINR Preprint, E1-9820, Dubna, 1976.
140. Z. Koba, H. B. Nielson, P.Oleson. Nuc. Phis., B40, 317 1972
141. Lange Hadron Collider. <http://ru.wikipedia.org/wiki/LHC>;
- LHC.
142. Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, Gia Dvali, Phenomenology, astrofiziks, and cosmologiy of theories with submillimeter dimensions and Tevscale quantum graviti. PHYSIKAL REVIER D.VOLUM 59,086004, March 1999.

სარჩევი

შესავალი-----	7
ნაწილი I	
მეცნიერული წარმოდგენები სამყაროს შესახებ	
თავი 1 მეცნიერების შესახებ	
შესავალი-----	14
1. ლუი და ბროილი მეცნიერების შესახებ-----	14
2. სტივენ ჰოპკინგი მეცნიერების შესახებ-----	24
3. მათემატიკური სილამაზე, როგორც ჭეშმარიტების გზის მაჩვენებელი-----	26
4. ფიზიკა და ფანტაზია-----	28
თავი 2 ანტიკური ფილოსოფია სამყაროს შესახებ	
1. ძველი აღმოსავლური ნატურფილოსოფია-----	30
2. ძველი საბერძნეთის ნატურფილოსოფია-----	32
3. პითაგორასა და მის მიერ შემეცნებული სამყაროს სურათის შესახებ -----	35
4. პლატონის ნატურფილოსოფია-----	39
5. ატომისტური კონცეფცია-----	56
6. არისტოტელეს ნატურფილოსოფია.-----	59
თავი 3 კლასიკური ფიზიკა	
1. ფიზიკის სათავეებთან-----	61
2. გალილეის მსოფლმხედველობა-----	62
3. ნიუტონის ფიზიკა-----	67
4. მაქსველის განტოლებები-----	71
თავი 4 ახალი ფიზიკა	
1. ნივთიერი სამყაროს საამშენებლო „აგურაკები“-----	74
2. რადიოაქტივობა-----	77
3. ატომის შემადგენელი ნაწილები-----	78
4. რეზერფორდის ცდა-----	79
5. ბირთვის შემადგენლობა. პროტონის აღმოჩენა-----	81
6. ფოტონები და დე-ბროილის ტალღები.-----	84
7. ატომის პლანეტარული მოდელი. ბორის პოსტულატები-----	86

8. ბირთვის პროტონ-ნეიტრონული მოდელი.-----	90
9. შრედინგერის განტოლება. ალბათობის ტალღები-----	94
10. ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი-----	98
11. დამატებითობის პრინციპი-----	100
12. დირაკის განტოლება-----	101
13. ახალი წარმოდგენა ვაკუუმის შესახებ-----	105
14. ანტინივთიერება-----	106
15. ფარდობითობის სპეციალური თეორია-----	107
16. სივრცე და მისი განზომილება-----	113
17. ოთხგანზომილებიანი სამყარო-----	118
18. ველის თეორიის თანამედროვე მდგომარეობ-----	123
19. ფარდობითობის ზოგადი თეორია-----	125
20. ფზთ-ის შემონმება-----	133
თავი 5. მიკროსამყაროს შესახებ	
1. ელემენტარული ნაწილაკები-----	135
2. კვარკული მოდელი-----	144
თავი 6 სიმეტრიები და მასთან დაკავშირებული საკითხები	
1. სიმეტრიები-----	155
2. ახალი სიმეტრიები -----	164
3. სიმეტრიის დარღვევა -----	170
თავი 7 სპინი და მასთან დაკავშირებული საკითხები	
1. სპინის შესახებ-----	173
2. სპინური სუპერსიმეტრია -----	178
3. რელატივისტური კვანტური რეალობის უცნაურობანი-----	180
4. პარადოქსების ლაბირინთი -----	189
5. მიკროსამყაროს საკვირველებანი-----	191
თავი 8 ურთიერთქმედებების შესახებ	
1. ფიზიკური მოვლენების კლასიფიკაცია-----	193
2. ფუნდამენტული ძალები.-----	195
3. ელექტრომაგნიტური ძალები -----	201
4. ფერის ძლიერი ძალები-----	209

5. სუსტი ძალები-----	212
თავი 9 ძალთა გაერთიანება	
1. ელექტროსუსტი ურთიერთქმედება-----	222
2. სტანდარტული მოდელის შესახებ-----	231
თავი 10 დიდი ადრონული კოლეიდერი	
1. ამჩქარებელი -----	232
2. დანადგარები შემხვედრი ნაწილაკებით-----	235
3. დიდი ადრონული კოლოიდერი-----	237
4. LHC-ს ტექნიკური მახასიათებლები-----	238
5. LHC -ზე დასმული მეცნიერული ამოცანები-----	240
6. მრავლობითობის შესახებ -----	242
თავი 11 სუპერდიდი გაერთიანება	
1. დიდი გაერთიანება-----	249
2. სუპერდიდი გაერთიანებისაკენ-----	257
3. სუპერძალა-----	258
4. კალუცა-კლეინის თეორია -----	261
5. სიმების თეორია -----	269
თავი 12 M თეორიის შესახებ	
შესავალი-----	286
1. შემფოთების თეორიის გამოყენება სიმების თეორია----	288
2. დუალობა სიმების თეორიაში-----	289
3. M-თეორიის გამოკრთომები-----	293
4. ფუნდამენტული ძალების ერთობა M-თეორიის მიხედვით	295
5. მატერიის ერთიანი თეორიის ძიება-----	298
ნაწილი II. კოსმოლოგია	
თავი 1 ასტრონომიული მონაცემები სამყაროს შესახებ	
ესავალი-----	305
1. უძველესი წარმოდგენები დედამიწის შესახებ-----	307
2. უძველესი წარმოდგენები მზის სისტემის შესახებ-----	312
3. მეცნიერული რევოლუცია ასტრონომიაში-----	315
4. მზის სისტემის ზომები-----	321

5. ვარსკვლავების შესახებ-----	323
6. გალაქტიკების შესახებ-----	325
7. ჰაბლის კანონი-----	327
8. ოლბერტის პარადოქსი -----	330
9. სამყაროს ჰორიზონტი-----	332
თავი 2 გაფართოებადი სამყაროს მოდელი	
1. ცარიელი სამყარო-----	334
2. ფრიდმანის წინასწარმეტყველება-----	336
3. ვაკუუმის დაქვანტვის შესახებ-----	341
4. პირველი ბიძგი-----	345
5. სამყაროს გაფართოება -----	348
6. რა იყო დიდ აფეთქებამდე -----	350

ნაწილი III. უახლესი კოსმოლოგია

თავი 1 სიმური კოსმოლოგიის შესახებ

1. სამყაროს დასაწყისი სიმური კოსმოლოგიით-----	351
2. მულტისამყაროს შესახებ -----	356

თავი 2 უახლესი კოსმოლოგიური მიღწევები

შესავალი-----	359
1. რელიქტური გამოსხივების შესწავლის ახალი შედეგები--	361
2. კოსმოსური რუკის შესწავლის შედეგები-----	362
3. სამყაროს აჩქარებულად გაფართოების აღმოჩენა-----	365
4. სიმების თეორიის ლანდშაფტი-----	369
5. ვაკუუმური ბნელი ენერჯიის პრობლემა-----	371

თავი 3 გ. დვალის დამსახურების შესახებ

უახლეს კოსმოლოგიაში

შესავალი-----	375
1. დამატებითი განზომილებები და მსოფლიო მიზიდულობის კანონი-----	377
2. სიცარიელის ენერჯია-----	380
3. სუპერსიმეტრიების სამყარო-----	382

4. სამუდამო პატიმრობა-----	384
5. დაკვირვების საშუალებები -----	387
თავი 4 სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების	
ეტაპები უახლესი კოსმოლოგიის თვალსაზრისით	
შესავალი-----	389
1. ნულოვანი ეტაპი -----	393
2. აქტი სამყაროს დაბადებისა-----	394
3. სამყაროს ინფლაციური გაფართოების ეტაპი-----	395
4. სამყაროს დანანევრების ეტაპი-----	398
5. სამყაროს ადრონიზაციის ეტაპი-----	400
6. ატომბირთვების წარმოშობის ეტაპი-----	401
7. ატომების წარმოშობის ეტაპი-----	402
8. სამყაროს გასხივოსნების ეტაპი-----	402
9. ბადისებრი ქსელის წარმოშობა-----	403
10. გალაქტიკების წარმოშობის ეტაპი-----	404
11. ვარსკვლავთ წარმოქმნის ეტაპი -----	408
12. მზის სისტემის წარმოქმნის შესახებ-----	411
ციტირებული ლიტერატურა-----	415
სარჩევი-----	423
ბიოგრაფიული ცნობები -----	428

ბიოგრაფიული ცნობები

შოთა შოშიაშვილი დაიბადა 1937 წლის 11 ნოემბერს თბილისში. მამა – შოშიაშვილი სოლომონი (1909-1972) – სპეციალობით ხით-ხურო, დაწყებითი განათლებით. დედა – ქობილაშვილი თამარი (1915-1996) – დიასახლისი, საშუალო განათლებით.

შ. შოშიაშვილმა 1956 წელს წარჩინებით დაამთავრა თბილისის რკინიგზის №9 საშუალო სკოლა. 1957-დან სწავლობდა თსუ-ის ფიზიკის ფაკულტეტზე, რომელიც წარჩინებით დაამთავრა 1963 წელს და მუშაობა დაიწყო თსუ-ს ფიზიკის ფაკულტეტის ბირთვული ფიზიკის კათედრაზე.

შ. შოშიაშვილი იმყოფებოდა ხანგრძლივ სამეცნიერო მივლინებაში ქალაქ დუბნის ბირთვული გამოკვლევების გაერთიანებულ ინსტიტუტში, სადაც 1977 წელს დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია მაღალი ენერგიების ფიზიკაში.

1988 წლის სსრკ მინისტრთა საბჭოსთან არსებული უმაღლესი საატესტაციო კომისიის გადამწყვეტილებით შ. შოშიაშვილს მიენიჭა უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის წოდება.

მას, სხვა მეცნიერთანამშრომლებთან ერთად გამოქვეყნებული აქვს 55 სამეცნიერო შრომა ელემენტალური ნაწილაკების ფიზიკაში.

1993 წლიდან იგი დაინტერესდა რელიგიისა და მეცნიერების ურთიერთმიმართების საკითხებით. ამ მიმართულებით მან დაწერა 11 სტატია; 2008 წელს გამოაქვეყნა წიგნი სახელწოდებით „სამყარო, მეცნიერება, რელიგია“.

იგი, ბოლო 4 წლის განმავლობაში გაცნობილ შესაბამის ახალ მასალას, ახლებური გააზრებით, აქვეყნებს წინამდებარე წიგნის სახით, რომელშიც განხილულია კოსმიური საყაროს სტრუქტურულობისა და ევოლუციურობის საკითხები თეოსოფიური თვალსაზრისით.

(ტელ: 2 23 55 03; მობილ. 551 23 55 05).



შოთა შოშიაშვილი დაიბადა 1937 წლის 11 ნოემბერს თბილისში. მამა – შოშიაშვილი სოლომონი (1909-1972) – სპეციალობით ხით-ხურო, დანყებითი განათლებით. დედა – ქობილაშვილი თამარი (1915-1996) – დიასახლისი, საშუალო განათლებით.

შ. შოშიაშვილმა 1956 წელს წარჩინებით დაამთავრა თბილისის რკინიგზის 19 საშუალო სკოლა. 1957-დან სწავლობდა თსუ-ის ფიზიკის ფაკულტეტზე, რომელიც წარჩინებით დაამთავრა 1963 წელს და მუშაობა დაიწყო

თსუ-ს ფიზიკის ფაკულტეტის ბირთვული ფიზიკის კათედრაზე.

შ. შოშიაშვილი იმყოფებოდა ხანგრძლივ სამეცნიერო მივლინებაში ქალაქ დუბნის ბირთვული გამოკვლევების გაერთიანებულ ინსტიტუტში, სადაც 1977 წელს დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია მაღალი ენერგიების ფიზიკაში. 1988 წლის სსრკ მინისტრთა საბჭოსთან არსებული უმაღლესი საატესტაციო კომისიის გადაწყვეტილებით შ. შოშიაშვილს მიენიჭა უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის წოდება. მას, სხვა მეცნიერ თანამშრომლებთან ერთად, გამოქვეყნებული აქვს 55 სამეცნიერო შრომა ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკაში. 1993 წლიდან იგი დაინტერესდა რელიგიისა და მეცნიერების ურთიერთმიმართების საკითხებით. ამ მიმართულებით მან დაწერა 11 სტატია; 2008 წელს გამოაქვეყნა წიგნი სახელწოდებით „სამყარო, მეცნიერება, რელიგია“. იგი, ბოლო 4 წლის განმავლობაში გაცნობილ შესაბამის ახალ მეცნიერულ მასალას, ახლებური გააზრებით, აქვეყნებს წინამდებარე წიგნის სახით, რომელშიც განხილულია კოსმიური სამყაროს სტრუქტურულობისა და ევოლუციურობის საკითხები თეოსოფიური თვალსაზრისით. (ტელ: 2 23 55 03; მობილ. 551 23 55 05).

