

გიორგი ბაღენიძე

შესავალი თანამედროვე

ფიზიკაში

XI / XII

კლასის
სახელმძღვანელო

I მოდული



საქართველოს სახელმწიფო ჰიმნი

თავისუფლება

ლექსი დავით მაღრაძის

„ჩემი ხატია სამშობლო,
სახატე – მთელი ქვეყანა.“
განათებული მთა-ბარი
წილნაყარია ღმერთთანა.
თავისუფლება დღეს ჩვენი
მომავალს უმღერს დიდებას,
ცისკრის ვარსკვლავი ამოდის
და ორ ზღვას შუა ბრწყინდება!
დიდება თავისუფლებას!
თავისუფლებას დიდება!

ბიოგრაფიული გეგმა

შესავალი თანამედროვე

ფიზიკაში

XI/XII კლასი

I მოდული

გრიფი მიენიჭა 2012 წელს სსიპ განათლების ხარისხის განვითარების
ეროვნული ცენტრის მიერ

თბილისი 2012

შინაარსი

I თავი. მემონიური ტალღები.....	6
1.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამონმეთ თქვენი ცოდნა	7
1.2. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამონმეთ თქვენი ცოდნა	10
1.3. მექანიკური ტალღები. ჰიუგენის პრინციპი	12
1.4. მექანიკური ტალღების არეკვლა და გარდატეხა	14
1.5. მექანიკური ტალღების ინტერფერენცია	16
1.6. ინფრა და ულტრაბგერები	18
1.7. დოპლერის ეფექტი	21
1.8. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....	23
1.9. შეამონმეთ თქვენი ცოდნა	26
II თავი. სინათლის ტალღური და კვანტური ბუნება.....	27
2.1. სინათლის სიჩქარე	29
2.2. სინათლის ნაკადი. სინათლის წერტილოვანი წყარო.....	32
2.3. სინათლის ძალა. განათებულობა	34
2.4. სინათლის ინტერფერენცია და მისი ზოგიერთი გამოყენება	37
2.5. მექანიკური ტალღების და სინათლის დიფრაქცია.....	40
2.6. დიფრაქციული მესერი	43
2.7. სინათლის ტალღების განივობა. სინათლის პოლარიზაცია.....	46
2.8. შავი სხეულის გამოსხივება.....	49
2.9. ფოტოეფექტი.....	52
2.10. ფოტოეფექტის კანონები	54
2.11. ფოტოეფექტის ზოგიერთი გამოყენება	58
2.12. სინათლის წნევა.....	60
2.13. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....	62
2.14. შეამონმეთ თქვენი ცოდნა	66

III თავი. ფარდობითობის თეორიის ელემენტები.....	67
3.1. სინათლის სიჩქარე „უძრავ“ და „მოძრავ“ ათვის ინერციულ სისტემებში.....	68
3.2. ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ელემენტები	71
3.3. დროის შუალედის ფარდობითობა.....	73
3.4. ღეროს სიგრძე ფარდობითია.....	76
3.5. სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტური კანონი	78
3.6. იმპულსი და ენერგია ფარდობითობის თეორიაში.....	80
3.7. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....	82
3.8. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	83

ჩოგორ პიხალმქვანელოთ სხელმქვანელოთი

პარაგრაფის ნომერი

1.3

მეხანიკური ტალღები. ჰიუბანის პრინციპი

პარაგრაფის სახელწოდება

ინდივიდუალური სამუშაო

წყვილებად მუშაობა

ჯგუფებად მუშაობა

უმნიშვნელოვანესი
დასკვნები

საშინაო
დავალება



1. რა მოხდება, თუ დრეკად გარემოში ნივთიერი წერტილი რხევას დაიწყებს?

ერთნაირ ფაზებში მერხვე წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს **ტალღის ზედაპირი** ეწოდება. ყველაზე წინამდებარე ტალღის ზედაპირს —



2. სივრცის რომელ წერტილებს გამოჰყოფს ერთმანეთისაგან ტალღის ფრონტი?

ტალღის ფრონტი.

ტალღის ზედაპირის ფორმის მიხედვით, ტალღები შეიძლება იყოს ბრტყელი, სფერული, ელიფსოიდური და სხვა. **იზოტროპული** გარემოში წერტილოვანი წყაროდან სფერული ტალღები ვრცელდება.

იზოტროპული — ისეთი გარემოა, რომელსაც ყველა მიმართულებით ერთნაირი თვისებები აქვს.



13. მოხდება სინათლის სხივი ოპტიკურ მილში, თუ პრიზმის ოდნავი შემობრუნებით სარკეების განლაგება შიცვლება?

ბრტყელი ტალღა შეიძლება განვიხილოთ როგორც სფერული ტალღა უსასრულოდ დიდი რადიუსით.

ტალღის გავრცელების მიმართულებას **სხივი** ეწოდება. **სხივი ყოველთვის ტალღის ზედაპირის მართობია.**

საზოგადოდ, გავრცელებისას ტალღის ფორმა და მდებარეობა იცვლება.

როგორ განვსაზღვროთ ტალღის ფრონტის ფორმა და მდებარეობა დროის ნებისმიერ მომენტში, თუ იგი ცნობილი იყო რაიმე საწყის მომენტში?

დავადგინეთ, რომ მექანიკურ ტალღებს ახასიათებთ არეკვლა, გარდატეხა, ინტერფერენცია. დავაკვირდით ბგერის გაძლიერებას და შესუსტებას. შემდეგ გაკვეთილზე კი იმ ბგერებს გავეცნობით, რომლებსაც ყური ვერ აღიქვამს.

საშინაო ცდა

ცდისთვის საჭიროა

- თასი ან ჭიქა
- თხელი ცელოფანი
- რეზინი
- ფქვილი ან სუფრის მარილი

ცდის მიზანი: ბგერითი ტალღების ზემოქმედებაზე დაკვირვება.

თასის ან ჭიქის პირზე გადაჭიმეთ თხელი ცელოფანი და ირგვლივ რეზინით დაამაგრეთ (სურ. 54). ცელოფანზე ცოტა ფქვილი, ან სუფრის მარილი, ან შაქარი დაყარეთ. მიიტანეთ ჭიქა მაგიდასთან.

ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ,

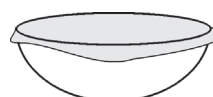
რა მოუვით ნამცეცებს, თუ მაგიდას ხელს დავარტყამთ?

ძლიერ ხმაზე ჩართეთ მუსიკა ან ტელევიზორი.

ჭიქა მიუახლოეთ, დააშორეთ ბგერის წყაროს და

გააგრძელეთ ნამცეცებზე დაკვირვება.

შემჩნეული მოვლენები ჩანერეთ და შეეცადეთ, ახსნათ ნამცეცების „ქცევა“.



სურ. 13.2

საშინაო ცდების ჩატარებამდე აუცილებლად დაკვირვებით წაიკითხეთ პარაგრაფი.

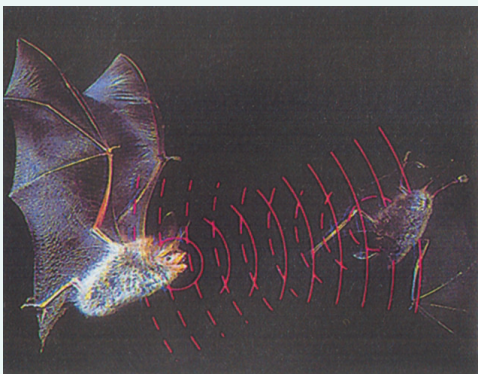
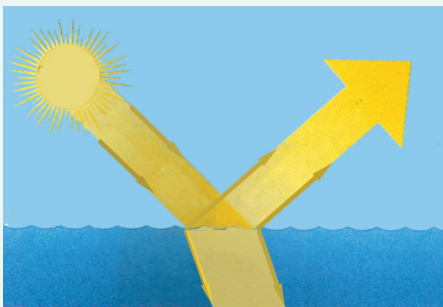
დამოუკიდებლად პასუხის გაცემით განიმტკიცეთ ცოდნა მასში მოცემულ კითხვებზე.

I თავი.

მექანიკური ტალღები

ამ თავში გაიხსენებთ და გააცნობით

- მექანიკურ ტალღებს განივსა და გრძივს;
- ტალღების არეკვლასა და გარდატეხას;
- ჰიუგენსის პრინციპს;
- ტალღების ინტენზიურობას;
- ინფრა და ულტრაბერებს;
- დოპლერის ეფექტს;
- მოცემულ თემაზე ამოცანების ამოხსნას.



ტესტი

1. როდესაც საათის ქანქარა ასრულებს მიუღევად ჰარმონიულ რხევებს, მაშინ მუდმივია

- ა. ამპლიტუდა და პერიოდი; ბ. სიჩქარე და ამპლიტუდა;
გ. აჩქარება და პერიოდი; დ. წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრა და სიჩქარე;
ე. აჩქარება და სიხშირე.

2. თუ ქანქარა 5წმ-ში ასრულებს 10 რხევას, მაშინ მისი რხევის სიხშირე

- ა. 0,5ჰც-ია; ბ. 2ჰც-ია; გ. 2წმ-ია; დ. მოცემული პირობით შეუძლებელია განესაზღვროთ.

3. როდესაც ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი 1წმ-ია, ხოლო მასზე მიმაგრებული სხეულის მასა 100გ, მაშინ ზამბარის სიხისტეა

- ა. 66/მ; ბ. 46/მ; გ. 4მ/წმ; დ. 0,66/მ; ე. 0,46/მ.

4. მთვარის ზედაპირის მახლობლობაში თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარება $1,6\text{მ/წმ}^2$ -ა, ამიტომ იქ $1,6\text{მ}$ სიგრძის მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი

- ა. 10წმ; ბ. $\approx 7\text{წმ}$; გ. $\approx 6,3\text{წმ}$; დ. $\approx 1\text{წმ}$; ე. $\approx 6,3\text{ჰც}$.

5. წონასწორობის მდებარეობიდან მაქსიმალური კუთხით გადახრილ ქანქარას აქვს

- ა. პოტენციური ენერგია; ბ. კინეტიკური ენერგია;
გ. კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები; დ. უდიდესი სიჩქარე.

6. თუ 100გ/მ სიხისტის ზამბარაზე დამაგრებული 200გ მასის ბურთულის რხევისას ამპლიტუდაა $0,02\text{მ}$, მაშინ ბურთულის მაქსიმალური აჩქარების მოდული არის

- ა. -10მ/წმ^2 ; ბ. 10მ/წმ^2 ; გ. 10მ/წმ ; დ. 0მ/წმ^2 .

7. ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების $x=0,7\sin 0,5t$ (მ) განტოლებაში რხევის ამპლიტუდაა

- ა. $0,7\text{სმ}$; ბ. $0,7\text{მ}$; გ. $0,5\text{მ}$; დ. $0,7\text{წმ}$; ე. $0,35\text{მ}$

8⁰. როდესაც სინუსის კანონით მერხვეი სხეულის ციკლური სიხშირეა 10წმ^{-1} , ხოლო ამპლიტუდა — 2სმ , მაშინ მისი მაქსიმალური სიჩქარეა

- ა. 2მ/წმ ; ბ. $0,8\text{მ/წმ}$; გ. $0,6\text{მ/წმ}$; დ. $0,4\text{მ/წმ}$; ე. $0,2\text{მ/წმ}$.

9⁰. როდესაც სინუსის კანონით მერხევი სხეულის ციკლური სიხშირეა 56მ^{-1} , ხოლო ამპლიტუდა — 6სმ , მაშინ მისი მაქსიმალური აჩქარებაა

ა. $11,25\text{მ/წმ}^2$; ბ. $7,5\text{მ/წმ}^2$; გ. $1,75\text{მ/წმ}^2$; დ. $1,5\text{მ/წმ}^2$; ე. $0,75\text{მ/წმ}^2$.

10. მათემატიკური ქანქარას წონასწორობის მდებარეობისკენ მოძრაობისას ძაფის დაჭიმულობის ძალის მოდული

ა. მცირდება; ბ. იზრდება; გ. არ იცვლება დ. ჯერ მცირდება, შემდეგ იზრდება.

11. ჰორიზონტალურად მერხევ ზამბარიან ქანქარას წონასწორობის მდებარეობის გავლიდან დროის $t=T/4$ მომენტში აქვს

ა. პოტენციური ენერგია; ბ. კინეტიკური ენერგია;
გ. კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები; დ. უდიდესი სიჩქარე.

12. ზამბარის სიხისტის ოთხჯერ გაზრდით მასზე დამაგრებული სხეულის რხევის პერიოდი

ა. ოთხჯერ გაიზარდა; ბ. ოთხჯერ შემცირდა; გ. ორჯერ გაიზარდა;
დ. ორჯერ შემცირდა; ე. არ შეცვლილა.

თუ ტესტებზე პასუხის გაცემა გაგიჭირდათ, მაშინ გაიღრმავეთ ცოდნა ქვემოთ მოყვანილი წინადადებებით. გაიაზრეთ მიღებული ინფორმაცია, ჩაუკვირდით, გაანალიზეთ კითხვები და აუცილებლად შეძლებთ ტესტებზე სწორი პასუხების გაცემას.

მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეული რაღაც მდებარეობის მიმართ ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გადაიხრება, რხევითი მოძრაობა ეწოდება.

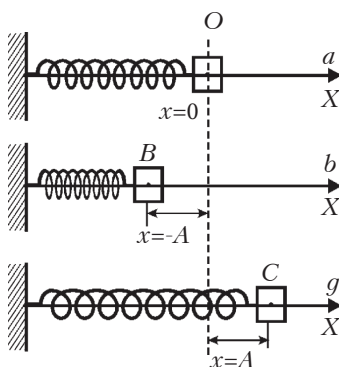
წონასწორობის მდებარეობიდან უდიდეს გადახრას რხევის ამპლიტუდა ეწოდება. ამპლიტუდა აღვნიშნოთ A -თი.

დროის შუალედს, რომლის განმავლობაშიც სხეული ერთ სრულ რხევას ასრულებს — გაივლის ოთხი ამპლიტუდის ტოლ მანძილს, რხევის პერიოდი ეწოდება. პერიოდი აღვნიშნოთ T -თი.

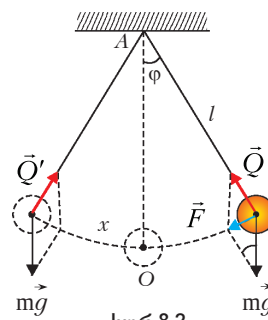
დროის ერთეულში შესრულებულ რხევათა რიცხვს რხევის სიხშირე ეწოდება. სიხშირე აღვნიშნოთ ν -თი.

რხევით მოძრაობას ასრულებს ზამბარაზე დამაგრებული სხეული (სურ.8.1), ასევე, ძაფზე დაკიდებული სხეული (სურ.8.2).

მექანიკურ რხევას, რომელიც წარმოებს წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრის



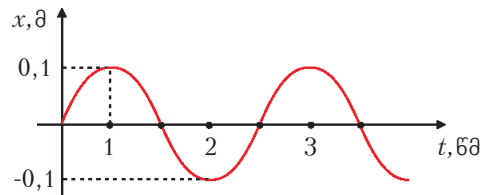
სურ.8.1



სურ.8.2

პროპორციული და მის საპირისპიროდ მიმართული ($F_x = -kx$) ძალის მოქმედებით, ჰარმონიული რხევა ეწოდება.

ჰარმონიული რხევისას კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება გამოისახება ფორმულით: $x = A \sin \frac{2\pi}{T} t$, სადაც x არის წონასწორობის მდებარეობიდან წანაცვლება, A — ამპლიტუდა, T — რხევის პერიოდი, t — დროის ათვლის მომენტიდან გასული დროის შუალედი, $\frac{2\pi}{T} t$ — რხევის ფაზა. ფაზა გვიჩვენებს, პერიოდის რა ნაწილია გასული რხევითი მოძრაობის დაწყებიდან.



სურ.9.1

ჰარმონიულად მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი სინუსოიდაა (სურ.9.1).

ჰარმონიული რხევისას სხეულის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება პოტენციურ ენერგიად და პირიქით, ისე, რომ მათი ჯამი მუდმივია — სრულდება მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი.

ზამბარაზე დამაგრებული სხეულის (სურ.8.1) და მათემატიკური ქანქარას (სურ.8.2) რხევები ჰარმონიულია.

l სიგრძის მათემატიკური ქანქარას რხევის T პერიოდი განისაზღვრება ფორმულით $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

k სიხისტის ზამბარაზე დამაგრებული m მასის ზამბარიანი ქანქარას რხევის T პერიოდი განისაზღვრება ფორმულით $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

რხევას, რომელიც სხეულის წონასწორობის მდებარეობიდან გამოყვანის შემდეგ გარე ზემოქმედების გარეშე მიმდინარეობს, თავისუფალი რხევა ეწოდება. თავისუფალი რხევის სიხშირეს სისტემის საკუთარი სიხშირე ეწოდება.

რხევას, რომელსაც სხეული ასრულებს პერიოდულად ცვლადი გარე ძალის მოქმედებით, იძულებითი რხევა ეწოდება, ხოლო ცვლად ძალას — მაიძულებელი ძალა.

იძულებითი რხევის სიხშირე მაიძულებელი ძალის სიხშირის ტოლია.

იძულებითი რხევის ამპლიტუდის მკვეთრად ზრდის მოვლენას, როდესაც მაიძულებელი ძალის სიხშირე სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირეს ემთხვევა, რეზონანსი ეწოდება.

ტესტი

1. ტალღის სიგრძე, სიხშირე და სიჩქარე დაკავშირებულია ფორმულით

ა. $v = \lambda v$; ბ. $v = \lambda \nu$; გ. $\lambda = v \nu$; დ. $v = \frac{\lambda}{\nu}$.

2. თუ ტალღის სიხშირე არ იცვლება, მაშინ ტალღის გავრცელების სიჩქარე

- ა. ყველა გარემოში ერთნაირია;
 ბ. იმ გარემოშია მეტი, სადაც ტალღის სიგრძეა მეტი;
 გ. იმ გარემოშია მეტი, სადაც ტალღის სიგრძეა ნაკლები;
 დ. ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებული არ არის.

3. ტემპერატურის გაზრდისას ჰაერში ბგერის გავრცელების სიჩქარე

- ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. უცვლელია;
 დ. ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ მცირდება.

4. როდესაც ბგერითი ტალღის სიხშირე 1020ჰც-ა, ხოლო ჰაერში გავრცელების სიჩქარე — 340მ/წმ, მაშინ მისი ტალღის სიგრძეა

- ა. 346800მ; ბ. 3მ; გ. 1მ; დ. 0,3მ.

5. ბგერითი ტალღების სიგრძე, რომელზეც ადამიანის ყური ყველაზე მგრძნობიარეა, 17სმ-ა. ამ ტალღების სიხშირეა

- ა. 200000ჰც; ბ. 2000ჰც; გ. 200ჰც; დ. 20ჰც.

6. ბგერის სიჩქარე წყალში 1500მ/წმ-ა. თუ ექოლოტიდან გაგზავნილი სიგნალი გემზე 2წმ-ში მიიღეს, მაშინ ზღვის სიღრმეა

- ა. 3000მ; ბ. 1500მ; გ. 750მ; დ. 300მ.

თუ ტესტებზე პასუხის გაცემა გაგიჭირდათ, მაშინ გაიღრმავეთ ცოდნა ქვემოთ მოყვანილი წინადადებებით. გაიაზრეთ მიღებული ინფორმაცია, ჩაუკვირდით, გაანალიზეთ კითხვები და აუცილებლად შეძლებთ ტესტებზე სწორი პასუხების გაცემას.

ტალღა არის რხევის გავრცელება სივრცეში დროის განმავლობაში.

მანძილს, რომელზეც ვრცელდება ტალღა ნაწილაკების რხევის T პერიოდის განმავლობაში, ტალღის სიგრძე ეწოდება. აღვნიშნოთ λ -თი.

ტალღის სიჩქარე $v = \frac{\lambda}{T}$, $v = \lambda \nu$.

ტალღას, რომელშიც ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მართობულად ირხევა, განივი ტალღა ეწოდება.

ტალლას, რომელშიც რხევა ტალლის გავრცელების მიმართულების გასწვრივ ხდება, გრძივი ტალლა ეწოდება.

აირში, მყარ სხეულსა და სითხეში მექანიკური ტალლა დრეკადი ძალებით ჩნდება.

აირსა და სითხეში ფენების ერთმანეთის მიმართ ნანაცვლებისას დრეკადი ძალები არ აღიძვრება.

ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას ტალლის სიხშირე არ იცვლება, ტალლის სიგრძე და სიჩქარე იცვლება.

წყალში ბგერის გავრცელების სიჩქარე 1460მ/წმ-ია, ჰაერში — 340მ/წმ.

ბგერას, რომელსაც რხევის განსაზღვრული სიხშირე აქვს, მუსიკალური ბგერა ანუ ტონი ეწოდება. მუსიკალური ტონები განსხვავდებიან ხმამაღლობით და სიმაღლით.

ტონის ხმამაღლობა განისაზღვრება რხევის ამპლიტუდით. რაც უფრო დიდია რხევის ამპლიტუდა, მით უფრო ხმამაღალია ტონი.

ტონის სიმაღლე განისაზღვრება რხევის სიხშირით. რაც უფრო დიდია რხევის სიხშირე, მით უფრო მეტია ტონის სიმაღლე (მაღალია ტონი).

საუნიანო ცდა

ცდებისთვის საჭიროა

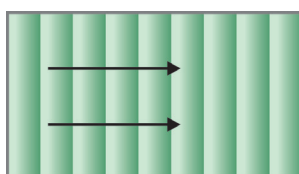
- ლანგარი
- წყალი
- სახაზავი
- ვიწრო ხვრელიანი ტიხარი

ცდის მიზანი: ტალლის გავრცელებაზე დაკვირვება

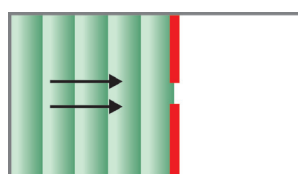
ლანგარზე დაასხით წყალი. როდესაც წყალი „დამშვიდდება“, წყლის ზედაპირის მართობულად სახაზავი რხევით მოძრაობაში ისე მოიყვანეთ, რომ წყლის ზედაპირს ეხებოდეს (სურ. 11.1). ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ დააკვირდით, წყლის ზედაპირზე როგორი ტალღები აღიძვრება — წრიული თუ წრფივი? ლანგარი სახაზავის პარალელური ორი ფირფიტით ისე გატიხრეთ, რომ მათ შორის არა უმეტეს 0,5 სმ სიგანის ხვრელი დარჩეს (სურ. 11.2).

ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ, როგორი ტალღები გამოვა ხვრელიდან, თუ წყლის ზედაპირზე ისევ აღვძრავთ წრფივ ტალღებს.

ცდა რამდენჯერმე ჩაატარეთ სხვადასხვა ზომის ხვრელისთვისაც, შემჩნეული მოვლენა ჩანერეთ და შეეცადეთ ახსნათ.



სურ. 11.1



სურ. 11.2



1. რა მოხდება, თუ დრეკად გარემოში ნივთიერი წერტილი რხევას დაიწყებს?

ერთნაირ ფაზებში მერხვე წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს **ტალღის ზედაპირი** ეწოდება. ყველაზე წინამდებარე ტალღის ზედაპირს — **ტალღის ფრონტი**.



2. სივრცის რომელ წერტილებს გამოჰყოფს ერთმანეთი-საგან ტალღის ფრონტი?

ტალღის ზედაპირის ფორმის მიხედვით, ტალღები შეიძლება იყოს ბრტყელი, სფერული, ელიფსოიდური და სხვა. **იზოტროპულ** გარემოში წერტილოვანი წყაროდან სფერული ტალღები ვრცელდება.

იზოტროპული — ისეთი გარემოა, რომელსაც ყველა მიმართულებით ერთნაირი თვისებები აქვს.



3. სფერულ ტალღაში როგორი ფორმა აქვს ტალღის ზედაპირს? ტალღის ფრონტს?

ბრტყელი ტალღა შეიძლება განვიხილოთ როგორც სფერული ტალღა უსასრულოდ დიდი რადიუსით.

ტალღის გავრცელების მიმართულებას **სხივი** ეწოდება. **სხივი ყოველთვის ტალღის ზედაპირის მართობია**.

საზოგადოდ, გავრცელებისას ტალღის ფორმა და მდებარეობა იცვლება.

როგორ განვსაზღვროთ ტალღის ფრონტის ფორმა და მდებარეობა დროის ნებისმიერ მომენტში, თუ იგი ცნობილი იყო რაიმე საწყის მომენტში?

ამ შეკითხვაზე პასუხის გასაცემად **გავანალიზოთ საშინაო ცდაში** შემჩნეული მოვლენა.



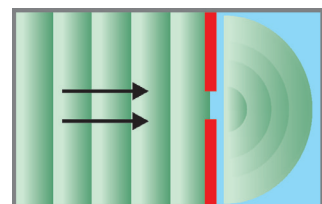
4. რა გიჩვენათ ცდამ: ხვრელის მარჯვნივ წრიული ტალღა ვრცელდება თუ წრფივი?

5. როგორია თქვენი ვარაუდი, სად მდებარეობს ხვრელიდან გამოსული წრიული ტალღების ცენტრი?

თქვენი ნახაზი ემთხვევა თუ არა 12.1 სურათზე გამოსახულს?

თუ ტიხარს სხვა ადგილას გავუკეთებთ ხვრელს, მაშინ ამ ხვრელიდანაც წრიული ტალღები გამოვა რომელთა ცენტრი ამ ხვრელის ცენტრი იქნება. ცხადია, რამდენი ხვრელიც ექნება ტიხარს, იმდენი მეორეული წრიული ტალღა წარმოიქმნება.

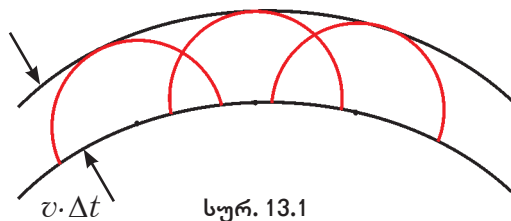
დაფიქრდით, ეგებ შეძლოთ ზემოთ ჩამოყალიბებულ



სურ. 12.1

შეკითხვაზე პასუხის გაცემა. როგორ განვსაზღვროთ ტალღის ფრონტის ახალი მდებარეობა?

ტალღების „ყოფაქცევის“ აღწერის ზოგადი პრინციპი პირველად ჩამოაყალიბა ნიუტონის თანამედროვემ, ჰოლანდიელმა ფიზიკოსმა **ქრისტიან ჰიუგენსმა** (1629-1695). ჰიუგენსის პრინციპის თანახმად, **გარემოს ყოველი წერტილი, რომელმაც აღწევს შეშფოთება, თვითონ ხდება მეორეული ტალღების წყარო**. იმისათვის,



რომ განვსაზღვროთ ტალღური ზედაპირის მდებარეობა დროის $t + \Delta t$ მომენტში, თუ ვიცით მისი მდებარეობა t მომენტში, საჭიროა ტალღური ზედაპირის ყოველი წერტილი განვიხილოთ როგორც მეორეული ტალღების წყარო. ამ მეორეული ტალღების მხები ზედაპირი წარმოადგენს ტალღური ზედაპირის მდებარეობას დროის შემდეგ მომენტში (სურ. 13.1). ეს პრინციპი მართებულია როგორც მექანიკური, ისე ელექტრომაგნიტური ტალღის აღწერისას.



6. როგორია თქვენი ვარაუდი, ერთგვაროვან იზოტროპულ გარემოში შეიცვლება თუ არა ტალღის ფრონტის ფორმა? ვარაუდის მართებულობა დაამტკიცეთ აგებით, სფერული და ბრტყელი ტალღების შემთხვევაში.

საშინაო ცდა

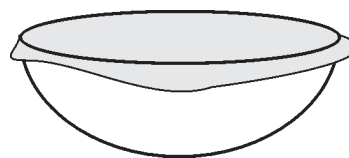
ცდისთვის საჭიროა

- თასი ან ჭიქა
- თხელი ცელოფანი
- რეზინი
- ფქვილი ან სუფრის მარილი

ცდის მიზანი: ბგერითი ტალღების ზემოქმედებაზე დაკვირვება.

თასის ან ჭიქის პირზე გადაჭიმეთ თხელი ცელოფანი და ირგვლივ რეზინით დაამაგრეთ (სურ. 54). ცელოფანზე ცოტა ფქვილი, ან სუფრის მარილი, ან შაქარი დაყარეთ. მიიტანეთ ჭიქა მაგიდასთან.

ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ, რა მოუვათ ნამცეცებს, თუ მაგიდას ხელს დავარტყამთ? ძლიერ ხმაზე ჩართეთ მუსიკა ან ტელევიზორი. ჭიქა მიუახლოეთ, დააშორეთ ბგერის წყაროს და გააგრძელეთ ნამცეცებზე დაკვირვება.



სურ. 13.2

შემჩნეული მოვლენები ჩანერეთ და შეეცადეთ, ახსნათ ნამცეცების „ქცევა“.

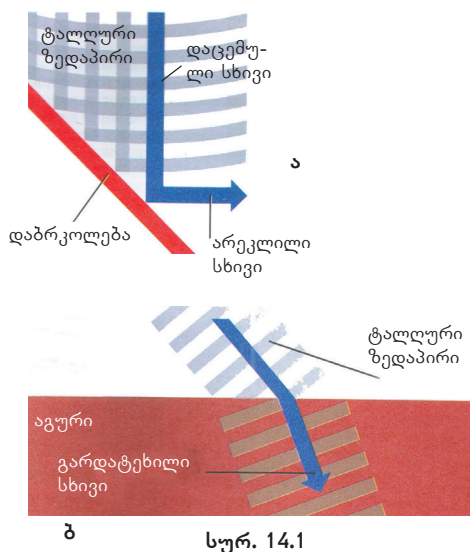
ნებისმიერი ტალღა, როგორც მექანიკური, ისე ელექტრომაგნიტური იმის მიხედვით, როგორია დაბრკოლება, მისგან ნაწილობრივ აირეკლება, გარდატყდება და შთაინთქმება.

14.1 ა და ბ სურათებზე ტალღის არეკვლა და გარდატეხაა გამოსახული.

ტალღის გავრცელების მიმართულებად ითვლება სხივის მიმართულება. სხივების გასწვრივ ხდება ენერგიის გადატანა.

ტალღის არეკვლა და გარდატეხა ყველაზე თვალსაჩინოა სინათლისთვის (სურ. 14.2ა, ბ).

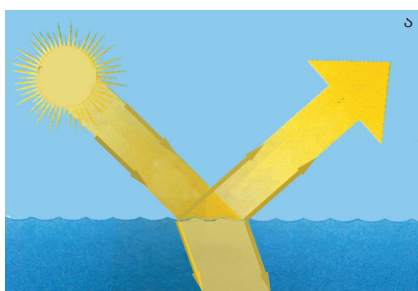
სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები მართებულია ყველა სახის ტალღისათვის.



სურ. 14.1

1. ჩამოაყალიბეთ სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები.

გავრცელებისას, თუ ბგერა შეხვდება რაიმე ზღუდეს, მთას, ტყეს, კედელს, და ა. შ. მისგან აირეკლება და ჩვენ გვესმის ბგერა, რომელსაც ექო ეწოდება. დადგენილია, ორი ბგერა ცალ-ცალკე შეგვიძლია გავიგონოთ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მათი ჩვენამდე მოსვლის მომენტებს შორის დროის შუალედი $1/15$ წმ-ზე ნაკლები არ არის.



სურ. 14.2



წყლიან ჭიქაში ღერო, სინათლის გარდატეხის გამო, გადატეხილი გვეჩვენება

2. რა მინიმალური მანძილი უნდა იყოს დაბრკოლებამდე, რომ ექო გავიგონოთ?

შენობებში ბგერითი ტალღები რამდენიმე ათეულჯერ აირეკლება შენობის კედლებიდან, ჭერიდან, ავეჯიდან და სხვა საგნებიდან, ვიდრე მათი ენერგია მთლიანად შთაინთქმება. ამიტომ ბგერის წყაროს რხევის შეწყვეტის შემდეგ, მათი მრავალჯერადი არეკვლის გამო, შენობაში ბგერა ისმის რამდენიმე წამის განმავლობაში.

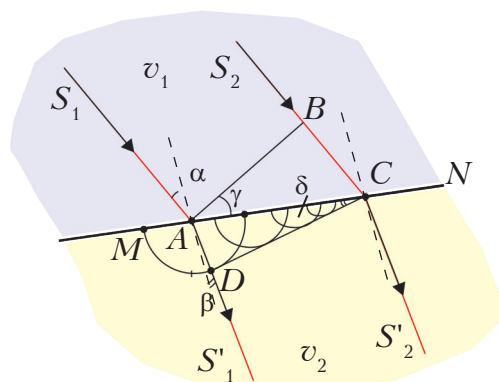
გავანალიზოთ საშინაო ცდაში შემჩნეული მოვლენები.

ვხედავთ, ბგერის წარმოქმნისას ცელოფანზე ფქვილის ნამცეცები ხტუნაობენ.

3. მიუთითებს თუ არა ეს ფაქტი ბგერის წყაროდან ბგერის ენერგიის გავრცელებას? რისი მეშვეობით?

4. ბგერის გავრცელებისას ხდება თუ არა ნივთიერების გადატანა?

ჰიუგენსის პრინციპის მეშვეობით ავხსნათ ბრტყელი ტალღის გარდატეხის კანონი. დავუშვათ, ტალღის v_1 სიჩქარე პირველ გარემოში მეტია, ვიდრე მეორე გარემოში v_2 . გარემოთა გამყოფ ზედაპირს ეცემა ბრტყელი ტალღა, ამიტომ S_1A და S_2B სხივები ერთმანეთის პარალელურია (სურ. 15.1).



სურ. 15.1

როდესაც S_1A სხივი მიაღწევს ორი გარემოს გამყოფი MN ზედაპირის A წერტილს, ტალღის ფრონტი იქნება სხივების მართობული AB სიბრტყე. გარდატეხილი ტალღის CD ფრონტს მივიღებთ, თუ გავატარებთ ყველა მეორეული ტალღის მომვლებს მეორე გარემოში, რომელთა ცენტრები გარემოთა გამყოფ საზღვარზე მდებარეობს.



5. A წერტილში ტალღის დაცემის მომენტიდან რა t დროის შუალედში მიაღწევს ტალღა C წერტილს?

6. განსაზღვრეთ მანძილი რომელსაც ამ დროის შუალედში გაივლის მეორე გარემოში A წერტილიდან გარდატეხილი სხივი.

თუ შეკითხვებს სწორად უპასუხეთ მიიღებთ $|AD| = v_2 \frac{|BC|}{v_1}$. (1) მივიღეთ, C წერტილში მეორეული ტალღის აღძვრის მომენტისათვის A წერტილიდან წამოსულ ტალღას ექნება $|AD|$ რადიუსიანი სფეროს სახე. 15.1 სურათის გამოყენებით შეიძლება დავწეროთ დაცემის კუთხე $\alpha = \gamma$, (2) გარდატეხის კუთხე $\beta = \delta$, (3) როგორც ურთიერთმართობ გვერდებიანი კუთხეები.

$$|BC| = v_1 \Delta t = |AC| \sin \alpha. \quad (4)$$

$$|AD| = v_2 \Delta t = |AC| \sin \beta. \quad (5)$$

$$(4) \wedge (5) \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \equiv n. \quad (6)$$

მივიღეთ ტალღის გარდატეხის კანონი.

დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და დაცემის წერტილში ორი გარემოს გამყოფი ზედაპირისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს.

დაცემის კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის კუთხის სინუსთან მოცემული ორი გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა და ეწოდება მეორე გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი პირველის მიმართ.

n არის მეორე გარემოს გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი პირველის მიმართ. გარდატეხის კანონი მართებულია ნებისმიერი ტალღისთვის.



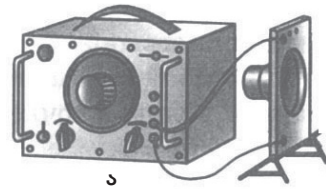
7. ჰიუგენსის პრინციპის გამოყენებით ახსენით ტალღის არეკვლის კანონი.



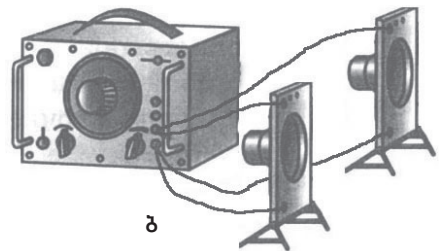
1. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ ბგერებმა შეხვედრისას ერთმანეთი შეასუსტოს? ჩააქროს? რა პირობებში?

ვარაუდის მართებულობა შევამოწმოთ ცდით: ბგერითი სიხშირის გენერატორს მივუერთოთ დინამიკი — ხმის გამაძლიერებელი (სურ. 16.1,ა).

ჩავრთოთ გენერატორი წრედში და სახელურის ბრუნვით ავაწყოთ იგი 2-3 კჰც სიხშირეზე. დინამიკი ხმას გამოსცემს. ერთი ყური ხელით დაიფარეთ და თავი ნელ-ნელა ამოძრავებთ მარჯვნივ და მარცხნივ, წინ და უკან.



ა



ბ

სურ. 16.1



2. იცვლება დინამიკის ხმა?

ახლა გენერატორს ორი ერთნაირი დინამიკი მივუერთოთ. განვაღაგოთ ისინი ერთმანეთისაგან 1-1,5 მ მანძილზე (სურ. 16.1,ბ) და ცდა გავიმეოროთ.

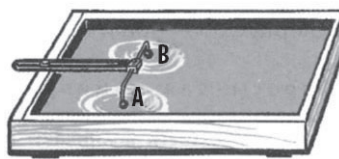


3. რას ამჩნევთ? ყურის სხვადასხვა მდებარეობისას ერთნაირად გესმით დინამიკებიდან გამოსული ბგერების ხმა?

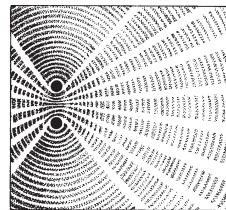
შემჩნეული მოვლენის უკეთ წარმოსადგენად და ასახსნელად ჩავატაროთ ცდა:

დავაკვირდეთ 16.2 ა სურათზე გამოსახულ დანადგარს.

თუ დრეკად ფირფიტას (სახაზავს) რხევით მოძრაობაში მოვიყვანთ, მაშინ მასზე დამაგრებული ორი, A და B ღეროთი წყლის ზედაპირზე ერთდროულად ერთნაირი სიხშირის, ერთნაირი წრიული ტალღები აღიძვრება.



ა



ბ

სურ. 16.2



4. ხედებიან თუ არა ერთმანეთს ტალღები წყლის ზედაპირის ყოველ წერტილში?

5. გადის თუ არა თითოეული ტალღა მეორის შიგნით ისე, თითქოს მეორე ტალღა არც არსებობდეს?

6. რას ამჩნევთ წყლის ზედაპირზე?

16.2 ბ სურათზე ცდის შედეგად მიღებული ტალღების შეკრების შედეგია გამოსახული. სურათზე წყლის ზედაპირის ზოგიერთი უბანი ნათელია, ზოგიერთი ბნელი. იმ ადგილებში, სადაც ნათელი ზოლებია, სინათლე არ გაიბნევა. მაშასადამე, ამ უბნებში წყალი არ ირხევა, ნაკლებადაა შემფოთებული. ეს ტალღების

მიერ ერთმანეთის შესუსტებას მიუთითებს. სხვა უბნები, სადაც დაღარული ბნელი ზოლებია, წყლის ზედაპირზე სინათლის გაბნევის მაჩვენებელია. ამ ადგილებში წყალი ძლიერ არის შეშფოთებული — რხევის ამპლიტუდა გადიდებულია. ეს ტალღების მიერ ერთმანეთის გაძლიერებას მიუთითებს.

მივიღეთ, ერთნაირი სიხშირის ორი ტალღის შეკრებისას ისინი ზოგან ერთმანეთს ასუსტებენ, ზოგან კი აძლიერებენ. ხდება ტალღების ენერგიის გადანაწილება.

იმ ადგილებში, სადაც ორი ტალღა ერთმანეთს თხემებით ხვდება, წყლის შეშფოთება ძლიერდება, ხოლო იქ, სადაც ერთი ტალღის თხემი ხვდება მეორე ტალღის ღრმულს — შეშფოთება შესუსტებულია.

სივრცეში ტალღების შეკრებას, რომლის დროსაც იქმნება რეზულტატური ამპლიტუდების დროის მიხედვით მუდმივი განაწილება, ინტერფერენცია ეწოდება.

მდგრადი ინტერფერენციული სურათი მიიღება ერთნაირი სიხშირის ტალღების შეკრებისას, რომლებიც ირხევიან ერთნაირ ფაზებში ან შენარჩუნებულია მუდმივი ფაზათა სხვაობა. ასეთ ტალღებს **კოჰერენტული** ეწოდება.

მიუხედავად იმისა, რომ ინტერფერენცია წყლის ზედაპირზე წარმოქმნილი ტალღების მაგალითზე განვიხილეთ, დადგენილია, **თუ რაიმე პროცესის შესწავლისას შეიმჩნევა ინტერფერენცია, იგი წარმოადგენს იმის უტყუარ დადასტურებას, რომ საქმე გვაქვს ტალღურ მოძრაობასთან.**

 7. 57-ე ბ სურათის მიხედვით ჩატარებული ცდების შედეგით შეიძლება თუ არა ვთქვათ, რომ ადგილი აქვს ბგერითი ტალღების ინტერფერენციას?

დავადგინეთ, რომ მექანიკურ ტალღებს ახასიათებთ არეკვლა, გარდატეხა, ინტერფერენცია. დავაკვირდით ბგერის გაძლიერებას და შესუსტებას. შემდეგ გაკვეთილზე კი იმ ბგერებს გავეცნობით, რომლებსაც ყური ვერ აღიქვამს.

საშინაო ცდა

ცდის მიზანი: ბგერის წარმოქმნაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა

- მაგიდა
- ლითონის სახაზავი

ლითონის გრძელი სახაზავის ერთი ბოლო მაგიდაზე ხელით დაამაგრეთ. მაგიდიდან გამოშვერილ მეორე მოკლე ბოლოს გადახრით და ხელს გაუშვებით? სახაზავის გამოშვერილი ნაწილი თანდათან დააგრძელეთ და ცდები გაიმეორეთ. ამჩნევთ რაიმე განსხვავებას? შემჩნეული მოვლენა აღწერეთ რვეულში და შეეცადეთ ახსნათ.

ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ, გამოსცემს თუ არა სახაზავი ბგერას?

გრძივ ტალღებს, რომელთა სიხშირე 16 ჰც-ზე ნაკლებია, ინფრაბგერები ეწოდება, ხოლო ტალღებს, რომელთა სიხშირე 20 000 ჰც-ზე მეტია — ულტრაბგერები. გავაანალიზოთ საშინაო ცდაში შემჩნეული მოვლენები.

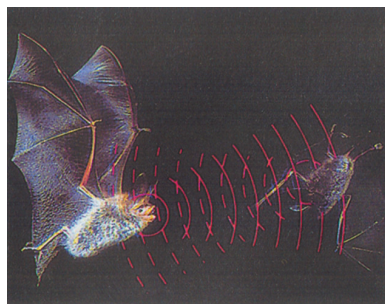


1. ყოველთვის გესმით მაგიდიდან გამოშვებული სახაზავის რხევისას ხმა? აღიქვამს თუ არა ადამიანის ყური ინფრა და ულტრაბგერებს?

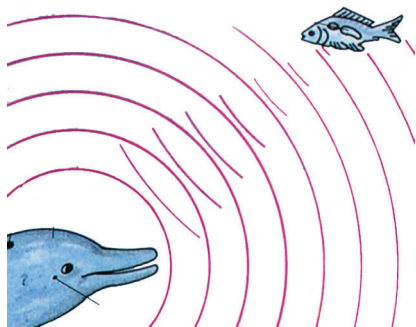
სამყაროში ინფრა და ულტრაბგერები ისევე ფართოდაა გავრცელებული, როგორც ბგერითი ტალღები. აღმოჩნდა, რომ მათ ასხივებს და იღებს ცოცხალი ორგანიზმები როგორც ხმელეთზე, ისე წყალსა და ჰაერში და იყენებს თავისიანებთან „სალაპარაკოდ“. მაგალითად, ძაღლები აღიქვამენ ულტრაბგერებს, რომელთა სიხშირე 40 კჰც-მდეა.

ულტრაბგერებით სარგებლობენ ღამურები (სურ. 18.1).

ღამურების მიერ გამოსხივებული ულტრაბგერითი ტალღების იმპულსის ხანგრძლივობა არ აღემატება 0,015 წმ-ს, რხევის სიხშირე იმპულსში 25-50 კჰც-ს შეადგენს. იმპულსები აირეკლება დაბრკოლებიდან, მათ შორის, სხვადასხვა მწერიდან. ღამურა დიდი ყურების მეშვეობით იჭერს არეკლილ ტალღებს და ავტომატურად აფასებს დაბრკოლების მდებარეობას. იგი საუკეთესოდ ორიენტირებს სივრცეში და მოიპოვებს საკვებს.



სურ. 18.1



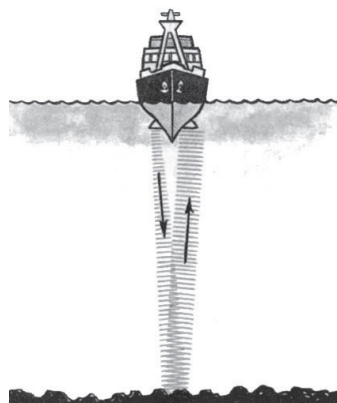
სურ. 18.2

ულტრაბგერებს ანალოგიურად იყენებენ დელფინები, ღრმა წყლებში ბინადარი თევზები და სხვა ცოცხალი ორგანიზმები (სურ. 18.2).

ულტრაბგერას ახასიათებს ძლიერი ბიოლოგიური მოქმედება. მაგალითად, ულტრაბგერითი ტალღის ველში მიკრობები იღუპება. ამიტომ ულტრაბგერის მეშვეობით შეიძლება მოვახდინოთ კვების პროდუქტების სტერილიზაცია.

ჰაერში ულტრაბგერა სწრაფად მიიღევა, სითხეში კი არა. ამიტომ ულტრაბგერა გამოიყენება ჰიდროაკუსტიკაში. ულტრაბგერების ვიწრო პარალელური კონა გავრცელებისას მცირედ ფართოვდება. ამის გამო ულტრაბგერითი ტალღა შეიძლება მიემართოს მოცემული მიმართულებით.

ულტრაბგერით ტალღებზე მომუშავე ერთ-ერთი ხელსაწყოა ჰიდროლოკატორი. იგი მაგრდება გემის ფსკერზე (სურ. 18.3).



სურ. 18.3

ჰიდროლოკატორი წყალში ასხივებს ულტრაბგერის მოკლე იმპულსებს, რომლებიც აირეკლებიან რა ფსკერიდან და სხვა დაბრკოლებიდან, ბრუნდებიან უკან და აღირიცხებიან.

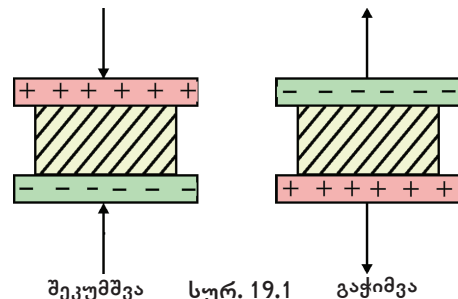
სიგნალის დაგვიანების დროისა და ულტრაბგერის სიჩქარის მიხედვით, ანგარიშობენ დაბრკოლებამდე მანძილს. ასე შეიძლება გავზომოთ ზღვის სიღრმე, მანძილი აისბერგამდე, წყალქვეშა ნავამდე და სხვა.

2. რა სიღრმისაა ზღვა, თუ ზღვის ფსკერიდან არეკლილი ულტრაბგერა ზედაპირზე დაბრუნდა გაგზავნიდან 1,2 წმ-ში? ბგერის სიჩქარე ზღვის წყალში ≈ 1490 მ/წმ-ია.

ულტრაბგერითი სიგნალის არეკვლის მიხედვით, მსჯელობენ ლითონის სხვადასხვა ნაკეთობაში არსებული დეფექტების შესახებ. ულტრაბგერას ფართოდ იყენებენ მედიცინაში დიაგნოსტიკისათვის, ასევე სახსრებისა და ანთებითი პროცესების სამკურნალოდ.

დადგენილია, რომ ზოგიერთი მცენარის, კარტოფილის, ბარდის და სხვა თესლზე ულტრაბგერის მოქმედება ვეგეტაციის პერიოდს ამცირებს და ადიდებს მოსავლიანობას.

დიდი ინტენსივობის ულტრაბგერითი ტალღების მისაღებად სარგებლობენ ძმები კიურების მიერ 1880 წელს აღმოჩენილი პიეზოელექტრული მოვლენით. თუ ზოგიერთი კრისტალის, მაგალითად, კვარცის, სეგნერის მარილის ან ტურმალინის თხელ ფირფიტას შევკუმშავთ ან გაჭიმავთ, მაშინ ფირფიტის ზედაპირზე ელექტრული მუხტები წარმოიქმნება (სურ. 19.1). ამასთან, თუ გაჭიმვისას ფირფიტის ზედაპირის ერთ მხარეს დადებითი მუხტი წარმოიშობა მეორეზე კი უარყოფითი, მაშინ შეკუმშვისას ფირფიტებზე მუხტების ნიშანი საპირისპიროთი იცვლება.



პიეზო (ბერძნული) — ვანვები.

3. ივარაუდეთ, რა მოხდება, თუ კვარცის ფირფიტას მოვათავსებთ ისეთ ელექტრულ ველში, რომ ფირფიტის ერთი ზედაპირი დაიმიუხტოს დადებითად, მეორე კი უარყოფითად?

რა მოხდება, თუ ამის შემდეგ ზედაპირებზე მუხტის ნიშანს შევცვლით?

თუ კვარცის ფირფიტას ცვლად ძაბვას მოვდებთ, მაშინ ფირფიტაში აღიძვრება დრეკადი რხევები, რომელთა სიხშირე ცვლადი ძაბვის სიხშირის ტოლია. ფირფიტა იძულებით რხევებს ასრულებს.

4. როგორ შეიცვლება ფირფიტის რხევის სიხშირე ცვლადი ძაბვის სიხშირის გადიდებით? ახსენით, რატომ?

თანამედროვე ტექნიკა იძლევა საშუალებას, მივიღოთ მილიარდი ჰერცი სიხშირის ულტრაბგერითი რხევები და ეს არ არის ზღვარი.

ფირფიტის რხევის ამპლიტუდა საკმაოდ მცირეა. იგი დამოკიდებულია მოდებული ძაბვაზე. მაგალითად, 1000 ვ ძაბვის დროს ფირფიტის სისქე იზრდება ან მცირდება დაახლოებით $2 \cdot 10^{-5}$ მმ-ით.



5. ფირფიტის საკუთარი რხევის სიხშირისა და მოდებული ძაბვის სიხშირის როგორი თანაფარდობის დროს მიიღება ფირფიტის რხევის მაქსიმალური ამპლიტუდა? პასუხი დაასაბუთეთ.

6. რა მოხდება, თუ მერხევ ფირფიტას ჰაერში ან წყალში მოვათავსებთ?

7. წყალსა და მყარ სხეულში ულტრაბგერები უფრო დიდ მანძილზე ვრცელდება, ვიდრე ჰაერში. ახსენით, რატომ?

ინფრაბგერითი ტალღა ზოგჯერ ზღვებში შტორმის დროს, წყლის შეკუმშვა-გაიშვიათებისას წარმოიქმნება. მისი გავრცელების სიჩქარე წყალში 5-ჯერ მეტია, ვიდრე ჰაერში, ამიტომ მედუზები, კიბოსნაირნი, ზღვის რწყილები და სხვები შტორმის დაწყებამდე, საკმაოდ ადრე, გრძნობენ მის მოახლოებას.

ინფრაბგერები გამოიყენება მეთევზეობაში. თევზსაჭერი გემი აღჭურვილია სპეციალური მიმღები მოწყობილობებით. მათი მეშვეობით სწრაფად პოულობენ თევზების გუნდს, რომლებიც ასხივებენ ან ირეკლავენ ინფრაბგერებს.



8. როგორია თქვენი ვარაუდი, ჰაერსა და წყალში ინფრაბგერები უფრო მეტად შთაინთქმება თუ სმენადი ბგერები? პასუხი დაასაბუთეთ.

გავეცანით ინფრა და ულტრაბგერების პრაქტიკულ გამოყენებას. გავიგეთ, რომ ზოგიერთი ცოცხალი ორგანიზმი იყენებს ულტრაბგერებს. შემდეგ გაკვეთილზე გავეცნობით მოვლენას, რომელიც თან ახლავს ტალღის წყაროს გადაადგილებას.

საშინაო ცდა

ცდებისთვის საჭიროა

- განიერი ჭურჭელი ან აბაზანა
- წყალი

ცდის მიზანი: ტალღის წყაროს გადაადგილებისას ტალღის სიგრძის ცვლილებაზე დაკვირვება.

სასურველია, ცდები ჯგუფურად ჩაატაროთ.

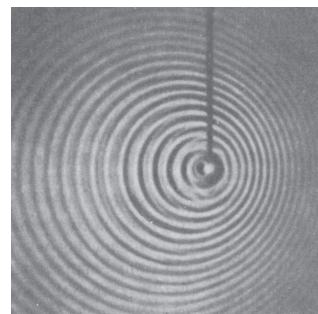
1. გუბურაში, აბაზანასა ან განიერ ჭურჭელში წყალს პერიოდულად შეეხეთ თითით და დააკვირდით წარმოქმნილ ტალღებს. ერთნაირია თუ არა ტალღებს შორის მანძილი სხვადასხვა მიმართულებით?

ივარაუდეთ, პერიოდულად თითით რომ შეეხოთ წყლის ზედაპირს ისე, რომ თითი თან თანაბრად ამოძრავოთ რომელიმე მიმართულებით, მაშინ ტალღებს შორის მანძილი თითის მოძრაობის მიმართულებით და მის საპირისპირო მიმართულებით ერთნაირი იქნება თუ არა? ვარაუდის მართებულობა შეამოწმეთ ცდით.

გააგრძელეთ დაკვირვება თითის სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობისას. გამოსახეთ სურათზე რასაც ამჩნევთ. შეეცადეთ, გამოიტანოთ დასკვნა.

2. სთხოვეთ მძღოლს, ჩართოს ავტომობილის ხმოვანი სიგნალი და მეგობრებთან ერთად ყურადღებით მოისმინეთ. შემდეგ ჩართული ხმოვანი სიგნალით ავტომობილმა რამდენჯერმე ჩაგიქროლოთ. დაუკვირდით, ავტომობილის მოახლოებისას და დაშორებისას ისევე გესმით სიგნალის ხმა, როგორც უძრავი ავტომობილიდან? დაკვირვების შედეგი ჩაწერეთ რვეულში და შეეცადეთ, ახსნათ.

გავანალიზოთ საშინაო ცდებში შემჩნეული მოვლენები. დააკვირდით 21.1 სურათს და შეადარეთ თქვენ მიერ დახაზულს.



სურ. 21.1



1. რა მიმართულებით მოძრაობს სურათზე გამოსახული ღერო?

მოძრავი ბგერის წყაროს წინ ტალღები უფრო მჭიდროდაა განლაგებული (სურ. 21.2). ამიტომ დამკვირვებლისათვის, რომელსაც ბგერის წყარო უახლოვდება, ბგერის სიხშირე მეტია.



2. როგორაა ტალღები განლაგებული მოძრავი ბგერის წყაროს უკან?



სურ. 21.2

3. ავტომობილის მოახლოებისას ბგერის წყაროს ტონის სიმაღლესთან შედარებით, რა სიმაღლის ტონს აღიქვამს დამკვირვებელი? დაშორებისას?

4. დამკვირვებელს ავტომობილმა ჩაუქროლა. როგორ აღიქვამს დამკვირვებელი ტონის სიმაღლეს?

დამკვირვებლის მიერ აღქმული ტალღის სიგრძის ან სიხშირის ცვლილებას ტალღის წყაროსა და დამკვირვებლის ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის შედეგად დოპლერის ეფექტი ეწოდება ავსტრიელი ფიზიკოსისა და ასტრონომის კრისტიან დოპლერის (1803-1853) პატივსაცემად.



5. როგორია თქვენი ვარაუდი, მართებული იქნება თუ არა დოპლერის ეფექტი სინათლისათვის (შეგახსენებთ, სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა)?

	ხილული სინათლის სპექტრი	ტალღის სიგრძე, 10^{-7} მ.
	წითელი —	7,6-6,2
	ნარინჯისფერი —	6,2-5,9
	ყვითელი —	5,9-5,6
	მწვანე —	5,6-5,0
	ცისფერი —	5,0-4,8
	ლურჯი —	4,8-4,5
	იისფერი —	4,5-3,8

აკუსტიკასა და ოპტიკაში დოპლერის ეფექტის არსებობა დოპლერმა თეორიულად 1842 წელს დაასაბუთა. სინათლისათვის დოპლერის ეფექტის მართებულობა ექსპერიმენტულად 1938 წელს დაამტკიცეს ამერიკელმა ფიზიკოსებმა გ. აივზმა და დ. სტილუემმა.



6. დამკვირვებელს შორდება მწვანე ფერის სინათლის წყარო. რომელი ფერისკენ იქნება გადახრილი დამკვირვებლის მიერ აღქმული ფერი?

აღმოჩენის მომენტიდან დოპლერის ეფექტი გამოიყენება ვარსკვლავთა სხივური სიჩქარეებისა და ციური სხეულების ბრუნვის განსაზღვრისათვის. ელექტრომაგნიტურ გამოსხიებაში ტალღის სიხშირის შემცირება დოპლერის

სხივური სიჩქარე — თვალისა და ობიექტის შემაერთებული ხაზის გასწვრივ მიმართული სიჩქარე.

ეფექტის კერძო შემთხვევაა, იგი **წითელი წანაცვლების** სახელწოდებითაა ცნობილი. სახელწოდება ასახავს იმას, რომ სპექტრის ხილულ უბანში განლაგებული ხაზები ამ უბნის წითელი უბნისაკენ წანაცვლებიან. ეს ფაქტი ტალღის სიგრძეთა სხვა დიაპაზონებშიც ვლინდება.



7. რას დაარქმევდით საპირისპირო მოვლენას — გამოსხივების სიხშირის ზრდას?

ექსპერიმენტულად დაადგინეს, ყველა შორეული წყაროს (გალაქტიკები, კვაზარები) სპექტრში შეიმჩნევა წითელი წანაცვლება.



8. რას მიუთითებს ეს ფაქტი, სინათლის ეს წყაროები განუწყვეტილად შორდებიან ერთმანეთს და დედამიწას, თუ უახლოვდებიან?

მეცნიერების ხელთ არსებული მონაცემებით დაადგინეს, რომ მეტაგალაქტიკა ფართოვდება. გამოიანგარიშეს — გალაქტიკების უმრავლესობა, რომლებამდე მანძილი მილიარდი პარსეკია ($1 \text{ პარ} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ კმ}$), გვშორდება $\approx 60000 \text{ კმ/წმ}$ სიჩქარით. უფრო დაშორებული კვაზარებისათვის მეტი სიჩქარე, $\approx 275000 \text{ კმ/წმ}$ მიიღეს.

პრესაში ასეთი ცნობაც გამოჩნდა: სამყარო ზრდადი სიჩქარით ფართოვდება. რატომ? შეკითხვაზე დასაბუთებული პასუხი მომავალში შეიძლება თქვენ გასცეთ.

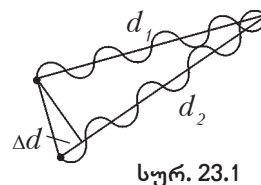
დოპლერის ეფექტს წარმატებით იყენებენ დედამიწის ზედაპირზეც სხეულების სიჩქარის გასაზომად.

ავტონისპექტორების მიერ გამოყენებული რადარის (რადიოლოკატორის) მოქმედების პრინციპი დოპლერის ეფექტზეა დამყარებული. რადარის მიერ გამოსხივებული მიკროტალღები აირეკლება ავტომობილიდან და ბრუნდება უკან რადართან. დოპლერის რადიოლოკატორი ზომავს მოძრავი ობიექტის სიჩქარეს კმ/სთ-ით, არეკლილი ტალღის სიხშირის უმნიშვნელო ცვლილების დროსაც კი.

დავადგინეთ, რომ ტალღის წყაროს და დამკვირვებლის ერთმანეთის მიმართ მოძრაობისას, დამკვირვებლის მიერ აღქმული ტალღის სიგრძე იცვლება. ამ მოვლენას დოპლერის ეფექტი ეწოდება. გავეცანით დოპლერის ეფექტის გამოყენებას. შემდეგ გაკვეთილზე ამოცხსნით ამოცანებს მექანიკურ ტალღებზე.

ამოცანის ამოხსნის ნიმუში

1. ორი კოჰერენტული, O_1 და O_2 წყაროდან წამოსული ერთნაირი ამპლიტუდის ტალღები აღწევენ M წერტილს (სურ.23.1). სვლათა სხვაობა Δd და წყაროებს შორის l მანძილი გაცილებით ნაკლებია ტალღების მიერ გავლილ d_1 და d_2 მანძილებზე. დავადგინოთ ტალღების მიერ ერთმანეთის გაძლიერების და შესუსტების პირობა, თუ ტალღის სიგრძეა λ .



ამოხსნა

M წერტილში ტალღების შეკრების შედეგი დამოკიდებულია მათ შორის ფაზათა სხვაობაზე. თუ სვლათა სხვაობა Δd უდრის ტალღის λ სიგრძეს, მაშინ მეორე ტალღა პირველთან შედარებით დაიგვიანებს ერთი პერიოდით (ამ დროში ტალღა გაივლის ტალღის სიგრძის ტოლ მანძილს). ამ შემთხვევაში ორივე ტალღის თხემები (ისე როგორც ღრმულები) ერთმანეთს დაემთხვევა. ამ რხევების შეკრების შედეგად მიიღება რეზულტატური რხევა გაორკეცებული ამპლიტუდით. იგივე მოხდება, თუ Δd მონაკვეთზე თავსდება ტალღის სიგრძის არა ერთი, არამედ ნებისმიერი მთელი რიცხვი.

გარემოს მოცემული წერტილის რხევების ამპლიტუდა მაქსიმალურია, თუ ორი ტალღის, რომლებიც აღაგზნებენ რხევებს ამ წერტილში, სვლათა სხვაობა, ტალღის სიგრძის მთელი რიცხვის ტოლია.

$$\Delta d = k\lambda, \quad \text{სადაც } k=0, 1, 2, \dots$$

თუ Δd მონაკვეთზე თავსდება ტალღის სიგრძის ნახევარი, მაშინ მეორე ტალღა პირველს ჩამორჩება ნახევარი პერიოდით. ფაზათა სხვაობაა π , ე. ი. რხევები წარმოებს საპირისპირო ფაზებში. ამ რხევების შეკრების შედეგად, ჯამური რხევის ამპლიტუდა უდრის ნულს და განსახილველ წერტილში რხევები არ გვაქვს. იგივე მოხდება, თუ Δd მონაკვეთზე თავსდება ნახევართალღების ნებისმიერი კენტი რიცხვი.

გარემოს მოცემული წერტილის რხევების ამპლიტუდა მინიმალურია, თუ ორი ტალღის, რომლებიც აღაგზნებენ რხევებს ამ წერტილში, სვლათა სხვაობა ნახევართალღების კენტი რიცხვის ტოლია.

$$\Delta d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

თუ სვლათა სხვაობა იღებს λ და $\lambda/2$ -ს შორის შუალედურ მნიშვნელობას, მაშინ ჯამური რხევის ამპლიტუდაც იღებს გარკვეულ შუალედურ მნიშვნელობას გაორკეცებულ ამპლიტუდასა და ნულს შორის. მნიშვნელოვანია ის, რომ რხევის ამპლიტუდა ნებისმიერ წერტილში არ იცვლება დროის მიხედვით.

2. რა მინიმალური მანძილი უნდა იყოს დაბრკოლებამდე, რომ ექო გავიგონოთ?

ამოხსნა

ექო შეიძლება გავიგონოთ, თუ დაბრკოლებამდე S მანძილი არ იქნება იმაზე ნაკლები, რომელსაც ბგერა იქით და აქეთ გაივლის 1/15 წმ-ში. თუ ჩავთვლით,

რომ ბგერის სიჩქარე ჰაერში ≈ 340 მ/წმ-ია, მაშინ $S \geq \frac{vt}{2}$. (*) $\Rightarrow$ (*): $S \geq 11$ მ.

3. როგორია თქვენი ვარაუდი, დიდ დარბაზში ორატორის ხმა როდის უფრო კარგად ისმის, როცა დარბაზი ხალხითაა სავსე, თუ როცა მსმენელთა რაოდენობა მცირეა?

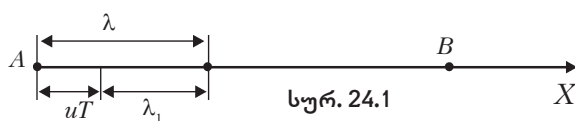
ამოხსნა

დიდ დარბაზში, როცა მსმენელთა რაოდენობა მცირეა, ორატორის სიტყვა ნაკლებად გარკვევით ისმის. ბგერები რამდენჯერმე ირეკლება კედლებიდან, ჭერიდან. რადგან ეს ზღუდეები მსმენელთაგან სხვადასხვა მანძილზე მდებარეობს, ამიტომ ორატორიდან წამოსული და არეკლილი ბგერები მსმენელებთან სხვადასხვა დროს მიდის. ამიტომ ორატორის სიტყვა გარკვევით არ ისმის.

მაგრამ იმავე დარბაზში, როცა ის მსმენელებითაა სავსე, ტანსაცმელი შთანთქავს ბგერით რხევებს, ამიტომ ასეთი დარბაზის აკუსტიკური (ბგერითი) თვისებები

4. ტალღის წყარო და დამკვირვებელი ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ. განვსაზღვროთ დამკვირვებლის მიერ აღქმული რხევის v_1 სიხშირე, თუ ტალღის წყაროს სიხშირეა v , გარემოს მიმართ ტალღის სიჩქარე — V , წყაროს სიჩქარე — u , დამკვირვებლის სიჩქარე — v .

ამოხსნა



ვთქვათ, ტალღის წყარო A წერტილშია, დამკვირვებელი — B -ში (სურ. 24.1). X ღერძი მივმართოთ ტალღის გავრცელების მიმართულებით.

დამკვირვებლის მიერ აღქმული რხევების სიხშირე ტოლია დამკვირვებლის მიმართ ტალღის სიჩქარის და რეალურად არსებული ტალღის λ_1 სიგრძის შეფარდების. ე. ი.

$$v_1 = \frac{V \pm v}{\lambda_1}. \quad (1)$$

რხევის პერიოდის განმავლობაში A წერტილიდან ტალღა ვარცელდება λ მანძილზე, მაგრამ იმავე დროში A წერტილი გადაადგილდება uT მანძილზე (სურ. 7), ამიტომ ტალღის რეალური სიგრძე

$$\lambda_1 = \lambda \pm uT = VT \pm uT = \frac{V \pm u}{v}. \quad (2)$$

ფორმულებში v -ს წინ ნიშანი „—“ იწერება მაშინ, როდესაც დამკვირვებელი შორდება წყაროს და ნიშანი „+“, როდესაც უახლოვდება წყაროს. u -ს წინ ნიშანი „—“ იწერება, როდესაც წყარო უახლოვდება დამკვირვებელს და „+“, როდესაც წყარო შორდება დამკვირვებელს.

$$(2) \Rightarrow (1) \Rightarrow v_1 = \frac{V \pm v}{V \pm u} v. \quad (*)$$

განვიხილოთ კერძო შემთხვევები:

1. $u=0$ და $v=V$ ე. ი. დამკვირვებელი უახლოვდება ტალღის წყაროს ტალღის სიჩქარის ტოლი სიჩქარით, ე. ი. მოძრაობს ტალღის გავრცელების საპირისპიროდ.

$(*) \Rightarrow v_1 = \frac{V+V}{V} v \Rightarrow v_1 = 2v$, ე.ი. დამკვირვებლისათვის რხევის სიხშირე გაორკეცდება.

2. $u=0$ და $v=V$ დამკვირვებელი სცილდება ტალღის წყაროს ტალღის გავრცელების სიჩქარით $(*) \Rightarrow v_1 = \frac{V-V}{V} v \Rightarrow v_1 = 0$, ამ შემთხვევაში დამკვირვებლის წინ არც ერთი ტალღა არ ჩაივლის, რადგან დამკვირვებელი მოძრაობს ტალღასთან ერთად.

3. $v=0$ და ტალღის წყარო შორდება დამკვირვებელს მოდულით ტალღის გავრცელების სიჩქარით. $(*) \Rightarrow v_1 = \frac{V}{V+V} v \Rightarrow v_1 = 0,5v$. დამკვირვებელს მოეჩვენება, რომ რხევის სიხშირე ორჯერ მცირდება.

4. $v=0$ და ტალღის წყარო მოძრაობს დამკვირვებლისაკენ ტალღის გავრცელების სიჩქარით $(*) \Rightarrow v_1 = \frac{V}{V-V} v \Rightarrow v_1 = \infty$, რხევის სიხშირე უსასრულოდ დიდი ხდება.

დავალება

მოიპოვეთ ინფორმაცია ტალღების მეშვეობით სხვადასხვა გარემოში ენერგიის გადატანის, კერძოდ, მიწისძვრის მიზეზებისა და მისი გავრცელების შესახებ. გაანალიზეთ მიწისძვრის შედეგები.

ინფორმაციის მოსაპოვებლად გამოიყენეთ თქვენთვის ხელმისაწვდომი საინფორმაციო წყარო (ბეჭდვითი, აუდიოვიზუალური, ინტერნეტი). მოამზადეთ რეფერატი გაკვეთილზე წარსადგენად.

ამოხსენით ამოცანები

1. ნითელი სინათლის ტალღის სიგრძე ჰაერში 760 ნმ-ია. განსაზღვრეთ რხევის სიხშირე.
2. რკინიგზის ორ სადგურს შორის მანძილი 8,3 კმ-ია. რა დროში მივა ბგერა ერთი სადგურიდან მეორეში ჰაერის მეშვეობით? რელსების მეშვეობით? ჰაერში ბგერის გავრცელების სიჩქარეა ≈ 332 მ/წმ, ფოლადში — ≈ 5500 მ/წმ.
3. კოჰერენტული სინათლის ორი, თითოეული 400 ნმ სიგრძის, ტალღა აღწევს წერტილს 2,0 მკმ სვლათა სხვაობით. გააძლიერებენ თუ შეასუსტებენ ერთმანეთს ეს ტალღები ამ წერტილში?
4. მსროლელს სამიზნეში ტყვიის მოხვედრის ხმა ესმის გასროლიდან 1 ნმ-ში. რა მანძილზეა მისგან სამიზნე, თუ ტყვიის ფრენის საშუალო სიჩქარეა 500 მ/წმ, ბგერის სიჩქარე ჰაერში — ≈ 332 მ/წმ.
5. კამერტონის რხევის სიხშირე 440 ჰც-ია. განსაზღვრეთ კამერტონიდან გავრცელებული ბგერითი ტალღის სიგრძე ჰაერსა და წყალში. ჰაერში ბგერის სიჩქარეა ≈ 332 მ/წმ, წყალში — ≈ 1400 მ/წმ.
6. ბგერა აღარ ისმის. რა დაემართა მის ენერგიას?
7. ჰაერი მეტად შთანთქავს ბგერას, ვიდრე მინა. ქუჩის ხმაური კი ღია ფანჯარაში უფრო მეტად ისმის, ვიდრე დახურულში. ახსენით, რატომ?
8. ბგერის ამრეკლ ზედაპირამდე მანძილი 68 მ-ია. რა დროის შემდეგ გაიგონებს ადამიანი ექოს, თუ ბგერის გავრცელების სიჩქარეა ≈ 340 მ/წმ.
9. ჰაერში ბგერის ორი კოჰერენტული წყარო ერთნაირ ფაზებში ირხევა. პირველი წყაროდან 2 მ-ით, მეორედან კი 2,5 მ-ით დაშორებულ წერტილში ბგერა არ ისმის. განსაზღვრეთ წყაროების რხევის სიხშირე. ბგერის სიჩქარედ მიიღეთ 340 მ/წმ-ში.

ტესტი

1. ტემპერატურის გაზრდისას ჰაერში ბგერის გავრცელების სიჩქარე
 - ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. უცვლელია; დ. ჯერ იზრდება, შემდეგ მცირდება; ე. ჯერ მცირდება, შემდეგ იზრდება.
2. ერთსა და იმავე ტემპერატურაზე აირში, რომლის მოლეკულების მასაც მეტია,
 - ა. ბგერის სიჩქარე მეტია; ბ. ბგერის სიჩქარე ნაკლებია; გ. ბგერის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული აირის მოლეკულის მასაზე.
3. ტალღის გავრცელების სიჩქარე, რხევის პერიოდი და სიხშირე ერთმანეთთან დაკავშირებულია ფორმულით

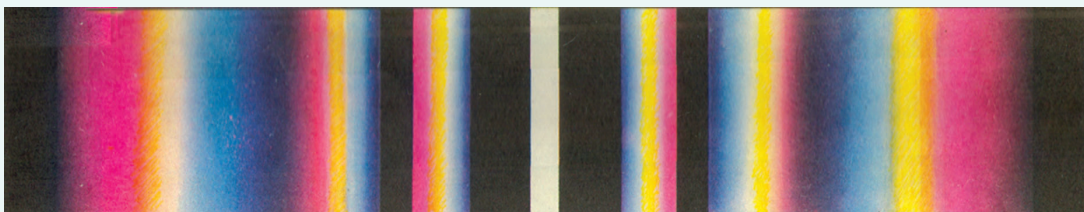
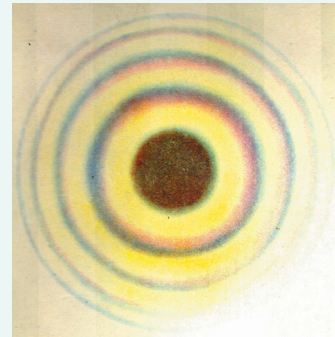
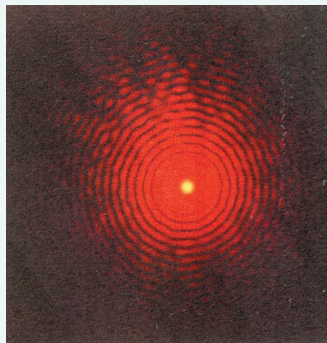
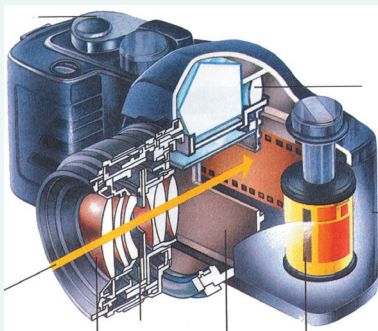
$$a. v = \frac{\lambda}{T}; \quad b. \lambda = \frac{v}{f}; \quad g. v = \lambda f; \quad d. v = \lambda T; \quad e. T = \frac{v}{\lambda}.$$
4. ბგერის გავრცელებისას ნივთიერება
 - ა. გადაიტანება; ბ. არ გადაიტანება; გ. მკვერივი ნივთიერება გადაიტანება, ნაკლებად მკვერივი არა; გ. ბგერის სიძლიერის მიხედვით ხან გადაიტანება, ხან არა.
5. ბგერის ორი კოჰერენტული ტალღა ერთმანეთს
 - ა. ყველგან აძლიერებს; ბ. ყველგან ასუსტებს; გ. ზოგან აძლიერებს, ზოგან კი ასუსტებს; დ. არც აძლიერებს და არც ასუსტებს.

II თავი.

სინათლის ტალღური და კვანტური ბუნება

მიზანი

- ☞ გაეცნოთ სინათლის სიჩქარის გაზომვის სხვადასხვა ხერხს;
- ☞ დაგეგმოთ და ჩაატაროთ ცდები სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად;
- ☞ გაეცნოთ და სქემატურად წარმოადგინოთ ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა;
- ☞ დაადგინოთ, რომ ტალღის სიგრძეებს შორის რაოდენობრივი განსხვავება იწვევს მნიშვნელოვან თვისებრივ განსხვავებას;
- ☞ შეძლოთ, ახსნათ ფოტოეფექტის მოვლენა სინათლის კვანტური თეორიის გამოყენებით;
- ☞ შეძლოთ ფოტოეფექტის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითების მოყვანა;
- ☞ შეძლოთ მოცემულ თემაზე ამოცანების ამოხსნა.



დღესაც აქტუალურია გამოთქმა:

„სინათლე ეს ყველაზე ბნელი ადგილია ფიზიკაში“.

ათასწლეულებია წარმოებს სინათლის ბუნების შესწავლა. განსხვავებული ჰიპოთეზები ცვლიდა და დღესაც ცვლის ერთმანეთს.

ძველ მეცნიერთა უმეტესობას მიაჩნდა, რომ თვალებიდან გამოდის განსაკუთრებით წვრილი საცეცები და მხედველობითი შთაბეჭდილება წარმოიქმნება მათ მიერ საგნების მოსინჯვის დროს.



მოიყვანეთ ამ მოსაზრების დამადასტურებელი ან უარყოფელი მაგალითი. იზიარებთ თუ არა მოყვანილ შეხედულებას? თუ არა რატომ?

ფაქტია, სინათლის წყაროდან სინათლე ვრცელდება და მიმღებზე ზემოქმედებას ახდენს. იმის ასახსნელად, თუ როგორ ხდება ეს, XVII საუკუნის შუა წლებში თითქმის ერთდროულად ორი, სრულიად განსხვავებული თეორია წარმოიშვა.

ერთი ისააკ ნიუტონის სახელთანაა დაკავშირებული, ხოლო მეორე — ქრისტიან ჰიუგენსთან.

ნიუტონმა ჩამოაყალიბა ე. წ. კორპუსკულური თეორია, რომლის თანახმად, სინათლე ნაწილაკების — კორპუსკულების ნაკადია. სინათლის წყაროდან კორპუსკულები ყველა მიმართულებით ვრცელდება (ნივთიერების გადატანა).

ჰიუგენსის თეორიის თანახმად კი, სინათლე ტალღების ნაკადია, გავრცელებული განსაკუთრებულ ჰიპოთეზურ გარემოში — ეთერში, რომელიც ავსებს მთელ სივრცეს და აღწევს ყველა სხეულში (შემდეგში ეთერის არსებობა მრავალგზის ჩატარებული ცდებით არ დადასტურდა).

ორივე თეორია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არსებობდა პარალელურად. ვერც ერთმა მათგანმა ვერ შეძლო გადამწყვეტი გამარჯვების მოპოვება. მხოლოდ ნიუტონის ავტორიტეტი აიძულებდა მეცნიერთა უმრავლესობას, უპირატესობა მიენიჭებინათ კორპუსკულური თეორიისათვის.

თქვენ შეისწავლეთ **სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები, სინათლის დისპერსია**. სინათლის შესახებ, ალბათ, ყოფა-ცხოვრებიდანაც გაქვთ გარკვეული წარმოდგენა. ისიც იცით, ტალღა რა არის და რა კანონებს ემორჩილება. სცადეთ, თქვენს გონებაში ერთმანეთს დაუკავშიროთ სინათლე და ტალღური მოვლენები. შეძლებთ მიხვდეთ, რომელი თეორიით აიხსნება სინათლის გავრცელების ის კანონები, რომელიც თქვენ შეისწავლეთ?

მოდით, მივყვეთ გაკვეთილების მსვლელობას და ერთად გავარკვიოთ ჭეშმარიტება.

გავეცანით მეორე თავის შესწავლის მიზანს და სინათლის შესახებ ორ განსხვავებულ თეორიას. ამ თავში მოცემული საკითხების შესწავლით და-ვადგენთ სინათლის ბუნებას. მანამდე კი გავეცნოთ, როგორ განსაზღვრეს სინათლის სიჩქარე.

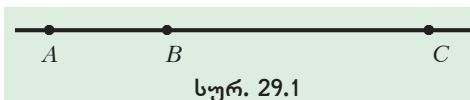
დავალება

ძველ ბერძენ მეცნიერს არისტოტელეს და, თქვენ წარმოიდგინეთ, გერმანელ მწერალსა და მოაზროვნეს გოეთეს აქვთ საინტერესო შეხედულებები სინათლის შესახებ.

მოიპოვეთ ინფორმაცია ამ შეხედულებების შესახებ. დამუშავებული მასალა წარმოადგინეთ სემინარზე.

სინათლის სიჩქარე

სინათლის სიჩქარის გაზომვის იდეა მარტივია. A წერტილში მოთავსებული სინათლის წყარო დროის ტოლ შუალედებში, ვთქვათ, საათში ერთხელ გამოასხივებს სინათლის იმპულსს. B წერტილში დამკვირვებელი იწერს იმპულსების შემჩნევის მომენტებს და ადგენს ცხრილს, რომელშიც მიუთითებს მომდევნო იმპულსების მოსვლის შესაძლო მომენტებს. ვთქვათ, ერთ-ერთი იმპულსის შემჩნევის შემდეგ დამკვირვებელი „მომენტალურად“ ძალიან დასცილდა B წერტილს. გადავიდა C წერტილში (სურ. 29.1) და აღრიცხა შემდეგი იმპულსის მოსვლის მომენტი. ვთქვათ, დროის ეს მომენტი ცხრილში მითითებულ დროის მომენტს დაემთხვა. გაზომა $|BC|$ მანძილი.



1. გამოიტანეთ დასკვნა: რა დროს ანდომებს სინათლე $|BC|$ მანძილის გავლას? როგორ ვრცელდება სინათლე?

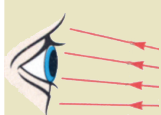
თუ C წერტილში სინათლემ მისვლა დააგვიანა და დამკვირვებელმა შეძლო გაეზომა სინათლის დაგვიანების τ დროის შუალედი, რომელიც სინათლემ გაზომილი $|BC|$ მანძილის გავლას მოანდომა, მაშინ



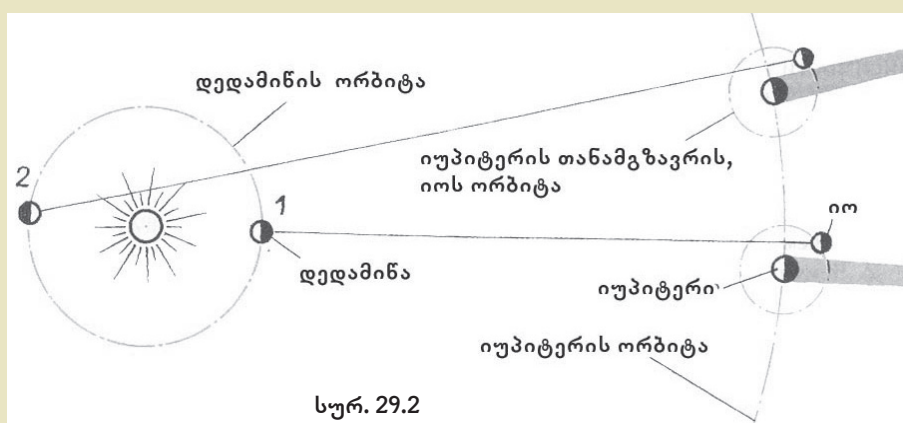
2. როგორ განსაზღვრავთ სინათლის სიჩქარეს?

3. დედამიწის ზედაპირზე შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა ამ მეთოდით სინათლის სიჩქარის განსაზღვრა? ახსენით, რატომ?

სინათლის სიჩქარე პირველად ასტრონომიული მეთოდით განსაზღვრა დანიელმა მეცნიერმა რიომერმა 1676 წელს.



4. რა ინფორმაციას იღებთ 29.2 სურათიდან?



რიომერი ტელესკოპით აკვირდებოდა პლანეტა იუპიტერის თანამგზავრ იოს და განსაზღვრა მისი გარშემოვლის პერიოდი — 42 სთ და 28 წთ.



5. როგორ შეიძლება იოს გარშემოვლის პერიოდის განსაზღვრა? გაითვალისწინეთ, რომ იო დედამიწიდან არ ჩანს, როდესაც იგი იუპიტერის ჩრდილშია.



6. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ იოს გარშემოვლის პერიოდის ცოდნით დააფიქსიროთ დროის ის მომენტები, როდესაც იო მომავალში კვლავ გამოჩნდება? აღწერეთ, როგორ?

ეს გაზომვები და გამოთვლები რიომერმა ჩაატარა მაშინ, როცა დედამინა ყველაზე ახლოს იყო იუპიტერთან (სურ. 29.2).



7. როგორ შეიცვლება მანძილი დედამინასა და იოს შორის ექვს თვეში, როდესაც დედამინა პირველი მდებარეობიდან მეორე მდებარეობაში გადავა (სურ. 29.2)?

8. ექვსი თვის შემდეგ ჩრდილიდან გამოსულ იოს დაინახავდა თუ არა რიომერი მის მიერ შედგენილი გამოთვლების მიხედვით? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

მეორე მდებარეობაში ჩრდილიდან გამოსული იოს სინათლე დედამინაზე 22 წთ-ის დაგვიანებით მოვიდა.



9. რიომერს რომ შეძლებოდა დარჩენილიყო დედამინის ძველი მდებარეობის ადგილას, მაშინ როდის დაინახავდა იგი იოს ჩრდილიდან გამოსვლას?

10. როგორ განვსაზღვროთ სინათლის სიჩქარე?

რიომერმა სინათლის სიჩქარისათვის მიიღო 214 000 კმ/წმ.
შემდეგ სინათლის სიჩქარე სხვადასხვა მეთოდით მრავალჯერ გაზომეს.
თანამედროვე გაზომვებით მიღებულია სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში
 $c = 299792458$ მ/წმ.



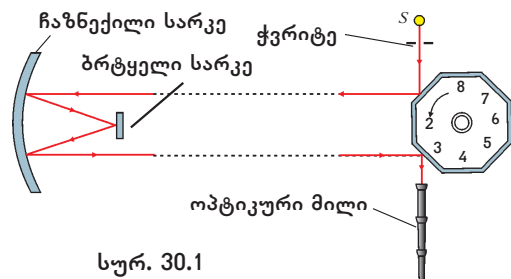
11. სინათლის სიჩქარის გაზომვის რა იდეა გამოიყენა რიომერმა?

რიომერის ცდაში ცდომილება, ძირითადად, გამოიწვია დედამინის ორბიტის დიამეტრის „ზუსტი“ მნიშვნელობის არცოდნამ.

დედამინის ზედაპირის ფარგლებში სინათლის სიჩქარეს სხვადასხვა მეთოდით საზღვრავდნენ. აღწერეთ ამერიკელი მეცნიერის ალბერტ მაიკელსონის (1852-1931) მეთოდი. გაზომვებისათვის მაიკელსონმა გამოიყენა ორი მთის მწვერვალი: ანტონიო და ვილსონი (კალიფორნიაში), რომელთა შორის მანძილი $l = 35,426$ კმ „ზუსტად“ იყო გაზომილი. ვილსონის მთაზე მოათავსა სინათლის ძლიერი S წყარო, რვანახნაგა სარკული პრიზმა და ოპტიკური მილი. ანტონიოს მთაზე კი — ჩაზნექილი და ბრტყელი სარკეები (სურ. 30.1).



12. დააკვირდით 30.1 სურათზე გამოსახულ სქემას და აღწერეთ სხივის სვლა ჭვრიტედან ოპტიკურ მილში მოხვედრამდე.



სურ. 30.1

სინათლის S წყაროდან ჭვრიტეში გავლით სინათლე ეცემოდა რვანახნაგა სარკულ პრიზმას (სურ. 30.1).

არეკლილი სინათლე ოპტიკურ მილში მაშინ შევა, თუ იმ დროის განმავლობაში, რასაც სინათლე ანდომებს ერთი მთიდან მეორემდე მისვლას და უკან დაბრუნებას, სურათზე გამოსახული სარკეების განლაგება არ შეიცვლება.



13. მოხვდება სინათლის სხივი ოპტიკურ მილში, თუ პრიზმის ოდნავი შემობრუნებით სარკეების განლაგება შეიცვლება?

ვაბრუნოთ პრიზმა ისე, რომ ბრუნვის სიხშირე ნელ-ნელა გავზარდოთ.



14. დასაშვებად მიგაჩნიათ თუ არა ოპტიკურ მილში სინათლის კვლავ მოხვედრა? რა შემთხვევაში?

თუ იმ $\tau = \frac{2l}{c}$ (1) დროის შუალედში, რასაც სინათლე ანდომებს მწვერვალებს შორის გაორკეცებული მანძილის გავლას, პრიზმა შემობრუნდება სრული ბრუნის $1/8$ -ით (ან მისი ჯერადით), მაშინ პრიზმის პირველი წახნაგიდან არეკლილ სინათლეს უკან დაბრუნებისას მეორე წახნაგი დახვდება იმ მდებარეობაში, რომელშიც სურათზე მესამე წახნაგია გამოსახული და სინათლე ოპტიკურ მილში მოხვდება.

დროის τ შუალედის განსაზღვრა რთული არ არის: $\tau = \frac{T}{8} = \frac{1}{8n_1}$, (2) სადაც T პრიზმის ბრუნვის პერიოდია, $n_1 = \frac{1}{f}$ — პრიზმის ბრუნთა რიცხვი წამში. მაიკელსონის ერთ-ერთ ცდაში $n_1 = 535$ წმ⁻¹.



15. განსაზღვრეთ სინათლის სიჩქარე მაიკელსონის ერთ-ერთი ცდის მონაცემების მიხედვით.

სინათლის სიჩქარე გაზომეს სხვადასხვა გამჭვირვალე ნივთიერებაში. წყალში სინათლის სიჩქარე $n=4/3$ -ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა, ვიდრე ვაკუუმში. n წყლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია. დადგინდა გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი $n = \frac{c}{v}$, სადაც v სინათლის სიჩქარეა მოცემულ გარემოში.



16. რას აქვს უდიდესი სიჩქარე სამყაროში თანამედროვე მონაცემებით?

გავეცანით სინათლის სიჩქარის გაზომვის სხვადასხვა მეთოდს. დავადგინოთ, რომ სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში არის 300 000 კმ/წმ, ხოლო სხვა გარემოში უფრო ნაკლებია. შემდეგ გაკვეთილზე გავეცნობით მოვლენას, რომელიც გარკვეულ წარმოდგენას მოგვცემს სინათლის ბუნების შესახებ.



1. გადააქვს თუ არა სინათლეს ენერგია? მოიყვანეთ ვარაუდის დამადასტურებელი მაგალითი.

მაქსველის თეორიის თანახმად, სინათლის ენერგია ელექტრომაგნიტური ტალღების ენერგიაა. სინათლის ენერგიის გაზომვის მეთოდები შეადგენს ოპტიკის ნაწილს, რომელსაც **ფოტომეტრია** ეწოდება.

მთელი რიგი სიდიდეები სინათლეს ახასიათებენ მის მიერ გადატანილი ენერგიის მიხედვით. ერთ-ერთი მათგანია სინათლის ნაკადი.



2. როგორ ფიქრობთ, ადამიანის გრძნობის ორგანოებიდან რომელს აქვს განსაკუთრებული მნიშვნელობა სინათლის ენერგიის აღქმისას?

პირველ რიგში გვინტერესებს ელექტრომაგნიტური ტალღების მიერ გადატანილი ის ენერგია, რომელსაც თვალი აღიქვამს. თვალი აღიქვამს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს, რომელთა ტალღის სიგრძე $7,6 \cdot 10^{-7} - 3,8 \cdot 10^{-7}$ მ-ია.



3. დაასახელეთ ელექტრომაგნიტური ტალღები, რომელსაც თვალი ვერ აღიქვამს.

თვალი ყველაზე მგრძნობიარეა მწვანე სხივების მიმართ. ამიტომ მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ სინათლის ენერგიის არა უბრალოდ რაოდენობა, რომელიც რეგისტრირებულია შესაბამისი გამზომი ხელსაწყოებით, არამედ ამ ენერგიის სიდიდე, შეფასებული ჩვენი თვალის მიერ. ასეთი სიდიდეა სინათლის ნაკადი.

სინათლის ნაკადი ეწოდება რაიმე ზედაპირში დროის ერთეულში გასულ სხივურ ენერგიას, რომლის შეფასება მხედველობითი შეგრძნებით ხდება.

$$\Phi = \frac{L}{t}, \quad (1)$$

სადაც Φ არის სინათლის ნაკადი, L — t დროის შუალედში ზედაპირზე დაცემული სინათლის ენერგია.

სხვა სიტყვებით, სინათლის ნაკადი არის **სინათლის გამოსხივების სიმძლავრე**, რომელიც შეფასებულია ჩვენი თვალის მიერ.

რადგან სინათლის წყაროს მიერ შექმნილი სინათლის ნაკადი მოქმედებს გარემოში ყველ საგნებზე, ამიტომ უნდა შემოვიტანოთ კიდევ ორი ენერგეტიკული სიდიდე: ერთი — სინათლის წყაროს დასახასიათებლად, მას სინათლის წყაროს **სინათლის ძალა** ეწოდება და მეორე, საგნების ზედაპირზე სინათლის მოქმედების დასახასიათებლად — **განათებულობა**.

დავუშვათ სინათლის წყარო გავარვარებული ბირთვია.



4. თქვენი აზრით, სინათლის ასეთი წყარო სინათლეს ყველა მიმართულებით ერთნაირად ასხივებს? პასუხი დაასაბუთეთ.

ასეთი სინათლის წყაროს გამოსხივებული სინათლის მოქმედება უნდა შევაფასოთ ბირთვიდან ისეთ მანძილზე, რომელიც გაცილებით აღემატება ბირთვის დიამეტრს.



5. როგორ ფიქრობთ, ასეთ შემთხვევაში ბირთვის ზომებს რაიმე მნიშვნელობა ექნება?

სინათლის ისეთ წყაროს, რომელიც სინათლეს ყველა მიმართულებით თანაბრად ასხივებს და მისი ზომები შეიძლება უგულებელვყოთ იმ მანძილთან შედარებით, რომელზეც ვიხილავთ მის მოქმედებას, სინათლის წერტილოვანი წყარო ეწოდება.

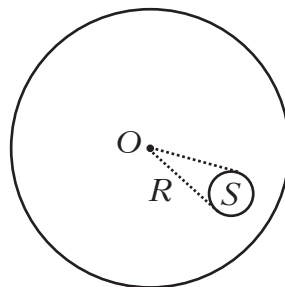


6. როგორია თქვენი აზრი, ვარსკვლავები შეიძლება განვიხილოთ როგორც სინათლის წერტილოვანი წყაროები? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე.

7. გამოთქვით მოსაზრება: არსებობს თუ არა სინათლის წერტილოვანი წყაროები?

წარმოვიდგინოთ სინათლის წერტილოვანი წყარო და მის გარშემო R -რადიუსიანი სფერული ზედაპირი შემოვაგლოთ. ამ სფეროს შიგნით წარმოვიდგინოთ კონუსი, რომლის წვერო სფეროს ცენტრშია. ასეთი კონუსი სფეროს ზედაპირზე ამოჭრის სფერული ზედაპირის S ნაწილს (სურ. 33.1).

კონუსური ზედაპირით შემოსაზღვრულ სივრცეს სხეულოვანი კუთხე ეწოდება — აღვნიშნოთ ω -თი.



სურ. 33.1

$$\omega = \frac{S}{R^2}, \quad (2)$$

სადაც S სფერული სეგმენტის ფართობია.



8. არის თუ არა სხეულოვანი კუთხე დამოკიდებული სფეროს რადიუსზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

თუ $S=R^2$, მაშინ (2) $\Rightarrow$ სხეულოვანი კუთხე ერთეულის ტოლია და მას **სტერადიანი** ეწოდება. ვინაიდან სფერული ზედაპირის ფართობი $4\pi R^2$ -ის ტოლია, ამიტომ წერტილის ირგვლივ სხეულოვანი კუთხე 4π სტერადიანია.

საშინაო ცდა

ბნელ ოთახში აანთეთ სანთელი და დააკვირდით მისგან რაიმე მანძილით დაშორებული საგნის განათებულობას.

ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ, როგორ შეიცვლება საგნის განათებულობა, თუ პირველ სანთელთან ახლოს ორ, სამ ერთნაირ სანთელს აანთებთ?

სანთლებსა და საგანს შორის მანძილს ორჯერ, სამჯერ გაადიდებთ?

შემჩნეული მოვლენები ჩანერეთ და შეეცადეთ ახსნათ.

წყაროს სინათლის I ძალა ეწოდება სიდიდეს, რომელიც ტოლია სინათლის Φ ნაკადისა და იმ სხეულოვანი ω კუთხის ფარდობისა, სადაც ეს ნაკადი ვრცელდება:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (1)$$

წერტილოვანი წყაროს სინათლის ძალა განისაზღვრება ფორმულით:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}. \quad (2)$$



1. ახსენით (2)-ის მართებულობა.

SI -ში სინათლის ძალის ერთეული ძირითადი ერთეულია. ესაა **1 კანდელი** (1 კდ). ფოტომეტრიული სიდიდეების ძირითად ერთეულად სინათლის ძალის ერთეულის არჩევა განპირობებულია იმით, რომ ეტალონის შექმნა ამ სიდიდისათვის ყველაზე მარტივია. სინათლის ძალის ერთეულის ეტალონის როლს (1 კდ) ასრულებს სპეციალური გამომსხივებელი.

სინათლის ნაკადის ერთეულად მიღებულია 1 ლუმენი (1 ლმ).

(1) $\Rightarrow$ 1 ლუმენი არის 1კდ სინათლის ძალის წერტილოვანი წყაროს მიერ ერთი სტერადიანის ტოლ სხეულოვან კუთხეში გამოსხივებული სინათლის ნაკადი.

განმარტების თანახმად, წერტილოვანი წყაროს სინათლის ძალა ყველა მიმართულებით ერთი და იგივეა.



2. როგორ ფიქრობთ, ერთნაირია თუ არა ვარვარის ნათურას სინათლის ძალა სხვადასხვა მიმართულებით?

პასუხი დაასაბუთეთ.

3. დაასახელეთ მოწყობილობა, რომელიც სინათლის წყაროს სინათლის ნაკადს მცირე სხეულოვანი კუთხით მიმართავს ერთი მიმართულებით? როგორ იცვლება ამ მიმართულებით სინათლის ძალა?

4. როგორია დაკვირვებებით მიღებული თქვენი გამოცდილება: სინათლის წყარო — მაგიდის ცენტრის ზემოთ დაკიდებული ვარვარის ნათურა — მაგიდის ზედაპირს თანაბრად ანათებს?

5. თანაბრად განათდება მაგიდის ზედაპირი, თუ მის ზემოთ სინათლის წერტილოვან წყაროს მოვათავსებთ?

განათებულობა E ეწოდება სიდიდეს, რომელიც ტოლია რაიმე ზედაპირზე დაცემული სინათლის Φ ნაკადისა და ამ ზედაპირის S ფართობის ფარდობის.

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (3)$$

განათებულობის ერთეულად SI -ში მიღებულია 1 ლუქსი (1 ლქ).

1 ლუქსი განათებულობაა, რომელსაც გვაძლევს 1 მ² ფართობზე თანაბრად განაწილებული 1 ლუმენი სინათლის ნაკადი.

დავადგინოთ, რომელ ფიზიკურ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ზედაპირის განათებულობა.

გავანალიზოთ საშინაო ცდაში შემჩნეული მოვლენები.



6. ორი ერთნაირი სანთელი უკეთესად ანათებს საგანს, თუ ერთი?

7. თქვენი ვარაუდით, ერთმანეთთან ახლოს მოთავსებული ორი ერთნაირი სინათლის წყარო რამდენჯერ მეტ ენერგიას ასხივებს მოცემული მიმართულებით დროის ერთეულში ერთ წყაროსთან შედარებით?

8. არის თუ არა ზედაპირის განათებულობა დამოკიდებული სინათლის წყაროს ძალაზე და ზედაპირამდე მანძილზე?

იმის გასარკვევად, თუ როგორ არის დამოკიდებული განათებულობა წყარომდე მანძილზე, წარმოვიდგინოთ, რომ წერტილოვანი წყარო სფეროს ცენტრშია მოთავსებული. სფეროს ზედაპირის ფართობი $S=4\pi R^2$, (4) ხოლო სრული სინათლის ნაკადი $\Phi=4\pi I$. (5)

$$(4) \wedge (5) \rightarrow (3) \Rightarrow E = \frac{I}{R^2} \quad (6)$$

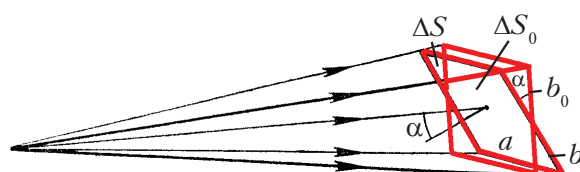
მივიღეთ: **ზედაპირის მართობული სხივებით ზედაპირის განათებულობა პირდაპირპროპორციულია წყაროს სინათლის ძალისა და უკუპროპორციულია წყარომდე მანძილის კვადრატისა.**



9. განსაზღვრეთ სფეროს ცენტრში მოთავსებული წყაროდან მის ზედაპირზე სხივების დაცემის კუთხე.

10. თქვენი აზრით, როგორ შეიცვლება ზედაპირის განათებულობა თუ სინათლის წყაროსა და ზედაპირს შორის იმავე მანძილის შემთხვევაში დაცემის კუთხე ნულისაგან განსხვავდება?

ამ შეკითხვაზე პასუხის დასასაბუთებლად განვიხილოთ იმავე სფეროს შიგა ზედაპირის ძალიან პატარა უბანი. როდესაც ამ უბნის ზომა გაცილებით ნაკლებია სფეროს რადიუსზე, მაშინ შეგვიძლია ჩათვალოთ, რომ იგი ბრტყელია, ხოლო მასზე



სურ. 35.1

დაცემული სხივები დაახლოებით პარალელური. ვთქვათ, უბნის ფართობია ΔS_0 . განვიხილოთ მეორე ΔS ფართობისა ზედაპირი, რომელზეც ეცემა სინათლის იგივე ნაკადი, როგორიც პირველზე (სურ. 35.1). თუ ამ ზედაპირებს შორის კუთხეა α , მაშინ ცენტრალური სხივების ΔS ზედაპირზე დაცემის კუთხეც α -ს ტოლია. მე-5 სურათიდან ჩანს, რომ ორივე ზედაპირს აქვს ერთი და იგივე სიგანე a , მაგრამ განსხვავებული სიგრძეები b და b_0 .

$$\text{რადგან } \frac{b_0}{b} = \cos \alpha, \quad (7) \quad \text{ამიტომ } \frac{\Delta S_0}{\Delta S} = \frac{ab_0}{ab} = \cos \alpha. \quad (8)$$

თითოეული ზედაპირის განათებულობა

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}, \quad (9) \quad E_0 = \frac{\Delta\Phi_0}{\Delta S_0}. \quad (10)$$

$$(9) \wedge (10) \Rightarrow \frac{E}{E_0} = \cos \alpha \Rightarrow E = E_0 \cos \alpha. \quad (11)$$

(11) $\Rightarrow$ ზედაპირის განათებულობა სხივების დაცემის კუთხის კოსინუსის პროპორციულია.

$$(3) \wedge (11) \text{ — ეს გაერთიანებით მივიღებთ } E = \frac{I}{R^2} \cos \alpha. \quad (12)$$

(12) $\Rightarrow$ სინათლის წერტილოვანი წყაროთი შექმნილი ზედაპირის განათებულობა პირდაპირპროპორციულია წყაროს სინათლის ძალისა, სხივების დაცემის კუთხის კოსინუსისა და უკუპროპორციულია წყაროსა და ზედაპირს შორის მანძილის კვადრატისა.

თუ წყარო რამდენიმეა, მაშინ ზედაპირის სრული განათებულობა ტოლია თითოეული წყაროს მიერ ცალ-ცალკე შექმნილ განათებულობათა ჯამის.

განათებულობის კანონების მართებულობის ექსპერიმენტალურად შესამოწმებლად დამზადებულია სპეციალური ხელსაწყოები.

განათებულობის გასაზომ ხელსაწყოებს **ლუქსმეტრი** ჰქვია. სინათლის ძალის გამზომს — **ფოტომეტრი**.

შრომის ნაყოფიერებისა და მხედველობის შენარჩუნებისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სამუშაო ადგილის შესაფერის განათებულობას. სხვადასხვა სახის სამუშაოსათვის დადგენილია განათებულობის გარკვეული ნორმები. მაგალითად, კითხვისათვის აუცილებელი განათებულობაა 30-50 ლქ, მაგიდის განათებულობა ზუსტი სამუშაოებისათვის 100-200 ლქ.

საუინაო ცდა

ცდებისთვის საჭიროა

- საპონი
- წყალი
- წვრილი მილი

ცდის მიზანი: საპნის ბუშტის ზედაპირზე დაკვირვება.

გაბერეთ საპნის ბუშტი და დააკვირდით მის ზედაპირს. სასურველია, თუ საპნის ბუშტს მზის შუქზეც დააკვირდებით. ამჩნევთ ბუშტის ზედაპირზე ლამაზ, ერთმანეთში თანდათან გარდამავალ, სხვადასხვა ელფერის, ცისარტყელასებრ ზოლებს? რატომ ხდება ასე?



1. რა არის ინტერფერენცია?
2. როგორი ტალღებია კოჰერენტული?

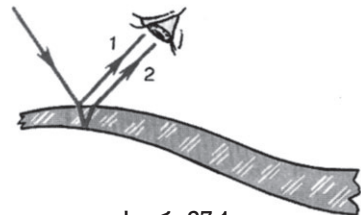
სინათლის ინტერფერენციის, როგორც ტიპური ტალღური მოვლენის აღმოჩენა და გამოკვლევა, დაკავშირებულია ინგლისელი მეცნიერის თომას იუნგის (1883-1839) სახელთან. მანვე შემოიტანა ტერმინი ინტერფერენცია. იუნგმა დაადგინა ინტერფერენციული სურათის მიღების ძირითადი პირობა: „ინტერფერირებს ერთი და იმავე სინათლის ორი ნაწილი“. თანამედროვე ტერმინოლოგიით, ამას **კოჰერენტულობის პირობა** ეწოდება.

გავაანალიზოთ საშინაო ცდაში შემჩნეული მოვლენები. ფერების ცისარტყელასებრი მონაცვლეობა, რომელიც მიიღება საპნის ბუშტზე, ინტერფერენციული სურათია.



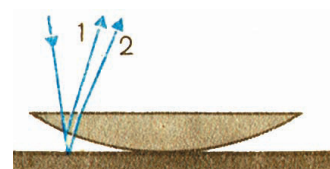
3. გაიხსენეთ, კიდეც სად გინახავთ ინტერფერენციული სურათი?

პირველად იუნგი მივიდა გენიალურ დასკვნამდე, რომ თხელი აფსკების შეფერილობის ახსნა შეიძლება იმ ტალღების (1 და 2) შეკრების შედეგად, რომელთაგან ერთი აირეკლება აფსკის გარე ზედაპირიდან, ხოლო მეორე — შიგა ზედაპირიდან (სურ. 37.1). ამ დროს ხდება სინათლის ტალღების ინტერფერენცია — ორი ტალღის შეკრება, რომლის შედეგადაც ადგილი აქვს მაჯამებელი სინათლის რხევების გაძლიერებას ან შესუსტებას სივრცის სხვადასხვა წერტილში.



სურ. 37.1

ინტერფერენციული სურათი მიიღება ჰაერის თხელ ფენაშიც. მინის ფირფიტაზე მოვათავსოთ მცირე სიმრუდის მქონე ბრტყელ-ამოზნექილი ლინზა (სურ. 37.2). მათ შორის შეიქმნება ჰაერის თხელი ფენა. თუ ლინზის ბრტყელ ზედაპირს დავაკვირდებით, დავინახავთ ცისარტყელასებრი რგოლების ერთობლიობას (სურ. 37.3).

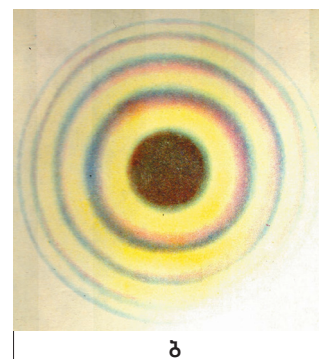


სურ. 37.2

ნიუტონი ყურადღებით აკვირდებოდა და იკვლევდა მათ ლინზის არა მარტო თეთრი სინათლით, არამედ ერთი ფერის (მონოქრომატული) კონით განათების დროსაც.



4. ცდით შეამოწმეთ, როგორი სურათი მიიღება მცირე სიმრუდის ბრტყელ-ამოზნექილი ლინზის ერთი ფერის სინათლით განათებისას.



ბ

ჰაერის თხელ ფენაში მიღებულ რგოლებს ნიუტონის რგოლები ეწოდება.

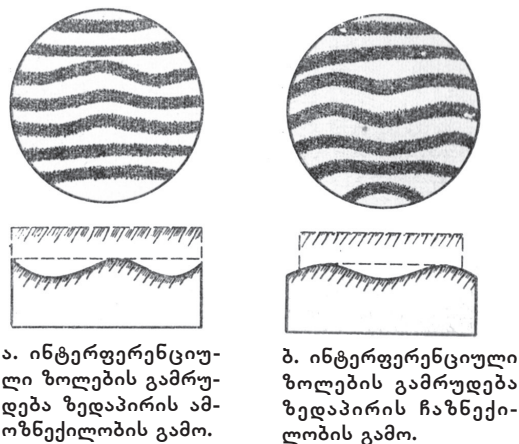
სურ. 37.3

ინტერფერენციული ზოლების შესწავლისას იუნგმა პირველად განსაზღვრა სინათლის სხვადასხვა ფერის ტალღის სიგრძე და სიხშირე. თანამედროვე გაზომვე-

ბით, წითელი სინათლის ტალღის სიგრძეა $\lambda_{\text{წით}} \approx 8 \cdot 10^{-7} \text{ მ}$, იისფერისა – $\lambda_{\text{იისფ}} \approx 4 \cdot 10^{-7} \text{ მ}$. სპექტრის სხვა ფერების შესაბამის ტალღის სიგრძეებს აქვთ შუალედური მნიშვნელობები.

ინტერფერენციას ფართო გამოყენება აქვს. არსებობს სპეციალური ხელსაწყო — ინტერფერომეტრი, რომლის მოქმედება დამყარებულია ინტერფერენციის მოვლენაზე. ხელსაწყო დანიშნულება შეიძლება სხვადასხვა იყოს. მისი მეშვეობით შეიძლება სინათლის ტალღის სიგრძის გაზომვა 7-8 ნიშნადი ციფრის სიზუსტით, აირისა და სხვა ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებლის გაზომვა და სხვა.

ინტერფერენციის მეშვეობით შესაძლებელია ნაკეთობათა ზედაპირის დამუშავების ხარისხის შემოწმება 10^{-6} სიზუსტით. ამისათვის გამოსაკვლევ ზედაპირზე დებენ ეტალონურ ფირფიტას (სურ. 38.1). თუ გამოსაკვლევი ზედაპირი სწორია, მაშინ ინტერფერენციული ზოლები პარალელურია, წინააღმდეგ შემთხვევაში — გამრუდებული.



სურ. 38.1

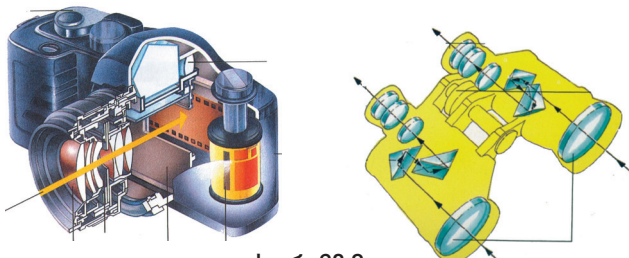


5. რა ემართება სინათლის ენერგიას გამჭვირვალე ზედაპირზე დაცემისას?

დააკვირდით 38.2 სურათზე ფოტოაპარატისა და ბინოკლის გამოსახულებებს.



6. თქვენი ვარაუდით, საშუალოდ, რამდენი ოპტიკური მინისაგან (ლინზები, პრიზმები და სხვა) შედგება თანამედროვე ოპტიკური ხელსაწყოები?



სურ. 38.2

წყალქვეშა ნაგების პერისკოპებში ოპტიკური მინების რაოდენობა 40-ს აღწევს. დასაბუთებულია, რომ გამჭვირვალე ზედაპირზე მართობულად დაცემული სინათლის 5-9% აირეკლება.



7. თქვენი ვარაუდით, როგორ შეიცვლება ზედაპირიდან არეკლილი სინათლის ინტენსივობა დაცემის კუთხის გადიდებით?

8. დაცემული სინათლის რამდენი პროცენტი გამოვა ხელსაწყოდან, თუ მასში 10 ოპტიკური მინაა?

9. ოპტიკური მინებიდან სინათლის არეკვლის გამო, როგორია მიღებული გამოსახულების განათებულობა?

სხივების ნაწილი შიგა ზედაპირებიდან მრავალჯერადი არეკვლის შედეგად მაინც გადის ხელსაწყოში, მაგრამ განიბნევა და უკვე აღარ მონაწილეობს მკაფიო გამოსახულების შექმნაში.

ჩვენი მიზანია, გამოსახულება რაც შეიძლება განათებული იყოს.



10. რა უნდა გაკეთდეს გამოსახულების განათებულობის გასადიდებლად?

ოპტიკური მინების ზედაპირებიდან არეკლილი სინათლის ენერგიის შესამცირებლად მის ზედაპირს ფარავენ თხელი აფსკით. აფსკის სისქეს და გარდატეხის მაჩვენებელს ისე არჩევენ, რომ არეკლილ სინათლეში წარმოიშვას ინტერფერენციული მინიმუმი, მაშინ ობიექტივში შემავალ სინათლეში გვექნება ინტერფერენციული მაქსიმუმი და ლინზაში გავა იმაზე მეტი სინათლე, ვიდრე აფსკით დაფარვამდე გადიოდა. ამის გამო გამოსახულება ხდება უფრო ნათელი, „გასხივოსნებული“. აქედან წარმოიქმნა ტერმინი ოპტიკის გასხივოსნება.

ჩვეულებრივ, ლინზას ეცემა თეთრი სინათლე.



11. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა არეკლილ სინათლეში ერთდროულად ყველა სიგრძის ტალღის ჩაქრობა?

12. როგორია თქვენი ვარაუდი, თეთრი სინათლის სპექტრის რომელი ტალღებისათვის უნდა ჰქონდეს ადგილი არეკლილი სინათლის სრულ ჩაქრობას, რომ შედეგი ყველაზე კარგი იყოს? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

13. შეგიძინებიათ, როგორი შეფერილობა აქვს გასხივოსნებული ოპტიკის ობიექტივს არეკლილ სხივებში. ახსენით, რატომ?

სინათლით სინათლის ჩაქრობა არ ნიშნავს სინათლის ენერგიის სხვა ენერგიად გარდაქმნას.

მექანიკური ტალღების ინტერფერენციისას სივრცის მოცემულ უბანზე ტალღების მიერ ერთმანეთის ჩაქრობა ნიშნავს, რომ ამ ადგილზე ენერგია არ მოდის. ასევე, არეკლილი სინათლის ტალღების ჩაქრობა ნიშნავს, რომ მთელი სინათლე ობიექტივში გადის.

ლინზას უნდა გავუფრთხილდეთ. სუფთად შევინახოთ, დავიცვათ დარტყმებისა და ნაკანრებისაგან. მტვერი მოვაშოროთ რბილი ნაჭრით. დაუშვებელია მისი განმენდა სპირტით, აცეტონით და სხვა გამხსნელი საშუალებებით.

მეცნიერული თეორიისა და ტექნოლოგიური პროცესის განვითარებამ შესაძლებელი გახადა, რომ ამჟამად იაფფასიან ფოტოაპარატებსაც კი გასხივოსნებული ოპტიკა აქვს.

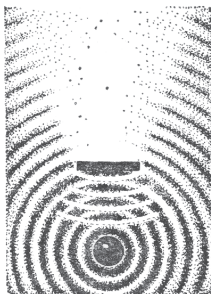
მას შემდეგ, რაც ინტერფერენციის მეშვეობით, შესაძლებელი გახდა სინათლის ტალღის სიგრძის ზუსტი გაზომვა, მეცნიერები შეთანხმდნენ და სიგრძის ახალი ეტალონი შემოიღეს.

1მ არის 84 ატომური მასის კრიპტონის ატომების მიერ ვაკუუმში გამოსხივებული ნარინჯისფერი სპექტრული ხაზის ტალღის სიგრძეზე 1650763,73-ჯერ მეტი.

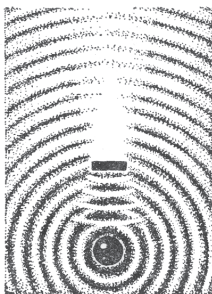
ცდებით დავადგინეთ, რომ სინათლის კოჰერენტული ტალღების ზედდებისას მიიღება ინტერფერენციული სურათი. ამ მოვლენამ ცხადყო სინათლის ტალღური ბუნება. ამავე დროს, შესაძლებელი გახდა სხვადასხვა ფერის ტალღის სიგრძისა და სიხშირის გაზომვა. გავეცანით ინტერფერენციის სხვა პრაქტიკულ გამოყენებასაც.

შემდეგ გაკვეთილზე სინათლის ტალღური ბუნების კიდევ ერთ დამადასტურებელ მოვლენას გავეცნობით.

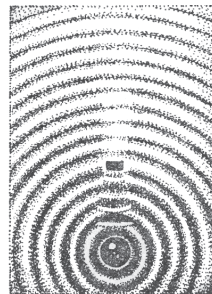
ჩავატაროთ ცდები: წყლის ზედაპირზე აღძრულ ტალღებს დავუხვედროთ სხვადასხვა ზომის დაბრკოლება და დავაკვირდეთ. ფოტოებზე ცდის შედეგებია დაფიქსირებული (სურ. 40.1).



ა. როდესაც დაბრკოლების ზომა დიდია, ტალღა მის უკან ვერ აღწევს. მხოლოდ ნაპირებთან შეიმჩნევა ტალღის ზედაპირის მცირე გამრუდება.



ბ. როდესაც დაბრკოლების ზომა ორ-სამჯერ აღემატება ტალღის სიგრძეს, მაშინ დაბრკოლების ნაპირებთან ტალღის ზედაპირი უფრო მეტადაა გამრუდებული.



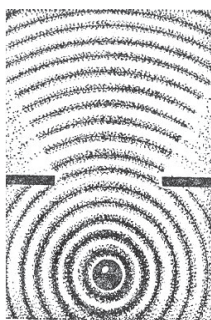
გ. როდესაც დაბრკოლების ზომა ნაკლებია ტალღის სიგრძეზე ან მისი რიგისაა, მაშინ მის მიღმა ტალღები ვრცელდება ისე, თითქოს დაბრკოლება სულაც არ ყოფილიყოს.

სურ. 40.1

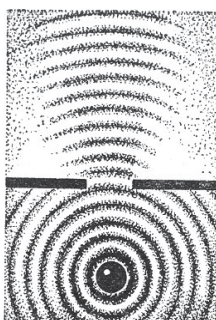


1. ჰგავს ერთმანეთს ცდებში თქვენ მიერ შემჩნეული და 119.1 ფოტოებზე გამოსახული სურათები?

ჩავატაროთ ცდები: წყლის ზედაპირზე აღძრული ტალღების გზაზე მოვათავსოთ სხვადასხვა სიგანის ხვრელიანი ეკრანი და დავაკვირდეთ. ფოტოებზე ცდის შედეგებია დაფიქსირებული (სურ. 40.2).

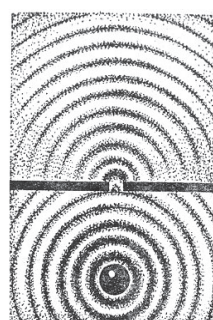


ა. ტალღამ გაირა განიერი ხვრელი, თითქმის ფორმის შეუცვლელად. მხოლოდ ნაპირებთან შეიმჩნევა ტალღის ზედაპირის მცირე გამრუდება.



ბ. ხვრელის დაიწროებისას მის კიდეებთან უფრო მეტად შეიმჩნევა ტალღის ზედაპირის გამრუდება.

სურ. 40.2



გ. როდესაც ხვრელის ზომა ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია, ტალღების დიფრაქცია მეტად თვალსაჩინოა. ეკრანის მიღმა ისე ვრცელდება წრიული ტალღა, თითქოს მერხვეი სხეული — ტალღების წყარო — ეკრანის ხვრელშია.



2. ჰგავს ერთმანეთს ცდებში თქვენ მიერ შემჩნეული და 40.2 ფოტოებზე გამოსახული სურათები?

ტალლის წრფივი გავრცელებიდან გადახვევას, მის მიერ დაბრკოლების შემოვლის მოვლენას, დიფრაქცია ეწოდება.

დიფრაქცია (ლათინური) —
დატეხილი.

დიფრაქცია ისევე დამახასიათებელია ნებისმიერი ტალღური პროცესისათვის, როგორც ინტერფერენცია. დიფრაქციის დროს ტალღური ზედაპირის გამრუდება ხდება დაბრკოლების კიდეებთან.

დადგენილია: დიფრაქცია მკვეთრად გამოხატულია მაშინ, როდესაც დაბრკოლებათა ზომა ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია ან მისი რიგისაა.

უგრძესი ტალღები, რომელსაც ადამიანის ყური აღიქვამს ≈ 20 მ-ია, ხოლო უმოკლესი ≈ 17 მმ.

სინათლის უგრძესი ტალღის სიგრძე, რომელსაც ადამიანის თვალი აღიქვამს, $8 \cdot 10^{-7}$ მ-ია, უმოკლესი $-4 \cdot 10^{-7}$ მ.

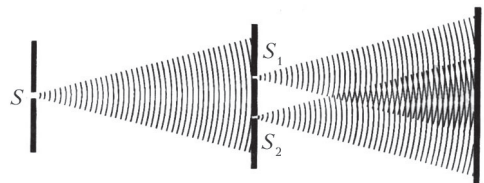


3. როგორია თქვენი აზრი, ბგერით ტალღას აქვს დაბრკოლების შემოვლის უნარი? მოიყვანეთ ვარაუდის დამადასტურებელი მაგალითი.

4. აქვს უნარი სინათლეს, გარს შემოუაროს ხეს? პასუხი დაასაბუთეთ.

5. თუ სინათლე ტალღაა, მაშინ გარკვეულ პირობებში მაინც ხომ უნდა მოხდეს სინათლის დიფრაქცია?

1802 წელს იუნგმა სინათლის დიფრაქციაზე ჩაატარა კლასიკური ცდა (სურ. 41.1). გაუმჭვირ ეკრანში მან ერთმანეთის ახლოს S_1 და S_2 ნასვრეტი გააკეთა. ეს ნასვრეტები გაანათა სინათლის ვიწრო კონით, რომელიც, თავის მხრივ, მეორე ეკრანში გაკეთებული პატარა S ნასვრეტიდან გამოდიოდა.



სურ. 41.1



6. ფარავს თუ არა ნაწილობრივ ერთმანეთს S_1 და S_2 ნასვრეტებიდან გამოსული სინათლის ტალღები?

ცდა გვიჩვენებს, რომ იმ არეში მოთავსებულ მესამე ეკრანზე, სადაც S_1 და S_2 ხვრელებიდან გამოსული სინათლე ერთმანეთს კვეთს, გამოჩნდა ერთმანეთის პარალელური, ლამაზი, ერთმანეთში თანდათან გარდამავალი, სხვადასხვა ელფერის ცისარტყელასებრი ზოლები.

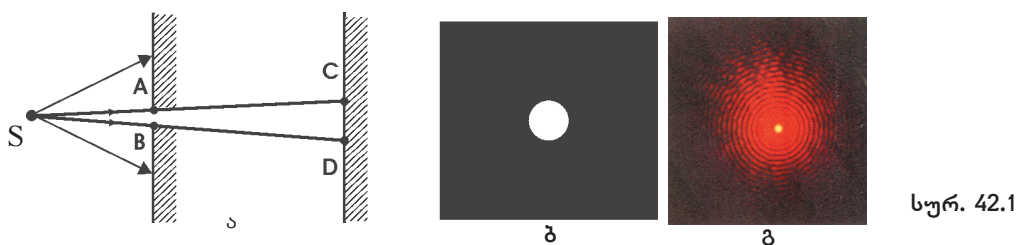
როცა იუნგმა ერთ-ერთი ნასვრეტი დახურა, ინტერფერენციული სურათი გაქრა. სწორედ ეს მიუთითებს სინათლის დიფრაქციას. იუნგმა ამ ცდის მეშვეობით შეძლო გაეზომა სხვადასხვა ფერის სინათლის შესაბამისი ტალღის სიგრძე, თანაც საკმაოდ ზუსტად.

სინათლის დიფრაქცია — სინათლის ტალღური ბუნების კიდევ ერთი დადასტურებაა.



7. რატომ არის ძნელი სინათლის დიფრაქციის ცდით აღმოჩენა?

ვინრო ხვრელში სინათლის გატარებით დიფრაქციის აღმოჩენა ადვილი არ არის. ჩაატარეს ცდა: ვინრო წრიულ AB ხვრელში გამავალი სინათლით ეკრანზე

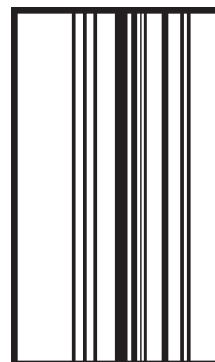


სურ. 42.1

მიიღეს ნათელი CD წრე (სურ. 42.1, ა, ბ).

დაადგინეს: ხვრელის დიამეტრის შემცირება 0,01 მმ-ზე მეტად იწვევს ნათელი CD წრის არა შემცირებას, არამედ გადიდებას. ამასთან, ნათელი წრე ბუნდოვანი, გაფართოებული და არათანაბრად განათებული ხდება. ეკრანზე რიგრიგობით ჩანს ნათელი და ბნელი რგოლები, რომლებიც ავსებენ გაცილებით უფრო ფართო არეს, ვიდრე ეს მიიღება გეომეტრიული აგებით (სურ. 42.1, გ).

თუ მონოქრომატული (ერთი ფერის) სინათლე გამოდის ვინრო ზოლიდან და ხვდება ზოლის პარალელურად მოთავსებულ ძალიან წვრილ მავთულს ან ადამიანის გაჭიმულ თმას, მაშინ ეკრანზე მიიღება ჩრდილი. ჩრდილი მით მკვეთრია, რაც უფრო ახლოსაა ეკრანი დაბრკოლებასთან. ეკრანის დაშორებისას მის მარჯვნივ და მარცხნივ ჩნდება მნათი და ბნელი ზოლები. ეკრანის გარკვეული მდებარეობისას კი ჩრდილის ცენტრში მიიღება ნათელი ზოლი (სურ. 42.2).



სურ. 42.2



8. აღწერილი მოვლენები მიუთითებს თუ არა სინათლის წრფივი გავრცელების კანონის დარღვევას?

სიტუაციური ამოცანა

გიორგი ამბოხს: დიფრაქცია მხოლოდ მაშინ ხდება, როდესაც ხვრელის (ან დაბრკოლების) ზომები ტალღის სიგრძის ტოლია ან მისი რიგისაა.

ანასტასია არ ეთანხმება. მისი მოსაზრებით, დიფრაქცია შესაძლებელია მაშინაც, როდესაც დაბრკოლების ზომები რამდენიმე ათასჯერ მეტია სინათლის ტალღის სიგრძეზე, ოღონდ ამ შემთხვევაში მისი აღმოჩენა ძალიან ძნელია. მაგალითად, თუ ხვრელის დიამეტრი 1 სმ-ია, მაშინ სინათლის წრფივი გავრცელებიდან გადახვევა დაბრკოლებიდან 10-20 მ მანძილზე არ შეიმჩნევა, ხოლო 200 მ და მეტ მანძილზე მისი აღმოჩენა ცდით, პრაქტიკულად, შეუძლებელია.



9. თქვენი ვარაუდით, ვინ არის მართალი: გიორგი თუ ანასტასია?

ცდებით დავადგინეთ მექანიკური ტალღებისა და სინათლის დიფრაქცია. ეს ფაქტი სინათლის ტალღური ბუნების კიდევ ერთი დადასტურებაა. შემდეგ გაკვეთილზე გავეცნობით დიფრაქციის მოვლენის პრაქტიკულ გამოყენებას.

დიფრაქციული მესერი

ვიწრო ჭვრიტედან ეკრანზე მიღებული გამოსახულება მკრთალია.



1. ახსენით, რატომ არის მკრთალი ერთი ჭვრიტედან მიღებული დიფრაქციული სურათი?

თუ ერთმანეთის ახლოს ორ პარალელურ ჭვრიტეს გავაკეთებთ და მისკენ მივმართავთ მონოქრომატულ პარალელურ სხივთა კონას, მაშინ ეკრანზე დაეცემა ორივე ხვრელში გასული სინათლე. ეს სხივები ინტერფერირებენ და განათებულობა იზრდება ეკრანის იმ ადგილებში, სადაც სხივები ერთმანეთს აძლიერებენ.

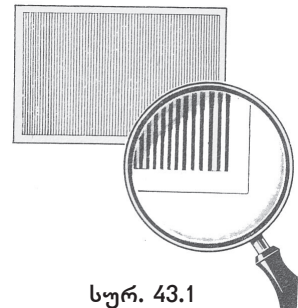


2. როგორ შეიცვლება სურათი, თუ პარალელური ჭვრიტეების რაოდენობას გავაძიდებთ?

მრავალი პარალელური ვიწრო ჭვრიტეს ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთისაგან გამოყოფილი არიან გაუმჭირი შუალებებით, დიფრაქციული მესერი ეწოდება (სურ. 43.1). დიფრაქციულ მესერში თეთრი სინათლის გატარებით რამოდენიმე სპექტრი მიიღება.

საუკეთესო თვისებები აქვს ე. წ. ამრეკლ მესრებს. ისინი წარმოადგენენ სინათლის ამრეკლი და გამბნევი შუალებების მონაცვლეობას. სინათლის გამბნევი შტრიხებს ხაზავენ საჭრისით ლითონის ფირფიტის გახეხილ ზედაპირზე.

თანამედროვე დიფრაქციულ მესერზე 1 მმ-ზე 2400 ხაზზე მეტია.



სურ. 43.1



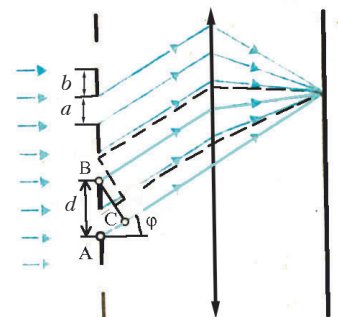
3. როგორია თქვენი ვარაუდი, მექანიკური დამუშავებით შესაძლებლად მიგაჩნიათ ასეთი დიფრაქციული მესრის დამზადება?

მეცნიერული და ტექნიკური პროგრესის განვითარებამ შესაძლებელი გახადა დიფრაქციული მესრის მიღების შემდეგი მეთოდის გამოყენება: ამზადებენ ერთმანეთისადმი კუთხით მიმართული სინათლის ორი კონის გადაკვეთისას მიღებული ინტერფერენციული სურათის ფოტოს, რომელზეც გამოსახულ პარალელურ ზოლებს შორის მანძილი სინათლის ტალღის სიგრძის რიგისაა.

ცდა გვიჩვენებს, რაც უფრო ახლოსაა ერთმანეთთან დიფრაქციული მესრის ჭვრიტეები, მით უფრო მეტად არის დაშორებული ერთმანეთისაგან ეკრანზე მიღებული ნათელი ზოლები, რაც ადიდება სინათლის ტალღის სიგრძის გაზომვის სიზუსტეს.

დიფრაქციული მესრის მეშვეობით შეიძლება სინათლის ტალღის სიგრძის ძალიან ზუსტი გაზომა. გავარკვიოთ, როგორ.

43.2 სურათზე დიფრაქციული მესრის ძალიან გადიდებული სურათია გამოსახული.



სურ. 43.2

გამჭვირვალე ჭვრიტეების (ან ამრეკლი ზოლების) სიგანე აღვნიშნოთ a -თი, ხოლო გაუმჭვირი შუალედების (ან სინათლის გამბნევი ზოლების) სიგანე — b -თი, მათი ჯამი, რომელსაც მესრის პერიოდს უწოდებენ, $a+b=d$ -თი.



4. როგორია თქვენი ვარაუდი, ჭვრიტეებიდან გამოსული სინათლე ერთი მიმართულებით ვრცელდება თუ ყველა მიმართულებით? პასუხი დაასაბუთეთ.

5. ინტერფერირებენ თუ არა ჭვრიტეებიდან გამოსული ტალღები ერთმანეთთან?

6. სივრცის რომელ წერტილებში აძლიერებენ ტალღები ერთმანეთს?

განვიხილოთ ტალღები, რომლებიც სინათლის თავდაპირველ მიმართულებასთან φ კუთხეს (სურ. 43.2). სვლათა სხვაობა მეზობელი ჭვრიტეების კიდეებიდან წამოსულ ტალღებს შორის ტოლია AC მონაკვეთის სიგრძის. თუ ამ მონაკვეთზე თავსდება ტალღის სიგრძის მთელი რიცხვი, მაშინ ყველა ჭვრიტედან წამოსული ტალღები იკრიბება და ერთმანეთს აძლიერებს. 43.2 სურათზე ABC სამკუთხედიდან

$$|AC| = |AB| \sin \varphi = d \sin \varphi \quad (1)$$

მაქსიმუმი, რომელიც გამოჩნდება φ კუთხით, განისაზღვრება პირობიდან:

$$d \sin \varphi = k\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}, \quad (*) \quad \text{სადაც } k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

(*) პირობის შესრულებისას ძლიერდება ჭვრიტეების ყველა წერტილიდან წამოსული ტალღებიც. მართლაც, პირველი ჭვრიტეს ყოველ წერტილს შეესაბამება მისგან d მანძილით დაშორებული წერტილი მეორე ჭვრიტეში. ამიტომ, ამ წერტილებიდან წამოსული ტალღების სვლათა სხვაობა ტოლია $k\lambda$ -სი და ტალღები ერთმანეთს აძლიერებენ.

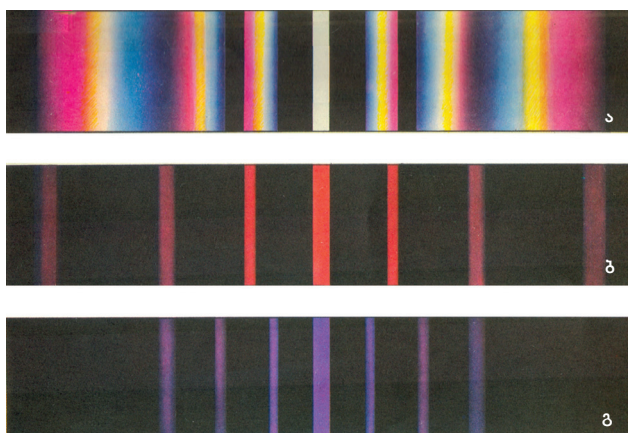
43.2 სურათზე მესრის უკან შემკრები ლინზა და, მის ფოკალურ სიბრტყეში, ეკრანია მოთავსებული.



7. როგორ ვრცელდება პარალელური სხივები ლინზიდან გამოსვლის შემდეგ?

კუთხეები, რომლებიც აკმაყოფილებენ (*) პირობას, განსაზღვრავენ მაქსიმუმების მდებარეობას ეკრანზე. k -ს ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება თავისი სპექტრი.

ეკრანზე დიფრაქციული მესრის ცენტრის მოპირდაპირედ ($\varphi=0$) მიიღება ყველაზე კაშკაშა თეთრი ზოლი, რომელსაც ცენტრალური (ან ნულოვანი) მაქსიმუმი ეწოდება. მის ზევით და ქვევით მიიღება პირველი, მეორე და ა. შ. რიგის სპექტრები. დიფრაქციული მესრით მიღებული სურათები გამოსახულია 44.1 სურათზე.



სურ. 44.1. დიფრაქციული მესრით მიღებული სპექტრები: ა. თეთრი სინათლის; ბ. მონოქრომატული - წითელის; გ. მონოქრომატული იისფერის.



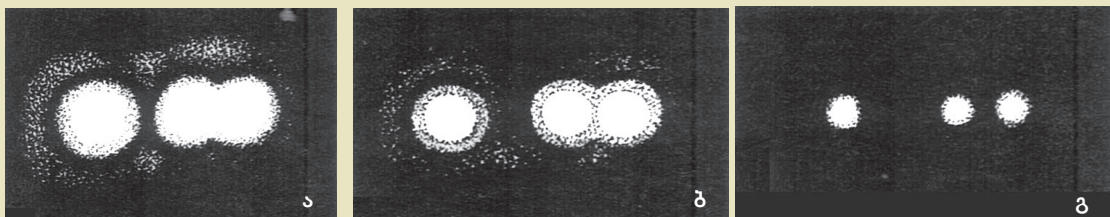
8. სპექტრის რიგითი ნომრის გადიდებით, როგორ იცვლება სპექტრის სიგანე? გადაფარავენ თუ არა ამ დროს მეზობელი სპექტრები ერთმანეთს?

9. სპექტრის რომელი უბნების გამოკვლევაა უფრო ადვილი: მეტი რიგითი ნომრის თუ ნაკლების? ახსენით, რატომ?

სინათლის ტალღური ბუნება, კერძოდ, დიფრაქციის მოვლენა ზღუდავს მიკროსკოპის შესაძლებლობას, გაარჩიოს მცირე ზომის საგნები ან საგნის მცირე დეტალები.

როცა საგნის წრფივი ზომა სინათლის ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია, მაშინ სინათლე შემოუვლის საგნებს და მიიღება „ბუნდოვანი“ გამოსახულება.

დიფრაქციის გამო შეზღუდულია ტელესკოპის გარჩევისუნარიანობაც. მაგალითად, დიფრაქციის შედეგად ობიექტივის ბუდეზე ვარსკვლავი ჩანს არა როგორც წერტილი, არამედ ნათელი და ბნელი რგოლების სისტემა. ამის გამო, თუ ორი ვარსკვლავისაკენ მიმართულ სხივებს შორის კუთხე მცირეა, მაშინ ეს ორი რგოლი ერთმანეთს ედება და თვალი ვერ არჩევს, ორი მნათი წერტილია თუ ერთი.



სურ. 45.1. სამი ვარსკვლავის სურათი, მიღებული განსხვავებული დიამეტრის ობიექტივებიანი ტელესკოპებით.



10. რომელი სურათია მიღებული უფრო დიდი დიამეტრის ობიექტივით (სურ. 45.1)?

დიფრაქციის მოვლენის გამოკვლევა გვიჩვენებს გეომეტრიული ოპტიკის კანონების მიახლოებით ხასიათს. ეს კანონები საკმაოდ ზუსტად სრულდება იმ შემთხვევაში, თუ სინათლის გზაზე მოთავსებული საგნების ზომა ბევრად მეტია სინათლის ტალღის სიგრძეზე.

დიფრაქციული მესრის ძირითადი თვისებაა მასზე დაცემული სინათლის კონის დაშლა ტალღის სიგრძის მიხედვით, ე.ი. სპექტრად, რომელსაც სპექტრულ ხელსაწყოებში იყენებენ.

მოჭუტული თვალით შეხედეთ კაშკაშა სინათლის წყაროს. რას ამჩნევთ?



11. წარმოადგენს თუ არა ჩვენი წამწამები დიფრაქციულ მესერს? ახსენით, რატომ?



დიფრაქციული მესერი

დავადგინეთ, რომ დიფრაქციული მესრის მეშვეობით შესაძლებელია სინათლის ტალღის სიგრძის ძალიან ზუსტი გაზომვა. შემდეგ გაკვეთილზე კი დავადგენთ, სინათლე განივი ტალღაა თუ გრძივი?



სურ. 45.2. კომპაქტ-დისკი თავისი დაკვალული ზედაპირით ამრეკლი დიფრაქციული მესერია.



1. სინათლის რომელ მოვლენებზე დაკვირვებით და შესწავლით დაადგინეს, რომ სინათლეს ტალღური თვისებები აქვს?

სინათლე გრძივი ტალღაა თუ განივი?

სინათლის ტალღური თეორიის ფუძემდებლები იუნგი და ფრენელი თვლიდნენ, რომ სინათლე ბგერითი ტალღების მსგავსად გრძივია და ვრცელდება დრეკად გარემოში ე. წ. ეთერში, რომელიც ავსებს მთელ სივრცეს და აღწევს ყველა სხეულის შიგნით. ალბათ, ასეთი მოსაზრება ბუნებრივი იყო, რადგან, მაშინ მხოლოდ დრეკადი ტალღები იყო ცნობილი.



2. რომელ გარემოში ვრცელდება გრძივი ტალღები?

3. რომელ გარემოში ვრცელდება განივი ტალღები?

4. თუ ივარაუდებდნენ რომ სინათლე განივი ტალღაა, მაშინ როგორ აგრეგატულ მდგომარეობაში უნდა იყოს ეთერი?

5. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა სხეულების (ვარსკვლავების, პლანეტების, მათი თანამგზავრების და სხვათა) მოძრაობა მყარ გარემოში წინააღმდეგობის გარეშე?

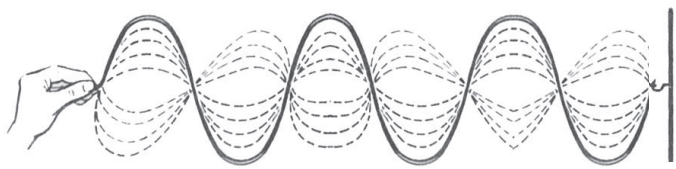
საკითხი გადაწყვიტოთ ექსპერიმენტის მეშვეობით მარტივი მექანიკური მოდელის მაგალითზე.



6. შესაძლებლად მიგაჩნიათ რეზინის ზონარში აღძრათ განივი ტალღა ისე, რომ რხევები სწრაფად იცვლიდეს თავის მიმართულებას სივრცეში?

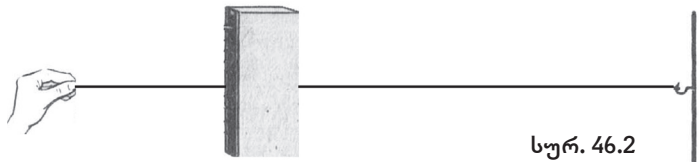
ვარაუდის მართებულობა შეამოწმეთ ცდით.

დააკვირდით, 46.1 სურათი ისეთივეა, როგორც თქვენ მიერ ჩატარებულ ცდაში?



სურ. 46.1

გავატაროთ ზონარი ვიწრო ყუთში დატოვებულ ზოლში (სურ. 46.2).



სურ. 46.2



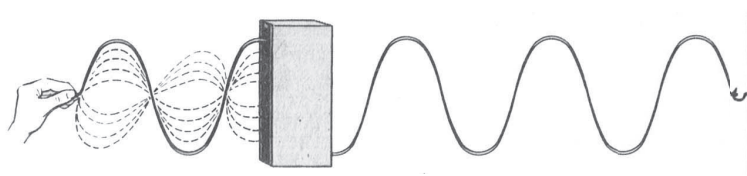
7. ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ, როგორი ტალღები გამოვა ყუთიდან, თუ ზონარში კვლავ აღძრავთ ყველა მიმართულებით სწრაფად ცვლად განივ ტალღებს?

დააკვირდით, თქვენ მიერ ჩატარებულ ცდაში ისეთივე შედეგი მიიღება,

როგორიც 47.1 სურათზეა გამოსახული? ყოველი მიმართულების რხევებიდან ყუთი „გამოყოფს“ რხევებს ერთ გარკვეულ სიბრტყეში?

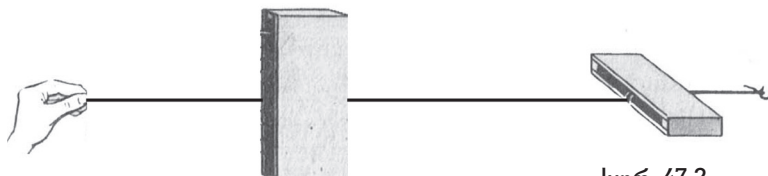
ასეთ ტალღებს პოლარიზებული ეწოდება. მოვლენას კი — პოლარიზაცია.

თოკი გავატაროთ ზუსტად ისეთსავე მეორე ყუთში, რომელიც პირველის მიმართ მობრუნებულია 90° -იანი კუთხით (სურ. 47.2).



სურ. 47.1

პოლარიზაცია (ლათ.) — ელექტრომაგნიტური რხევების თვისება, განლაგდნენ ერთ გარკვეულ სიბრტყეში.

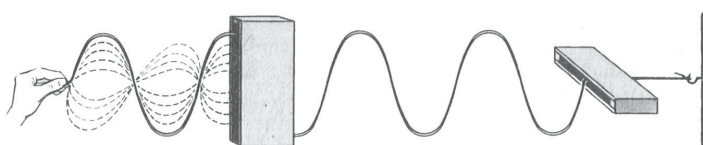


სურ. 47.2

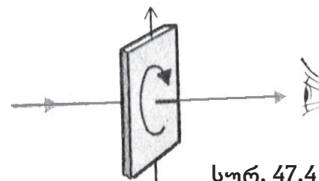


8. გავა თუ არა მეორე ყუთში ტალღები, თუ თოკის დასაწყისში ისევ აღვძრავთ არაპოლარიზებულ ტალღებს? ვარაუდი შეამოწმეთ ცდით.

დააკვირდით, თქვენ მიერ ჩატარებულ ცდაში ისეთივე შედეგი მიიღება, როგორიც 47.3 სურათზეა გამოსახული? მეორე ყუთიდან ტალღები არ გამოდის?



სურ. 47.3



სურ. 47.4

შევხედოთ რომელიმე საგანს ტურმალინის ან პოლაროიდის ფირფიტით. 47.4 სურათზე საგნიდან გამოსული, ფირფიტის ზედაპირის მართობული, ერთ-ერთი სხივია გამოსახული. ვაბრუნოთ ფირფიტა კონის ირგვლივ და დავაკვირდეთ.

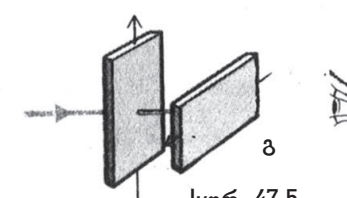
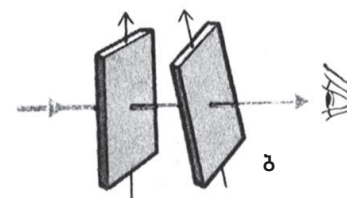
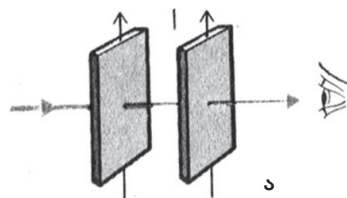
ტურმალინი — მწვანე შეფერილობის მქონე კრისტალი.
პოლაროიდი — ფირფიტა, რომელსაც სინათლის პოლარიზაციის უნარი აქვს.



9. იცვლება თუ არა ფირფიტაში გასული სინათლის ენერგია?

ფირფიტის წინ მის პარალელურად მოვათავსოთ მეორე ისეთივე ფირფიტა ისე, რომ მათი ღერძები ერთნაირად იყოს მიმართული (სურ. 47.5, ა).

შევამჩნევთ, მეორე ფირფიტაში შთანთქმის შედეგად მისგან გამოსული სინათლე ოდნავ შესუსტდება. ნელ-ნელა ვაბრუნოთ მეორე ან პირველი ფირფიტა და დავაკვირდეთ (სურ. 47.5,ბ).



სურ. 47.5



10. რას ამჩნევთ? ღერძებს შორის კუთხის გადიდებასთან ერთად როგორ იცვლება მეორე ფირფიტიდან გამოსული სინათლე?

11. გამოდის თუ არა სინათლე მეორე ფირფიტიდან, როდესაც ღერძები ერთმანეთის მართობი გახდება (სურ.47.5,გ)?

12. გამოიყენეთ განივი მექანიკური ტალღების პოლარიზაციაზე დაკვირვებისას მიღებული შედეგი და გამოიტანეთ დასკვნა სინათლის ტალღების შესახებ.

ამ ფაქტის ახსნა შეუძლებელი იყო იმ დაშვებით, რომ სინათლის ტალღები გრძივია.

სინათლის პოლარიზაციის მოვლენით დასაბუთდა სინათლის ტალღის განივობა. სინათლის ტალღაში ელექტრული და მაგნიტური ველები ირხევიან როგორც ურთიერთ, ისე ტალღის გავრცელების მართობულად, ყველა შესაძლო მიმართულებით. სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა.

ასეთ ტალღას ბუნებრივი ტალღა ეწოდება. ტურმალინის ფირფიტიდან გამოსული ტალღა კი პოლარიზებულია.

სინათლის ელექტრომაგნიტური თეორიის აღიარებასთან ერთად გაქრა გარემოს — ეთერის (იძულებული იყვნენ იგი ჩაეთვალიათ მყარ სხეულად) შემოტანის აუცილებლობა. ეთერის არსებობა ექსპერიმენტით არ დადასტურდა.

მრავალგზის ჩატარებული ცდებით დაამტკიცეს: თვალის ბადურაზე მოქმედებს სინათლის ტალღის ელექტრული ველი.



13. როგორია თქვენი ვარაუდი, სინათლის ელექტრული თუ მაგნიტური ველი მოქმედებს ფოტოემულსიაზე?

14. როგორ მოქმედებს შემხვედრი ავტომობილის შუქი მძღოლზე?

ინტენსიურად მსჯელობენ იმის შესახებ, რომ ავტომობილის ფარების მინები, ასევე ქარსარიდი მინა დამზადდეს პოლარიზებისაგან. ამით აიცილებენ შემხვედრი ავტომობილის სინათლის დამაბრმავებელ მოქმედებას. ამისათვის ფარების მინები და ქარსარიდი მინა (პოლარიზიდი) უნდა ატარებდეს სინათლეს პორიზონტისადმი 45° -იანი კუთხით, მაშინ შემხვედრი სინათლის რხევების მიმართულება მართობული იქნება სიბრტყისა, რომელშიც პოლარიზიდი ატარებს რხევებს და შემხვედრი მანქანის სინათლე ჩაქრება. მოცემული ავტომობილის საკუთარი პოლარიზებული სინათლე კი გზიდან არეკვლის შემდეგ ქარსარიდ მინაში გაივლის და მძღოლი გზას კარგად დაინახავს.

ცხადია, პოლარიზების გამოყენებას აზრი აქვს მაშინ, თუ ისინი ყველა მანქანას ექნება.

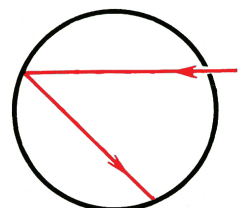


სინათლის პოლარიზაცია, პოლარიზიდი

საშინაო ცდა

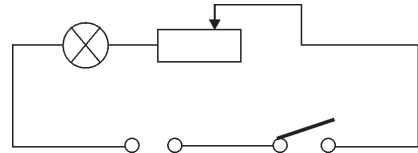
48.1 სურათზე გამოსახულია სფეროს ფორმის გაუმჭირვალე სხეულის პატარა ხვრელში შემავალი და შიგა ზედაპირიდან არეკლილი სხივი. ივარაუდეთ, კელდებიდან მრავალჯერადი არეკვლის შემდეგ გამოვა თუ არა სხივი ხვრელიდან? ვარაუდის მართებულობა შეამოწმეთ სურათით — დახაზეთ სხივის შემდგომი სვლა.

ქალაქისგან გააკეთეთ ბურთი. გაუკეთეთ პატარა ხვრელი და გაანათეთ. დააკვირდით ხვრელს სხვადასხვა კუთხით. როგორი ფერის ჩანს ხვრელი? შეეცადეთ ახსნა შემჩნეული მოვლენა.



სურ. 48.1

ჩავატაროთ ცდა: ააწყოთ წრედი სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით. დიდი წინააღობის რეოსტატი დავაყენოთ მაქსიმალურ წინააღობაზე და ჩავრთოთ ჩამრთველი.



სურ. 49.1



1. ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ დაასაბუთეთ, როგორ შეიცვლება წრედში გამავალი დენი, დროის ერთეულში ნათურაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა და ნათურას კაშკაში რეოსტატის ცოცხას მარცხვნივ გადაადგილებისას?

ვარაუდის მართებულობა შევამოწმოთ ცდით: ნელ-ნელა გადავადგილოთ რეოსტატის ცოცხა მარცხვნივ და დავაკვირდეთ ნათურას. შევამჩნიეთ: ნათურას სპირალი ჯერ წითლდება, შემდეგ მისი კაშკაში თანდათან იზრდება, სპექტრში სხვა ფერებიც გამოჩნდება და ბოლოს თეთრ სინათლეს გამოასხივებს. აქედან გამომდინარეობს: ტემპერატურის გადიდებით სპირალის გამოსხივებაში იზრდება მოკლე ტალღების წილი.

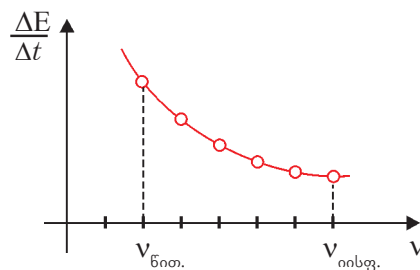
მრავალრიცხოვანი ცდებით დაადგინეს: ნათურას გამოსხივებული ენერგიის უდიდესი ნაწილი მოდის უხილავ ინფრარითელ გამოსხივებაზე. ტემპერატურის გადიდებით მთლიანად გამოსხივებული ენერგია მნიშვნელოვნად იზრდება, მაგრამ ყველაზე მეტად იზრდება გამოსხივებული ხილული სინათლის ენერგია.



2. თანმიმდევრულად ჩამოთვალეთ სხეულის თანდათან გახურებისას რომელი სხივების გამოსხივება იჩენს თავს?

თვალს გააჩნია ამორჩევითი გრძნობიერება სინათლის მიმართ: მისი გრძნობიერების მაქსიმუმი მდებარეობს სპექტრის ყვითელ-მწვანე უბანში.

49.2 სურათზე გამოსახულია დროის ერთეულში გამოსხივებული ენერგიის სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკი.



სურ. 49.2

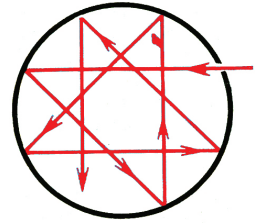


3. როგორ ფიქრობთ, გავარვარებული სხეულის მიერ გამოსხივებული ენერგიის მეტი ნაწილი წითელ ფერზე მოდის თუ ყვითელ-მწვანეზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

ყველა სხეულს შეუძლია არა მარტო გამოასხივოს, არამედ შთანთქმას სითბური გამოსხივება. ცდებით დადგენილია: რაც მეტ ენერგიას ასხივებს სხეული მუდმივ ტემპერატურაზე, იმავე სპექტრული შედგენილობის მით მეტ ენერგიას შთანთქავს იმავე ტემპერატურაზე.

სხეულს, რომელიც ნებისმიერ ტემპერატურაზე მთლიანად შთანთქავს მასზე დაცემულ ყველა სიხშირის სინათლეს აბსოლუტურად შავი სხეული ეწოდება.

აბსოლუტურად შავი სხეულის კარგი მოდელია სფერული ფორმის ღრუ სხეულში გაკეთებული პატარა ხვრელი (სურ. 50.1). ხვრელით სფეროში მოხვედრილი სინათლე მრავალჯერ აირეკლება სფეროს კედლებიდან. კედლის მასალის მიუხედავად სინათლე ყოველი არეკვლისას ნაწილობრივ შთაინთქმება, ამიტომ პრაქტიკულად იგი ხვრელიდან ვერ გამოვა და ხვრელი გვეჩვენება შავი.



სურ. 50.1



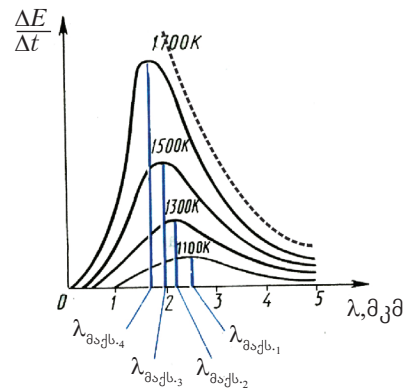
4. როგორია თქვენი ვარაუდი: არსებობს თუ არა აბსოლუტურად შავი სხეული?

პასუხი დაასაბუთეთ.

შავი ბარხატი, მური, შავი ქაღალდი — ოპტიკური თვისებებით ახლოს არიან აბსოლუტურად შავ სხეულთან.

დააკვირდით 50.1 სურათს და შეადარეთ საშინაო დავალებაში თქვენ მიერ აგებულს, ჰგავს სურათები ერთმანეთს?

50.2 სურათზე გამოსახულია შავი სხეულის გამოსხივების ენერგიის ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკი რამოდენიმე ტემპერატურაზე. ყველა მრუდს აქვს მაქსიმუმი. მაღალი ტემპერატურის შესაბამისი გრაფიკების გამოსხივების მაქსიმუმი გადანაცვლებულია მოკლე სიგრძის ტალღებისკენ. თითოეული ტემპერატურისათვის არსებობს ისეთი ტალღის სიგრძე $\lambda_{\text{მაქს}}$, რომელზედაც მოდის აბსოლუტურად შავი სხეულის მიერ გამოსხივებული ენერგიის უდიდესი ნაწილი. ტემპერატურის გადიდებით გამოსხივების ტალღის სიგრძე მცირდება.



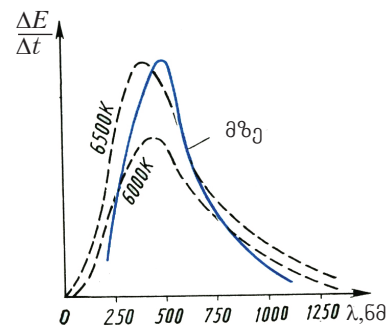
სურ. 50.2

ამის გამო სხეულის გახურებისას იგი ჯერ წითელი ჩანს, შემდეგ წარინჯისფერი და ბოლოს თეთრი. 50.2 სურათზე გამოსახული ექსპერიმენტული მრუდის მეშვეობით დადგენილ იქნა ტალღის სიგრძესა და აბსოლუტურ ტემპერატურას შორის დამოკიდებულების მარტივი ფორმულა $\lambda_{\text{მაქს}} = \frac{b}{T}$. (5)

მე-5 ფორმულა მათემატიკურად გამოსახავს ვინის ნანაცვლების კანონს: **ტალღის სიგრძე, რომელზედაც აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების მაქსიმუმია, უკუპროპორციულია აბსოლუტური ტემპერატურის.**

$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ მ}\cdot\text{K}$ — ვინის მუდმივა.

მზის გამოსხივების სპექტრი ახლოს არის აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივებასთან. ეს კარგად ჩანს 50.3 სურათიდან, რომელზედაც წყვეტილი ხაზებით გამოსახულია აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ენერგიის ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკი 6000 და



სურ. 50.3

6500K ტემპერატურაზე, ხოლო უწყვეტი ხაზით მზისა. სურათიდან ვადგენთ: მზის გამოსხივების მაქსიმუმი დაახლოებით შეესაბამება 470 ნმ სიგრძის ტალღებს.



5. მე-5 ფორმულის გამოყენებით განსაზღვრეთ მზის ზედაპირის ტემპერატურა.

მეცნიერების მცდელობა დაედგინათ ფორმულა, რომელიც ზუსტად და სრულად აღწერდა ექსპერიმენტის მეშვეობით მიღებულ აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივებას ვერ მოხერხდა. (სურ. 50.2). უფრო მეტიც, კლასიკური ფიზიკის კანონების თანმიმდევრული გამოყენებით მივიდნენ დასკვნამდე: 50.2 სურათზე გამოსახულ მრუდს არ უნდა ჰქონდეს მაქსიმუმი და ტალღის სიგრძის შემცირებისას (სიხშირის გადიდებისას) გამოსხივების ენერგია უსასრულოდ უნდა იზრდებოდეს (პუნქტირით გამოსახული მრუდი 50.2 სურათზე). ეს დასკვნა ეწინააღმდეგება ენერგიის მუდმივობისა და გარდაქმნის კანონს და ცნობილია „ულტრაიისფერი კატასტროფის“ სახელწოდებით.

ექსპერიმენტსა და თეორიას შორის შექმნილი ეს წინააღმდეგობა 1900 წელს წარმატებით გადაწყვიტა ფიზიკოს-თეორეტიკოსმა გერმანელმა მაქს პლანკმა (1858-1947).

კლასიკურ ფიზიკაში სინათლის წყაროს მიერ სინათლის გამოსხივება განიხილება როგორც უწყვეტი პროცესი, რომლის თანახმად გამომსხივებელი სხეული განუწყვეტლივ ასხივებს სივრცეში ელექტრომაგნიტურ ტალღებს რის შედეგადაც წყაროს ენერგია განუწყვეტლივ მცირდება. ანალოგიურად განიხილება სინათლის შთანთქმის პროცესიც. სწორედ ასეთი შეხედულების გამო არსებობს წინააღმდეგობა თეორიასა და ექსპერიმენტს შორის — გამოიტანა დასკვნა პლანკმა. მან წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად აბსოლუტურად შავი სხეული ასხივებს და შთანთქმავს სინათლეს არა უწყვეტად, არამედ გარკვეული პორციებით კვანტებით. კვანტის მინიმალური ენერგია პროპორციულია სინათლის სიხშირის $E=h\nu$, სადაც $h=6,626\cdot 10^{-34}$ ჯ·წმ პლანკის მუდმივაა, ν — სიხშირე, E — კვანტის ენერგია.

კვანტი (ლათინური) — ნიშნავს „რაოდენობას“

პლანკის თანახმად ნებისმიერი გამომსხივებელი ასხივებს $n h \nu$ ენერგიას, სადაც n ნებისმიერი ნატურალური რიცხვია.

თავის იდეაზე დაყრდნობით პლანკმა მიიღო ფორმულა რომლითაც ბრწყინვალეთ აიხსნა ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები.

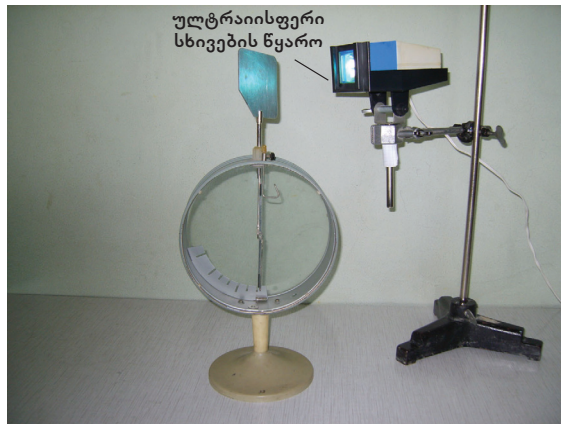
პლანკის დაშვება ფაქტიურად ნიშნავდა, რომ კლასიკური ფიზიკის კანონები არ გამოდგება მიკროსამყაროს მოვლენებისათვის.

სინათლის გამოსხივებისა და შთანთქმის წყვეტილი ბუნების შესახებ პლანკის იდეამ უზარმაზარი გავლენა მოახდინა ფიზიკის შემდგომ განვითარებაზე.

ჩავატაროთ ცდა 1. ელექტრომეტრზე ჩამოვაცვათ კარგად გაპრიალებული თუთიის ფირფიტა და დავმუხტოთ უარყოფითად (სურ. 52.1). გავანათოთ ფირფიტა ულტრაიისფერი სხივებით და დავაკვირდეთ. შევხედავთ, ელექტრომეტრი სწრაფად განიმუხტება (სურ. 52.2).



სურ. 52.1



სურ. 52.2

ცდა 2. ელექტრომეტრზე ჩამოცმული თუთიის ფირფიტა დავმუხტოთ დადებითად და ცდა გავიმეოროთ დავინახავთ, ფირფიტა არ განიმუხტება.

თუთიის ფირფიტაზე ჩატარებული ცდების ანალოგიური ცდები ჩავატაროთ სპილენძის ფირფიტაზე. დავადგენთ: ულტრაიისფერი სხივებით განათებისას უარყოფითად დამუხტული სპილენძის ფირფიტაც განიმუხტება, მაგრამ მისი განმუხტვის დროის შუალედი უფრო მეტია თუთიის ფირფიტის განმუხტვის დროის შუალედზე.



1. როგორ შეიძლება ამ ფაქტის ახსნა? რას მიუთითებს სინათლის მოქმედებით უარყოფითად დამუხტული ელექტრომეტრის განმუხტვა?

2. გამოთქვით ჰიპოთეზა, სინათლის მოქმედებით რატომ არ განიმუხტა დადებითად დამუხტული ელექტრომეტრი?

სინათლის მოქმედებით ნივთიერებიდან ელექტრონების ამოგლეჯის მოვლენას ფოტოეფექტი ეწოდება.

ფოტოეფექტი პირველად 1886 წელს შეამჩნია გამოჩენილმა გერმანელმა ფიზიკოსმა ჰენრიხ ჰერცმა (1857-1894).

ისევ გავანათოთ უარყოფითად დამუხტული ელექტრომეტრის ღეროზე დამაგრებული თუთიის ფირფიტა ულტრაიისფერი სხივებით, ოღონდ ისე, რომ ჯერ მინის ფირფიტაში გაიაროს. ცნობილია, რომ მინა შთანთქავს ულტრაიისფერ სხივებს. დაკვირვებებით შევამჩნევთ, ელექტრომეტრი არ განიმუხტება ძალიან კაშკაშა სინათლითაც კი.



3. როგორ შეიძლება ამ ფაქტის ახსნა? ელექტრომაგნიტური გამოსხივების რომელი ტალღები იწვევს ფოტოეფექტს თუთიის ფირფიტიდან?

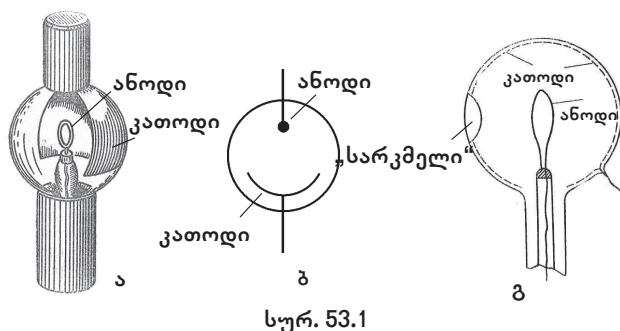
მაშასადამე, ექსპერიმენტულად დაადგინეს, რომ სინათლეს აქვს უნარი ნივთიერებიდან ამოგდოს ელექტრონი, ე. ი. ელექტრონი სინათლისგან იძენს ისეთ ენერგიას, რომ ასრულებს ე. წ. ნივთიერებიდან გამოსვლის მუშაობას და ამოვარდება მისგან. ამ თავისთავად მარტივი ფაქტის ახსნა იმ პერიოდში გაბატონებული სინათლის ტალღური თეორიით ვერ შეძლეს. გაუგებარია, რატომ არ შეუძლია დაბალი სიხშირის სინათლის ტალღებს ელექტრონების ამოგლეჯა მაშინაც კი, როცა ტალღის ამპლიტუდა დიდია და, მაშასადამე, დიდია ელექტრონებზე მოქმედი ძალა.

ფოტოეფექტზე უფრო ნათელი და სრული წარმოდგენისათვის საჭირო გახდა დაედგინათ, რაზეა დამოკიდებული ნივთიერების ზედაპირიდან ამოგდებული ელექტრონების (ფოტოელექტრონების) რაოდენობა და რითი განისაზღვრება მათი კინეტიკური ენერგია.

ფოტოელემენტი — ხელსაწყო რომლის მოწყობილობას საფუძვლად ფოტოეფექტის მოვლენა უდევს.

ამ შეკითხვებზე პასუხის გასაცემად **ჩავატაროთ ცდები ფოტოელემენტის** გამოყენებით.

53.1 სურათზე გამოსახულია ფოტოელემენტის გარე ხედი და მისი სქემატური გამოსახულება. ფოტოელემენტი წარმოადგენს მინის ბალონს, რომლის შიგა ზედაპირის უდიდესი ნაწილი დაფარულია შუქმგრძნობიარე, გამოსვლის მცირე მუშაობის ლითონის თხელი ფენით. იგი კათოდი.



სურ. 53.1

ანოდი წარმოადგენს მავთულის რგოლს ან დისკოს, რომელიც ბალონის შიგნით არის დამაგრებული. კათოდის და ანოდის ბოლოები გამტარით ბალონის გარეთაა გამოტანილი. ბალონს დატოვებული აქვს კვარცის „სარკმელი“.

ბალონში ვაკუუმი ან გაიშვიათებული ინერტული აირია.



4. რა მოხდება, თუ შუქმგრძნობიარე შრეს სინათლე დაეცემა?

5. რა მოხდება, თუ კათოდს მივუერთებთ დენის წყაროს უარყოფით პოლუსს, ანოდს კი დადებითს და შუქმგრძნობიარე შრეს გავანათებთ?

6. რა მოხდება, თუ დენის წყაროს გარეშე ანოდს და კათოდს ერთმანეთთან შევაერთებთ და შუქმგრძნობიარე შრეს გავანათებთ?

თანამედროვე ფოტოელემენტები რეაგირებენ ხილულ სინათლესა და ინფრარითელ სხივებზეც კი.

სინათლის მოქმედებით ნივთიერებიდან გამოსულ ელექტრონებს **ფოტოელექტრონებს** უწოდებენ.

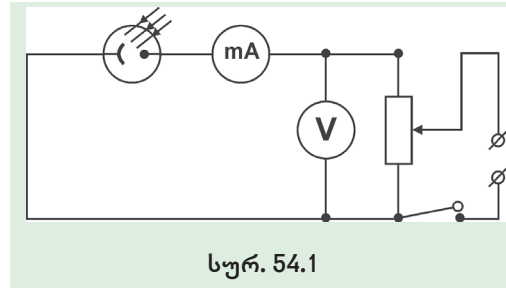


ფოტოეფექტი, ფოტოელემენტი, ფოტოელექტრონი

ფოტოეფექტი არის მოვლენა, რომელიც ადასტურებს სინათლის კვანტურ ბუნებას. შემდეგ გაკვეთილზე გავეცნობით ფოტოეფექტის კანონებს.

ავანყოთ წრედი 54.1 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით (სურ. 54.2).

ჩავრთოთ ჩამრთველი. პოტენციომეტრის მეშვეობით ანოდსა და კათოდს შორის დაბვა გავხადოთ ნულის ტოლი. შევხედოთ მილიამპერმეტრს, მისი ისარი გადახრილი არ არის. გამანათებელი ფოტოელემენტიდან



სურ. 54.1

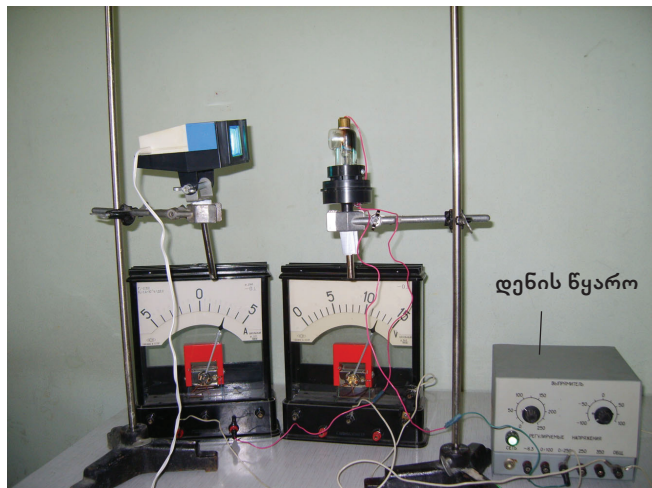
≈40სმ-ზე მოვათავსოთ. გავანათოთ ფოტოელემენტი და დავაკვირდეთ, შევამჩნიეთ, მილიამპერმეტრი დენს გვიჩვენებს.



1. მიუთითებს თუ არა შემჩნეული მოვლენა, რომ განათებული კათოდიდან ელექტრონები ამოიფრქვა და ანოდამდე მიაღწია?

სინათლის მიერ კათოდიდან ამოგლეჯილი ყველა ელექტრონი აღწევს ანოდს?

ამ შეკითხვაზე პასუხის გასაცემად სინათლის ნაკადის შეუცვლელად დავიწყოთ კათოდსა და ანოდს შორის დაბვის თან-



სურ. 54.2

დათან გადიდება და დავაკვირდეთ მილიამპერმეტრს (სურ. 55.1). დავინახავთ მილიამპერმეტრის ჩვენება იწყებს გადიდებას. ანოდსა და კათოდს შორის დაბვის გარკვეულ მნიშვნელობაზე დენი აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას და დაბვის შემდგომი გაზრდა დენის ცვლილებას აღარ იწვევს. მიიღება **ნაჯერობის** დენი.



2. როგორია თქვენი აზრი, როდესაც კათოდსა და ანოდს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნული იყო, მაშინ სინათლის მიერ კათოდიდან ამოტყორცნილი ყველა ელექტრონი აღწევდა ანოდს? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

3. ნაჯერობის დენის მიღებისას როგორი თანაფარდობაა კათოდიდან ამოტყორცნილ ფოტოელექტრონებსა და ანოდზე მისული ელექტრონების რაოდენობებს შორის? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

4. როგორია თქვენი ვარაუდი, ნაჯერობის დენის სიდიდის მიხედვით, შეიძლება თუ არა ვიმსჯელოთ სინათლის მიერ 1 ნმ-ში ამოტყორცნილი ელექტრონების რაოდენობაზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

გავადიდოთ ფოტოელემენტზე დაცემული სინათლის ნაკადი. ამისათვის სინათლის წყარო მივუახლოვოთ ფოტოელემენტს და გავზომოთ ნაჯერობის დენი.

სინათლის სხვადასხვა ნაკადზე ნაჯერობის დენისა და 1 ნმ-ში ნივთიერებიდან ამოტყორცნილი ფოტოელექტრონების რაოდენობების განსაზღვრის შედეგად ჩამოაყალიბეს ფოტოეფექტის პირველი კანონი.

სინათლის მიერ ლითონის ზედაპირიდან ერთ წამში ამოგლეჯილი ფოტოელექტრონების რაოდენობა ამ დროში შთანთქმული სინათლის ენერგიის პროპორციულია.

კათოდი მივუერთოთ დენის წყაროს დადებით პოლუსს, ანოდი უარყოფითს. მაშინ ფოტოელემენტში ელექტრული ველი მიმართულია კათოდიდან ანოდისკენ. კათოდიდან ამოტყორცნილ ელექტრონებზე ელექტრული ველი მოქმედებს კათოდისკენ მიმართული დამამახრუჭებელი ძალით. შევინარჩუნოთ კათოდზე დაცემული სინათლის ნაკადი უცვლელად და ნულოვანი ძაბვიდან დავიწყოთ ძაბვის თანდათანობით გადიდება ისე, რომ კათოდის პოტენციალი დადებითი იყოს, ანოდის — უარყოფითი.



5. როგორია თქვენი აზრი, როგორ შეიცვლება ფოტოდენი? პასუხი დაასაბუთეთ.

გარკვეულ U_a შემაკავებელ ძაბვაზე უდიდესი კინეტიკური ენერგიის ფოტოელექტრონებიც ვერ მიაღწევენ ანოდს და კათოდზე დაბრუნდებიან. ფოტოდენი ნულს გაუტოლდება.

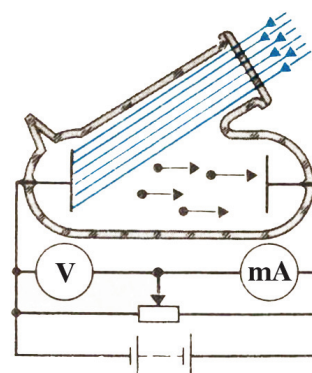
55.2 სურათზე გამოსახულია ფოტოდენის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. თუ გავზომავთ შემაკავებელ ძაბვას და გამოვიყენებთ თეორემას კინეტიკური ენერგიის შესახებ, შევძლებთ განსაზღვროთ ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_a, \quad (1)$$

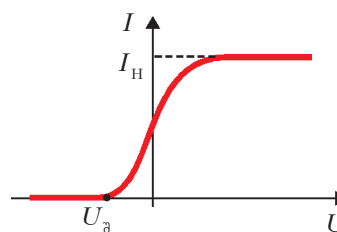
სადაც m ელექტრონის მასაა, e — ელექტრონის მუხტის მოდული, v ფოტოელექტრონის მაქსიმალური სიჩქარე კათოდიდან ამოტყორცნის მომენტში.

ფოტოელემენტის კვარცის „სარკმელში“ გაატარეს სხვადასხვა ფერის სინათლე. ყველა შემთხვევაში გაზომეს U_a ძაბვა და (1)-დან განსაზღვრეს ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია. დაადგინეს, რომ ლითონის ზედაპირიდან სინათლის მოქმედებით ამოტყორცნილი ფოტოელექტრონების სიჩქარე არ არის დამოკიდებული განათებულობაზე. იგი დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიხშირეზე. ცდის შედეგების ანალიზით დაადგინეს ფოტოეფექტის მეორე კანონი:

ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია წრფივად იზრდება სინათლის სიხშირის ზრდასთან ერთად და არ არის დამოკიდებული სინათლის სიძლიერეზე.



სურ. 55.1



სურ. 55.2

ფოტოეფექტის მოვლენა 1905 წელს ახსნა ალბერტ აინშტაინმა. მან გამოიყენა 1900 წელს მაქს პლანკის მიერ ჩამოყალიბებული ჰიპოთეზა: **ატომები ელექტრომაგნიტურ ენერგიას ასხივებენ ცალკეული პორციებით — კვანტებით.** თითოეული პორციის E ენერგია გამოსხივების სიხშირის პროპორციულია:

$$E = h\nu, \quad (1)$$

სადაც $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ ჯ.წმ პროპორციულობის კოეფიციენტს **პლანკის მუდმივა** უწოდეს. პლანკის დაშვება ფაქტიურად ნიშნავდა, რომ კლასიკური ფიზიკის კანონები არ გამოდგება მიკროსამყაროს მოვლენებისათვის.

აინშტაინის თეორიის მიხედვით, **სინათლეს აქვს წყვეტილი სტრუქტურა: $E = h\nu$ სინათლის ენერგიის გამოსხივებული პორცია ინარჩუნებს თავის ინდივიდუალობას შემდგომშიც, სინათლის გავრცელების პროცესში. შთანთქმა შესაძლებელია მხოლოდ მთელი პორციისა.**



6. როგორ ფიქრობთ, ფოტოელექტრონების კინეტიკური ენერგია $h\nu$ -ს ტოლია, მასზე მეტია თუ ნაკლები?

ფაქტია, ელექტრონმა ფოტონის (ანუ სინათლის კვანტის) $h\nu$ ენერგია შთანთქა და ამ ენერგიის ხარჯზე ნივთიერებიდან ამოვარდა. ლითონიდან ამოსვლისას ელექტრონი ასრულებს A მუშაობას და კიდევ აქვს $\frac{mv^2}{2}$ კინეტიკური ენერგია. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად შეიძლება დავწეროთ:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (2)$$

აინშტაინის ეს განტოლება ხსნის ძირითად ფაქტებს, რომლებიც ფოტოეფექტს ეხება. იმისათვის, რომ სინათლემ ნივთიერებიდან ელექტრონი ამოგდოს, საჭიროა, სინათლის კვანტის ანუ ფოტონის ენერგია მეტი იყოს გამოსვლის მუშაობაზე, ე. ი. $h\nu > A$.



7. როგორია თქვენი ვარაუდი, განსხვავებულია თუ არა სხვადასხვა ლითონიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა ერთმანეთისაგან? ახსენით, რის საფუძველზე ფიქრობთ ასე?

8. ერთი და იმავე სიხშირის სინათლეს შეუძლია თუ არა ყველა ლითონიდან ელექტრონის ამოგდება? პასუხი დაასაბუთეთ.

ყოველი ნივთიერებისათვის ფოტოეფექტი ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დაცემული სინათლის სიხშირე ტოლია ან მეტია გარკვეულ მინიმალურ სიხშირეზე $\nu \geq \nu_{\text{მინ}}$, რომლის მნიშვნელობაც დამოკიდებულია ნივთიერების გვარობაზე. აინშტაინის განტოლების მიხედვით ფოტოეფექტი ხდება იმ შემთხვევაში, როდესაც $h\nu \geq A$. აქედან გამომდინარეობს, რომ $\nu_{\text{მინ}}$ ანუ ის უმცირესი სიხშირე, რომლის დროსაც ჯერ კიდევ ხდება ფოტოეფექტი განისაზღვრება ტოლობით $\nu_{\text{მინ}} = \frac{A}{h}$.

$\nu_{\text{მინ}}$ ზღვრულ სიხშირეს უწოდებენ **ფოტოეფექტის წითელ საზღვარს**. მისი მნიშვნელობა სხვადასხვა ნივთიერებისათვის სხვადასხვაა. ფოტოეფექტის

წითელი საზღვრის შესაბამისი ტალღის სიგრძე $\lambda_{\text{მაქს}}$. განისაზღვრება ფორმულით: $\lambda_{\text{მაქს}} = \frac{c}{\nu_{\text{მინ}}}$, სადაც c სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში. უტოლობა $\nu \geq \nu_{\text{მინ}}$ ტოლფასია უტოლობისა $\frac{c}{\lambda} \geq \frac{c}{\lambda_{\text{მაქს}}}$, აქედან გამომდინარეობს, რომ ფოტოეფექტს ადგილი აქვს ისეთი სინათლისათვის, რომლის ტალღის სიგრძე λ აკმაყოფილებს პირობას $\lambda \leq \lambda_{\text{მაქს}}$. აინშტაინის განტოლებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ პლანკის მუდმივას მნიშვნელობა, თუ ექსპერიმენტულად განვსაზღვრავთ ν სიხშირეს, გამოსვლის A მუშაობას და ფოტოელექტრონების კინეტიკურ ენერგიას.

სინათლის ტალღურმა თეორიამ ვერ შეძლო აეხსნა ფოტოეფექტის მოვლენა. რადგან სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა, ამიტომ ზედაპირზე დაცემისას ცვლადი ელექტრული ველის მოქმედებით ელექტრონების ნაწილმა უნდა შეიძინოს ისეთი ენერგია, რომ ლითონიდან ამოვარდეს. რადგან ელექტრული ველის დაძაბულობა იზრდება სინათლის ნაკადის გადიდებით, ამიტომ უნდა ვივარუდოთ, რომ სინათლის გაძლიერებით ლითონიდან ამოვარდებული ელექტრონის ენერგია მეტი უნდა იყოს, ხოლო თუ სინათლის ნაკადს მუდმივს დავტოვებთ, მაგრამ გავაძლიერებთ მის სიხშირეს, მაშინ ლითონიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების ენერგია უნდა შემცირდეს, რადგან ელექტრონების ინერტულობის გამო ისინი სუსტად რეაგირებენ დიდ სიხშირეებზე. ამგვარად ტალღური თეორიის თანახმად ლითონიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების ენერგია უნდა იზრდებოდეს სინათლის ტალღის ინტენსივობის გადიდებით და უნდა მცირდებოდეს მისი სიხშირის გადიდებით.

ექსპერიმენტით დადგინდა პირიქით: **ფოტოელექტრონების ენერგია არ იცვლება სინათლის ტალღის ინტენსივობის გადიდებით და იზრდება სინათლის სიხშირის გადიდებით!** ეს წინააღმდეგობა თეორიასა და ექსპერიმენტს შორის ბრწყინვალედ გადაჭრა ალბერტ აინშტაინმა.

ფოტოეფექტის მოვლენამ გვიჩვენა, რომ სინათლე — ელექტრომაგნიტური ტალღა — ავლენს ნაწილაკების თვისებას.

დღეისათვის ცნობილია, რომ ნაწილაკებისა და ტალღების ურთიერთკავშირი, ანუ კორპუსკულურ ტალღური დუალიზმი, არსებობს ყველა ნაწილაკსა და ტალღას შორის და თანამედროვე კვანტური თეორიის ძირითად პრინციპს წარმოადგენს.

დუალიზმი (ლათ.) — ორობი-
თობა, გაორება



კვანტი, ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი

გავეცანით ფოტოეფექტის კანონებს, აინშტაინის განტოლებას, $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$. დავადგინეთ, რა პირობებში ხდება ფოტოეფექტი და ფოტოეფექტის წითელი საზღვრის ფიზიკური შინაარსი.

ფოტოეფექტის აღმოჩენას ძალიან დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა არა მარტო სინათლის ბუნების უკეთესად შესაცნობად, არამედ პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისითაც. ფოტოეფექტის მეშვეობით შესაძლებელი გახდა კინოს გახმოვანება და მოძრავი გამოსახულების გადაცემა. ფოტოელექტრული ხელსაწყოების გამოყენებამ საშუალება მოგვცა შეგვექმნა ჩარხები, რომლებიც ამზადებენ დეტალებს მოცემული ნახაზების მიხედვით, ადამიანის ჩარხის გარეშე. ფოტოეფექტზე დამყარებული ხელსაწყოები აკონტროლებს ნაკეთობათა ზომებს ნებისმიერ ადამიანზე უკეთესად, დროულად ჩართავს და გამორთავს შუქურებს, ქუჩების განათებას და ა. შ. ყოველივე ეს შესაძლებელი გახდა სრულყოფილი ხელსაწყოების — ფოტოელემენტების გამოყენების მეშვეობით, რომლებშიც სინათლის ენერგია ან მართავს ელექტროდენის ენერგიას ან გარდაიქმნება ელექტრული დენის ენერგიად.

დიდი გამოყენება აქვს ფოტოელემენტისა და ელექტრომაგნიტური რელეს სხვადასხვა კომბინაციას, რომლის დანიშნულებაც ავტომატურად ამოქმედოს სხვადასხვა სახის მექანიზმები. ასეთ რელეს ფოტორელე ეწოდება.

ფოტორელე შეიძლება ამუშავდეს ფოტოელემენტზე სინათლის დაცემისას ან ფოტოელემენტის განათების შეწყვეტისას.

ფოტორელეს მოწყობილობის სქემა გამოსახულია 58.1 სურათზე.

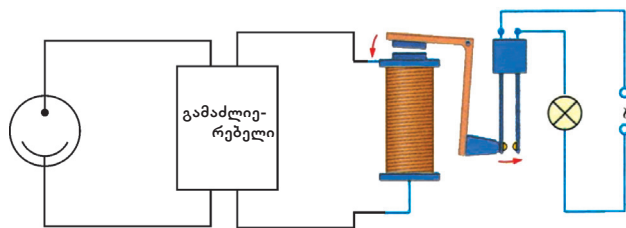
რელე (ფრანგული) — ავტომატური ხელსაწყო, რომელიც რეაგირებს დანადგარის ერთ-ერთი პარამეტრის (მაგ. ძაბვის, ტემპერატურის, წნევის) ცვლილებაზე და მცირე სიმძლავრის მეშვეობით ჩართავს ან განრთავს დენის გაცილებით უფრო მძლავრ დამხმარე წყაროს.



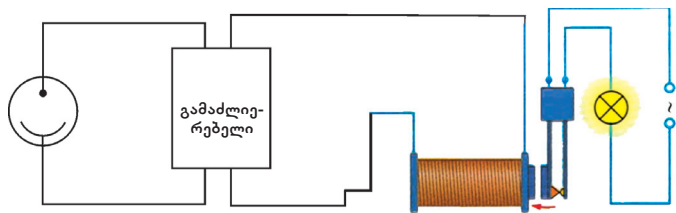
1. რა მოხდება ფოტოელემენტზე სინათლის დასხივებისას (სურ. 58.1)?

2. რა მოხდება ფოტოელემენტზე სინათლის დასხივებისას (სურ. 58.2)?

3. როგორი სახე აქვს ფოტორელეს სქემას, რომლის მეშვეობითაც ქუჩის ლამპიონები ავტომატურად ნათდება დაღამებისას და ასევე ავტომატურად ითიშება გათენებისას?



სურ. 58.1



სურ. 58.2

მოვიყვანოთ ფოტორელეს გამოყენების კიდევ ორი მაგალითი. როდესაც კარები-სკენ (ან კარებიდან) მოძრავი ადამიანი გადაკვეთს ფოტოელემენტზე დაცემულ სინათლეს, ელექტრომაგნიტური რელე მოძრაობაში მოიყვანს მექანიზმს, რომელიც გააღებს ან დაკეტავს კარებს. ანალოგიურად მუშაობდა მეტროს ავტომატი — გასვლისას ტიხარი იკეტებოდა, თუ მგზავრი წინასწარ არ ჩაუშვებდა მონეტას. ახლა მგზავრები იყენებენ საგანგებო სამგზავრო ბარათებს, რომელთა შეხებაც ავტომატის ეკრანზე ამოძრავებს ავტომატურ რელეს. შედეგად, ტიხარი იხსნება.

გარდა ამისა, კონსტრუირებულია ნახევარგამტარული ფოტოელემენტები, რომლებიც სინათლის ენერგიას უშუალოდ ელექტროდენის ენერგიად გარდაქმნიან. ამ ხელსაწყოებს თვითონ შეუძლიათ შეასრულონ დენის წყაროს როლი. შესაძლებელია მათი გამოყენება განათებულობის გასაზომად, მაგალითად, ფოტოექსპონომეტრებში. იგივე პრინციპი უდევს საფუძვლად მზის ბატარეების მოქმედებას, რომლებიც ყველა კოსმოსურ ხომალდზეა მოთავსებული. მზის ბატარეის გამოყენების ზოგიერთი მაგალითი მოცემულია 59.1 სურათზე.



სურ. 59.1



4. იმსჯელეთ ფოტოეფექტის აღმოჩენის მნიშვნელობის შესახებ.

5. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ფუნქციონირება ფოტოელემენტების გარეშე?

ამგვარად, აინშტაინმა პირველად ახსნა ფოტოელექტრული ეფექტი და ის პრინციპი, რომელიც ფოტოელემენტს უდევს საფუძვლად, რითაც შესაძლებელი გახდა შექმნილიყო ხმოვანი კინო, რადიო, ტელეხედვა, ხილული ტელეფონი, ელექტრული მიკროსკოპი და მრავალი სხვა.

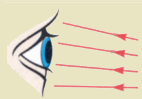
გავეცანით ფოტოეფექტის აღმოჩენის მნიშვნელობას და გამოყენებას.

ფოტოეფექტისა და წინა გაკვეთილებზე შესწავლილი მოვლენების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ სინათლეს ორმაგი ბუნება აქვს.

გამოსხივებისას და შთანთქმისას სინათლე ამჟღავნებს კორპუსკულურ თვისებებს. გავრცელებისას კი — ტალღურს.

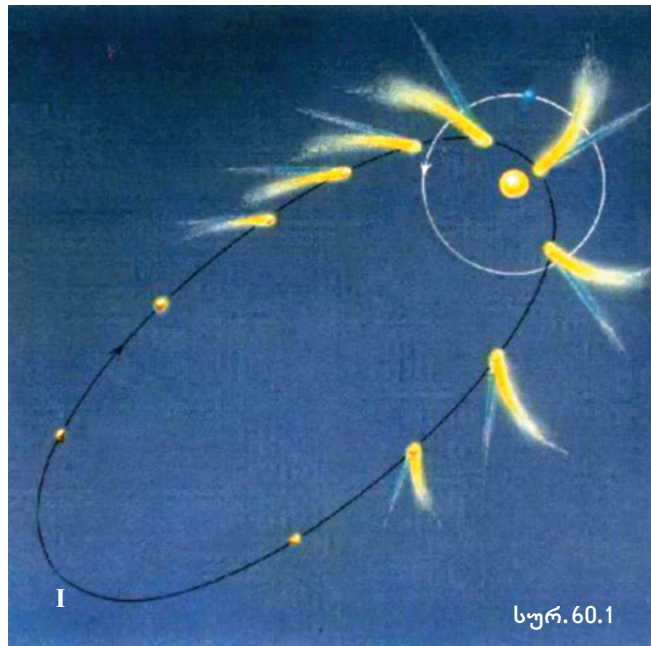


1. როგორია თქვენი აზრი, აწარმოებს თუ არა სინათლე წნევას ზედაპირზე დაცემისას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე.



2. რა ინფორმაციას იღებთ 60.1 სურათიდან?

პირველ მდებარეობაში კომეტა მზიდან ძალიან შორსაა, ამიტომ მზიდან მიღებული ენერგია უმნიშვნელოა.



კომეტა — გაყინული გაზისა და მტვრის დიდი რაოდენობაა, რომელიც მზის გარშემო, განელილ, უზარმაზარ ელიფსურ ტრაექტორიაზე მოძრაობს.



3. ეცვლება თუ არა კომეტას ფორმა მზესთან მიახლოებისას. ახსენით, რატომ?

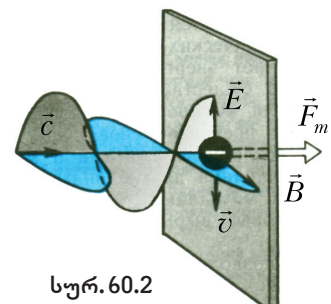
4. მზის რომელ მხარესაა კუდი მიმართული? ახსენით, რატომ?

კუდი ზოგჯერ სიგრძით ათეულ და ასეულ მილიონ კმ-ს აღწევს და იმდენად გაიშვიათებულია, რომ მის უკან ცაზე ვარსკვლავები შეუსუსტებელი სიკაშკაშით დაინახება.

ჯერ კიდევ 1619 წელს იოჰან კეპლერი ცდილობდა აეხსნა კომეტის კუდების წარმოშობა მზის სხივების წნევით.

მაქსველის მიერ დამუშავებული ელექტრომაგნიტური თეორია ამტკიცებს, რომ სინათლე სხეულის ზედაპირზე დაცემისას ამ ზედაპირზე წნევას უნდა ახდენდეს.

ამ მოსაზრების დასამტკიცებლად განვიხილოთ მაგალითი: ლითონის ზედაპირზე ეცემა ელექტრომაგნიტური ტალღა (სურ. 60.2).



5. როგორი ტალღაა ელექტრომაგნიტური? რისგან შედგება იგი?

ელექტრომაგნიტური ველის ელექტრული ველის მოქმედებით ლითონის ელექტრონები იწყებენ მიმართულ მოძრაობას ველის $\vec{E}$ დაძაბულობის საპირისპიროდ (სურ. 60.2). ველის მაგნიტური ველი მოქმედებს ელექტრონებზე ლორენცის ძალით.



6. რა არის ლორენცის ძალა? როგორ განისაზღვრება მისი მიმართულება?

როგორც მე-6 სურათიდან ჩანს ამ ძალის მიმართულება ემთხვევა ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების მიმართულებას. ნახევარი პერიოდის შემდეგ $\vec{E}$ და $\vec{B}$ ვექტორები მიმართულებას შეიცვლიან.



7. დაამტკიცეთ, რომ ამ შემთხვევაში სხეულის ზედაპირზე მოქმედი ძალა მიმართულებას არ იცვლის.

რაიმე ზედაპირზე დაცემული სინათლის წნევა განისაზღვრება ზედაპირის ელექტრონებზე მოქმედი საშუალო ძალის შეფარდებით ამ ზედაპირის ფართობთან.

სინათლის კვანტური თეორიით შესაძლებელია სინათლის წნევის მიზეზის მეტად მარტივად ახსნა. ფოტონებს გააჩნიათ ენერგია — $E=h\nu$ და იმპულსი $p=\frac{h}{\lambda}$

— მსგავსად ჩვეულებრივი ნაწილაკებისა, რომელთაც უძრაობის მასა აქვთ.

სხეულების მიერ ფოტონების შთანთქმის დროს ფოტონები, გადასცემენ თავის იმპულსს სხეულს. იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, სხეულის იმპულსი შთანთქმული ფოტონების იმპულსის ტოლია. სხეულის იმპულსის ცვლილება კი მასზე მოქმედი ძალის იმპულსია. ამგვარად ფოტონები ზედაპირზე დაცემისას მათზე მოქმედებენ ძალით, ამ ძალის ფარდობა ზედაპირის ფართობთან არის სინათლის წნევა. ცხადია სინათლე იმ შემთხვევაშიც მოქმედებს ზედაპირზე როდესაც მისგან აირეკლება.

ჩვეულებრივ პირობებში სინათლის წნევა მეტად მცირეა — მზიან დღეს იგი 10^{-8} პა-ის რიგისაა. მიუხედავად დიდი სიძნელეებისა იგი გაზომილ იქნა. ამ ფაქტს დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა მაქსველის თეორიის მართებულობის დასამტკიცებლად. სინათლის წნევა შეიძლება მნიშვნელოვანი აღმოჩნდეს ვარსკვლავების შიგნით, სადაც ტემპერატურა რამდენიმე მილიონი გრადუსია. ასეთ ტემპერატურაზე ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წნევა ძალიან დიდ სიდიდეს აღწევს. ეს წნევა გრავიტაციულ ძალებთან ერთად მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ვარსკვლავებში გაპროცესებში.

1. ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძეს, სიხშირეს და გავრცელების სიჩქარეს შორის დამოკიდებულებას აქვს სახე $c=\lambda\nu$, (1) სადაც c ვაკუუმში ტალღის სიჩქარეა, λ — ტალღის სიგრძე, ν — სიხშირე. განვსაზღვროთ იმ რადიოტალღების სიხშირე, რომლის ტალღის სიგრძე 10 მ-ია.

ამოხსნა

$\begin{array}{l} ? \nu \\ \text{მოც.: } \lambda = 10 \text{ მ} \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ} \end{array}$	$c = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} \cdot (*)$ $\Rightarrow (*) : \nu = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}}{10 \text{ მ}} = 3 \cdot 10^7 \text{ ჰც.}$
---	---

ე. ი. ერთ წამში სრულდება 30 მილიონი რხევა.

2. ორი კოჰერენტული წყაროდან გამოსხივებული სინათლე ერთმანეთს ხვდება რომელიმე წერტილში 6 მკმ სვლათა სხვაობით. გააძლიერებენ თუ შესუსტებენ ერთმანეთს ტალღები ამ წერტილში, თუ სინათლის ტალღის სიგრძეა ა. 500 ნმ; ბ. 480 ნმ.

ამოხსნა

$\begin{array}{l} ? k_1, k_2 \\ \text{მოც.: } \Delta d = 6 \text{ მკმ} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ მ} \\ \lambda_1 = 500 \text{ ნმ} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ მ} \\ \lambda_2 = 480 \text{ ნმ} = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ მ} \end{array}$	კოჰერენტული ტალღები (როგორც მექანიკური, ისე ელექტრომაგნიტური) ზედდებისას ერთმანეთს აძლიერებენ სივრცის იმ წერტილებში, სადაც მიღ- იან სვლათა სხვაობით, რომელიც ტალღის სიგრძის ნახევრის ლუწი რიცხვის ტოლია, ხოლო ასუსტე- ბენ, როდესაც სვლათა სხვაობა ტალღის სიგრძის ნახევრის კენტი რიცხვის ტოლია.
---	---

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} k \Rightarrow k = \frac{2\Delta d}{\lambda} \cdot (*)$$

ა. $\Rightarrow (*) : k_1 = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ მ}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ მ}} = 24.$

რადგან k_1 ლუწი რიცხვია, ზედდებისას მოხდება სინათლის მაქსიმალური გაძლიერება.

ბ. $\Rightarrow (*) : k_2 = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ მ}}{4,8 \cdot 10^{-7} \text{ მ}} = 25.$

რადგან k_2 კენტი რიცხვია, მოხდება სინათლის შესუსტება.

3. ვაჩვენოთ, რომ გარკვეულ პირობებში, სხვადასხვა ფერის ორ სინათლეს, მაგალითად, წითელსა და მწვანეს შეიძლება ჰქონდეთ ერთი და იგივე ტალღის სიგრძე. გაანგარიშებისას ჩავთვალოთ, რომ ვაკუუმში (ჰაერში) წითელი ფერის ტალღის სიგრძე $\lambda_{\text{წით}} = 760 \text{ ნმ}$, ხოლო მწვანესი — $\lambda_{\text{მწვ}} = 570 \text{ ნმ}$.

ამოხსნა

სინათლეს სხვადასხვა გარემოში ერთი და იგივე სიხშირე აქვს, ტალღის სიგრძე კი — განსხვავებული. წითელი ფერის ტალღის სიგრძე მეტია მწვანე ფერის ტალღის სიგრძეზე. ამიტომ თუ წითელ ფერს გავატარებთ ოპტიკურად უფრო მკვრივ გარემოში, რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n , მაშინ ამ გარემოში მისი ტალღის სიგრძე შემცირდება n -ჯერ და გახდება $\lambda'_{\text{წით.}} = \frac{\lambda_{\text{წით.}}}{n}$. (1)

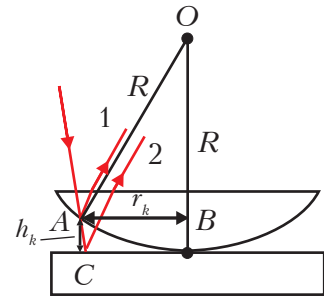
პირობის თანახმად, $\lambda_{\text{მწ.}} = \lambda'_{\text{წით.}}$ (2)

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow n = \frac{\lambda_{\text{წით.}}}{\lambda_{\text{მწ.}}} \quad (*) \quad \mapsto (*): n \approx 1,33.$$

1,33 არის წყლის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელი.

ამგვარად, წითელი ფერის ტალღის სიგრძე წყალში ისეთივეა, როგორიცაა ჰაერში მწვანე ფერის ტალღის სიგრძე.

4. 5 მ სიმრუდის რადიუსის ბრტყელ ამოზნექილი ლინზა დადებულია მინის ბრტყელ ფირფიტაზე და განათებულია ზედაპირის მართობული მონოქრომატული სინათლით. არეკლილ სხივებში ჰაერის



სურ. 63.1

თხელ ფენაში გაჩენილი ინტერფერენციული სურათის — ბნელი და ნათელი რგოლებიდან მესამე ბნელი რგოლის რადიუსი 3,1 მმ-ია (სურ. 63.1). განვსაზღვროთ სინათლის ტალღის სიგრძე.

? λ
მოც.: $R=5$ მ
 $r_k=3,1$ მმ $=3,1 \cdot 10^{-3}$ მ
 $K=3$

ამოხსნა

129.1 სურათზე გამოსახული OAB სამკუთხედიდან პითაგორას თეორემის თანახმად $R^2 = r_k^2 + (R - h_k)^2 \Rightarrow 2Rh_k = r_k^2 + h_k^2$. (1)

რადგან $h_k \ll r_k$, ამიტომ $(1) \Rightarrow 2Rh_k \approx r_k^2 \Rightarrow h_k \approx \frac{r_k^2}{2R}$. (2) მეორე ტალღა პირველთან შედარებით გადის $2h_k$ -თი მეტ მანძილს (სურ. 63.1).

პირველ და მეორე სხივებს შორის სვლათა სხვაობა $\delta = 2h_k + \frac{\lambda}{2}$, (3) სადაც დამატებითი სვლათა სხვაობა $\frac{\lambda}{2}$ იქმნება იმიტომ, რომ ზედაპირიდან არეკვლისას მეორე ტალღის რხევის ფაზა იცვლება π -ით, რაც ნიშნავს სვლათა სხვაობის დამატებით $\frac{\lambda}{2}$ -ით გადიდებას.

ვიცით, ინტერფერენციული მინიმუმი მიიღება წერტილებში, სადაც ტალღები მიდიან სვლათა სხვაობით, რომელიც ტალღის სიგრძის ნახევრის კენტი რიცხვის ტოლია ე. ი.

$$\delta = \frac{\lambda}{2}(2k + 1), \quad (4) \quad \text{სადაც } k=0, 1, 2, \dots$$

$$(3) \wedge (4) \Rightarrow 2h_k + \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}(2k + 1) \Rightarrow 2h_k = \lambda k. \quad (5)$$

$$(2) \mapsto (5) \Rightarrow \lambda = \frac{r_k}{RK} \text{ მ.} \quad (*)$$

$$\mapsto (*): \lambda = 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ მ.}$$

5. განვსაზღვროთ ფოტონების ენერგია, რომელიც შეესაბამება ხილული სინათლის წითელ ფერს, რომლის ტალღის სიგრძე 0,75 მკმ-ია.

ამოხსნა

$\begin{aligned} ? E \\ \text{მოც.: } \lambda = 0,75 \text{ მკმ} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ მ} \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ} \\ h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ} \end{aligned}$	ფოტონის ენერგია $E = h\nu. \quad (1) \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$ $(2) \rightarrow (1) \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda}. \quad (*)$ $\rightarrow (*): \quad E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}}{7,5 \cdot 10^{-7} \text{ მ}} = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ.}$
--	--

6. განსაზღვრეთ 10^{15} ჰც სიხშირის სინათლის მოქმედებით ლითიუმიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების მაქსიმალური ენერგია, თუ ლითიუმიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა $3,82 \cdot 10^{-19}$ ჯ-ია.

ამოხსნა

$\begin{aligned} ? E \\ \text{მოც.: } \nu = 10^{15} \text{ ჰც} \\ A = 3,82 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ} \\ h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ} \end{aligned}$	აინშტაინის განტოლებას ფოტოეფექტისათვის აქვს შემდეგი სახე: $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$ სადაც $h\nu$ ფოტონის ენერგიაა, A — ნივთიერებიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა, $\frac{mv^2}{2} = E$ — ელექტრონის კინეტიკური ენერგია.
--	---

$$(1) \Rightarrow E = h\nu - A \quad (*) \quad \rightarrow (*): \quad E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ} \cdot 10^{15} \text{ ჰც} - 3,82 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ} = 2,8 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ.}$$

7. ულტრაიისფერი სხივების მოქმედებით პლატინის ზედაპირიდან ელექტრონები ამოიფრქვევა. ფოტოდენი წყდება მაშინ, როცა დამამუხრუჭებელი ძაბვა 3,7 ვ-ია. პლატინის ფირფიტის სხვა ლითონით შეცვლის შემდეგ დამამუხრუჭებელი ძაბვა 6 ვ-მდე გაიზარდა. განსაზღვრეთ ამ ლითონიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა, თუ პლატინიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა 6,3 ევ-ია.

ამოხსნა

$\begin{aligned} ? A_2 \\ \text{მოც.: } U_1 = 3,7 \text{ ვ} \\ U_2 = 6 \text{ ვ} \\ A_1 = 6,3 \text{ ევ} = 10,08 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ.} \end{aligned}$	პლატინის ფირფიტისათვის აინშტაინის განტოლების თანახმად: $h\nu = A_1 + \frac{mv_1^2}{2}, \quad (1)$ სადაც ν არის ფირფიტაზე დაცემული ულტრა-
---	--

იისფერი სხივების სიხშირე, m — ელექტრონის მასა, v_1 — ფირფიტიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე. რადგან ელექტრონების დასამუხრუჭებლად საჭიროა U_1 ძაბვა, ამიტომ: $eU_1 = \frac{mv_1^2}{2}$, (2) სადაც e — ელექტრონის მუხტის მოდულია. (2) $\Rightarrow$ (1) $\Rightarrow h\nu = A_1 + eU_1$. (3)

ანალოგიურად დავწეროთ ლითონის მეორე ფირფიტისათვის

$$h\nu = A_2 + eU_2. \quad (4)$$

$$(3) \wedge (4) \Rightarrow A_2 = A_1 - e(U_2 - U_1).$$

$$(*) \Rightarrow (*): A_2 = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ჯ.}$$

8. კოსმიურ ხომალდს აქვს სფეროს ფორმა. მისი ზედაპირის ნახევარი სარკულად ამრეკლავია, ხოლო ნახევარი აბსოლუტურად შავი. ხომალდის მასათა ცენტრი სფეროს ცენტრშია. როგორ ორიენტირდება ხომალდი მზის მიმართ სინათლის წნევის მოქმედების შედეგად?

ამოხსნა

სფეროს სარკულ ზედაპირზე სინათლის ფოტონის „დაჯახებისას“ დაცემის კუთხე არეკვლის კუთხის ტოლია. ეს იმას ნიშნავს, რომ დაცემის წერტილში გავლებულ რადიუსზე ფოტონის იმპულსის გეგმილი იცვლება, ხოლო რადიუსის მართობულ ღერძზე არ იცვლება, ე. ი. სარკულ ნაწილზე ნაწილაკების დაცემისას სფერო არ შემობრუნდება.

როცა ფოტონი შთაინთქმება სფერო ღებულობს მაბრუნებელ იმპულსს. ამიტომ, როგორც კი თანამგზავრი შავი ზედაპირით მზისკენ აღმოჩნდება, ფოტონთა დარტყმები ამ ნაწილზე მას დააბრუნებს გაუნათებელ მხარეს. აქედან გამომდინარეობს, რომ სფერო მდგრად წონასწორობაში იქნება თუ სარკული მხარე მიქცეულია მზისკენ. ეფექტი, რომელზეც საუბარია, საკმაოდ სუსტია.

ამოხსენით ამოცანები

1. განსაზღვრეთ ცისფერი სინათლის სიჩქარე გლიცერინში, თუ მისი ტალღის სიგრძე ვაკუუმში 500, ხოლო გლიცერინში 340 ნმ-ია.
2. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ ნივთიერებიდან ვაკუუმში სინათლის გადასვლისას მისი ტალღის სიგრძე 500-დან 400 ნმ-მდე შეიცვალოს?
3. წითელი სინათლის ტალღის სიგრძე წყალში ისეთივეა, როგორიც მწვანესია ჰაერში. რა ფერის სინათლეს დაინახავს ადამიანი წყლის ქვეშ, თუ იგი განათებულია წითელი სინათლით?
4. იცვლება თუ არა ფოტონის ენერგია ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას? პასუხი დაასაბუთეთ.
5. რენტგენის სხივები გამოსხივდება სწრაფი ელექტრონების დამუხრუჭებისას. განსაზღვრეთ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე, რომელიც მიიღება 10^7 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ელექტრონების მკვეთრი დამუხრუჭებისას. ელექტრონის მასა $9,1 \cdot 10^{-31}$ კგ-ია.
6. ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი ნატრიუმისათვის 590 ნმ-ია. განსაზღვრეთ ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა.

ტესტი**1. საპნის ბუშტზე ცისარტყელას ფერების წარმოქმნა აიხსნება**

- ა. სინათლის დისპერსიით; ბ. სინათლის დიფრაქციით;
- გ. სინათლის ინტერფერენციით;
- დ. ფოტოეფექტით; ე. სინათლის პოლარიზაციით.

2. თეთრი სინათლის ფერებად დაშლა შესაძლებელია

- ა. პოლარიზატორით; ბ. მიკროსკოპით; გ. ფოტოელემენტით;
- დ. დიფრაქციული მესრით; ე. ჩამოთვლილ ხელსაწყოებში ასეთი არ არის.

3. სინათლის ტალღების განივობის დამამტკიცებელია

- ა. სინათლის პოლარიზაცია; ბ. სინათლის ინტერფერენცია;
- გ. სინათლის დიფრაქცია; დ. ფოტოეფექტი; ე. სინათლის დისპერსია.

4. დამუხრუჭებული ნაწილაკი ვაკუუმში ასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს

- ა. მხოლოდ უძრავობისას; ბ. მხოლოდ თანაბარი მოძრაობისას; გ. როგორც უძრავობისას, ისე თანაბარი მოძრაობისას; დ. მხოლოდ აჩქარებული მოძრაობისას.

5. ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია დაცემული სინათლის ინტენსივობის გაზრდით

- ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება.
- დ. ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ მცირდება.

6. ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია დაცემული სინათლის სიხშირის ზრდასთან ერთად

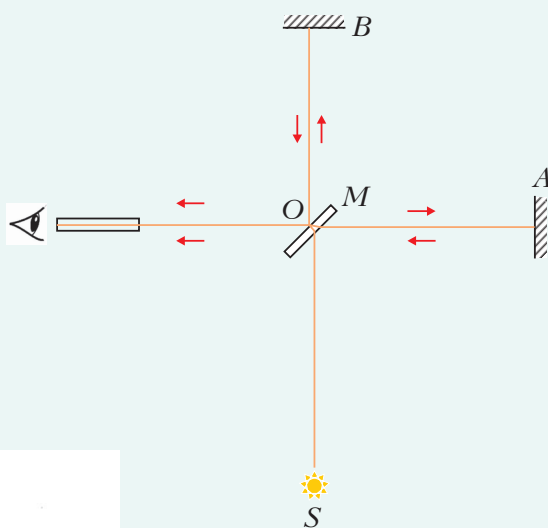
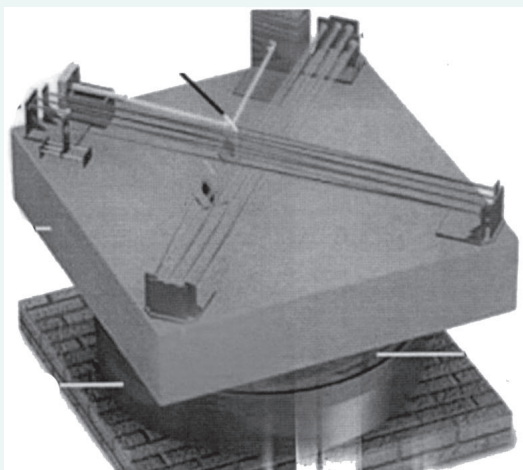
- ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება.
- დ. ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ მცირდება.

III თავე.

ფარდობითობის თეორიის ელემენტები

მიზანი

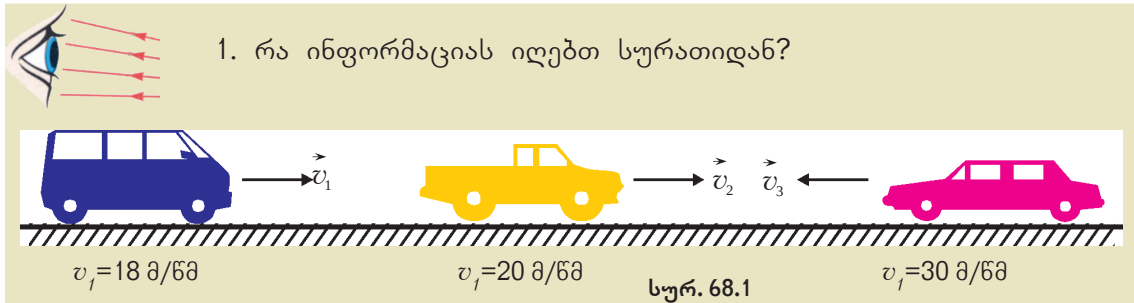
- შეძლოთ აღწეროთ ფარდობითობის თეორიის დამადასტურებელი ცდები;
- თვისებრივად აღწეროთ დროისა და სივრცის დამოკიდებულება სხეულის სიჩქარეზე;
- შეძლოთ ენერგიასა და მასას შორის კავშირის დამყარება;
- შეძლოთ ისაუბროთ ფარდობითობის თეორიის როლის შესახებ თანამედროვე ფიზიკის განვითარებისათვის
- შეძლოთ მოცემულ თემაზე ამოცანების ამოხსნა.



3.1

სინათლის სიჩქარე „უძრავ“ და „მოძრავ“ ათვლის ინერციულ სისტემებში

68.1 სურათზე გამოსახული ავტომობილები დედამიწის ზედაპირის მიმართ მოძრაობენ ერთი ნრფის გასწვრივ, თანაბრად.



პირველი ავტომობილის მოძრაობას აკვირდება სამი დამკვირვებელი, რომლებიც, შესაბამისად, პირველ, მეორე და მესამე ავტომობილებში არიან.

პირველი დამკვირვებელი ამბობს, რომ მისი ავტომობილი მოძრაობს 18 მ/წმ სიჩქარით;

მეორე დამკვირვებელი — პირველი ავტომობილი სცილდება მას 2 მ/წმ სიჩქარით;

მესამე დამკვირვებელი — პირველი ავტომობილი უახლოვდება მას 48 მ/წმ სიჩქარით.

ამგვარად, დროის ერთსა და იმავე მომენტში სამი დამკვირვებელი აფიქსირებს პირველი ავტომობილის სამ, ერთმანეთისაგან განსხვავებულ სიჩქარეს.

როგორ შეიძლება ერთ ავტომობილს დროის ერთსა და იმავე მომენტში ჰქონდეს სამი განსხვავებული სიჩქარე?



2. თქვენ როგორ ფიქრობთ, რომელი დამკვირვებლის მოსაზრებაა ჭეშმარიტი?

რადგან ავტომობილები თანაბრად მოძრაობენ, ამიტომ თითოეულთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა ინერციულია. **გალილეის ფარდობითობის პრინციპის თანახმად, მექანიკური მოვლენების თვალსაზრისით ათვლის ინერციული სისტემები ტოლფასოვანია.** ეს ნიშნავს, რომ შეუძლებელია, ინერციულ სისტემათა სიმრავლეში მოიძებნოს ერთი ყველაზე „უკეთესი“. ის გარემოება, რომ ცდების მეშვეობით შეუძლებელია ერთი რომელიმე ინერციული სისტემის გამოყოფა დანარჩენებისგან, არის **გალილეის ფარდობითობის პრინციპის არსი.**

ამგვარად, ინერციულ სისტემათა ტოლფასოვნებიდან გამომდინარე აზრს კარგავს შეკითხვა: რომელი დამკვირვებლის თვალსაზრისია ჭეშმარიტი? **სამივე დამკვირვებლის გაზომვის შედეგი ობიექტური და პრაქტიკულად ვარგისია.**

პირველი ავტომობილის მძღოლმა ფარები ჩართო. ფარებიდან გამოსული სინათლის სიჩქარის მოდული ყველა მიმართულებით ერთნაირია და ვაკუუმში დაახლოებით არის $c=300\ 000$ კმ/წმ.



3. რა სიჩქარით უახლოვდება სინათლე მეორე ავტომობილს? მესამეს? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

წარმოვიდგინოთ, რომ მეორე ავტომობილი მოძრაობს c სიჩქარით.



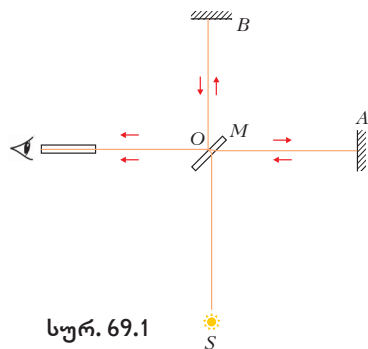
4. როგორია თქვენი აზრი, დაენევა პირველი ავტომობილიდან გამოსხივებული სინათლე მეორე ავტომობილს? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

5. როგორ შევამოწმოთ თქვენ მიერ გამოთქმული ჰიპოთეზების მართებულობა?

ბევრი მეცნიერი ატარებდა ცდებს ამ საკითხის გასარკვევად.

აღვწეროთ მაიკელსონის მიერ ჩატარებული ცდა. ცდის გამარტივებული სქემა გამოსახულია 69.1 სურათზე.

სინათლის S წყაროდან გამოსული სინათლე ეცემა ნახევრადგამჭვირვალე M ფირფიტას, იგი დაცემულ სინათლეს ორ ურთიერთმართობულ კონად ჰყოფს — დაახლოებით ნახევარს ატარებს B სარკისაკენ, ნახევარს კი აირეკლავს A სარკისაკენ. A და B სარკეებიდან არეკლილი სინათლე M ფირფიტის მეშვეობით ერთიანდება და შედის საჭვრეტი მილის ობიექტივში, სადაც მიიღება ბნელი და

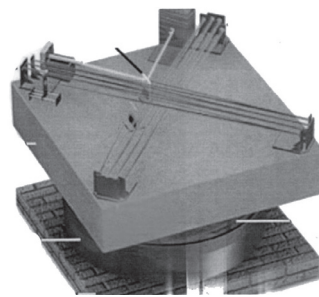


სურ. 69.1



სურ. 69.2

ნათელი ზოლებისაგან შემდგარი ინტერფერენციული სურათი (სურ. 69.2). ზოლების განლაგება დამოკიდებულია დროის იმ შუალედებზე, რომელსაც სინათლე ანდომებს გაორკეცებული OA და OB მანძილების გავლას. მაიკელსონის ცდაში მთელი მოწყობილობა მოთავსებული იყო 1,5 მ სიგრძისა და ≈ 30 სმ სისქის ქვის ფილაზე. იმისათვის, რომ შესაძლებელი ყოფილიყო შერყევის გარეშე მთელი მოწყობილობის შემობრუნება, ვერტიკალური ღერძის გარშემო ფილა ტივტივებდა ვერცხლისწყლიან ჭურჭელში (სურ. 69.3).



სურ. 69.3

წარმოვიდგინოთ აზრობრივი ექსპერიმენტი: ვთქვათ, სამყაროში სადღაც არსებობს უძრავი სხეული. მაიკელსონის მოწყობილობა უძრავ სხეულზეა მოთავსებული და იქ ვატარებთ ექსპერიმენტს. A და B სარკეები ისე მოვათავსოთ, რომ OA და OB ტოლი იყოს. მაშინ წყაროდან გამოსული სინათლის სიჩქარე ყველა მიმართულებით ერთნაირია. აღვნიშნოთ იგი c -თი.



6. როგორია თქვენი აზრი, ერთნაირ დროს მოანდომებს სინათლე $OA-AO$ და $OB-BO$ მანძილების გავლას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

7. შეიცვლება თუ არა ამ მანძილების გავლისათვის საჭირო დროის შუალედი ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ ხელსაწყოს სხვადასხვა კუთხით მობრუნების შემთხვევაში? პასუხი დაასაბუთეთ.

8. იქნება თუ არა რაიმე განსხვავება საჭვრეტ მილში მიღებულ ინტერფერენციულ სურათებს შორის ხელსაწყოს სხვადასხვა კუთხით მობრუნებისას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

ამ აზრობრივი ექსპერიმენტის შემდეგ ცდა რეალურ პირობებში ჩაატარეს. დედამიწა კოსმოსში მოძრავი სხეულია. ცხადია, იგი მოძრაობს ჩვენი წარმოდგენით

უძრავი სხეულის მიმართაც. ამ სისტემის მიმართ დედამიწასთან ერთად მოძრაობს მის ზედაპირზე მოთავსებული სხეულები. დედამიწის სიჩქარის მოდული აღვნიშნოთ v -თი და ვთქვათ, OA მიმართულება ემთხვევა დედამიწის მოძრაობის მიმართულებას (სურ. 70.1).

ვინაიდან OA მხარი დედამიწასთან ერთად OA მიმართულებით მოძრაობს, O ნერტილიდან გამოსული სინათლის სიჩქარე ხელსაწყოს მიმართ იქნება $c-v$. ამიტომ იგი $|OA|$ მანძილს დაფარავს $\frac{|OA|}{c-v}$ დროის შუალედში. A სარკიდან არეკვლის შემდეგ იგი ვრცელდება დედამიწის მოძრაობის საპირისპიროდ, ამიტომ მისი სიჩქარე ხელსაწყოს მიმართ იქნება $c+v$. უკან დაბრუნების დროის შუალედი კი — $\frac{|OA|}{c+v}$. იქით და აქეთ $2|OA|$ მანძილს სინათლე დაფარავს

$$t_1 = \frac{|OA|}{c-v} + \frac{|OA|}{c+v} = \frac{2c|OA|}{c^2-v^2} = \frac{2|OA|}{c} \cdot \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}. \quad (1) \text{ დროის შუალედში.}$$

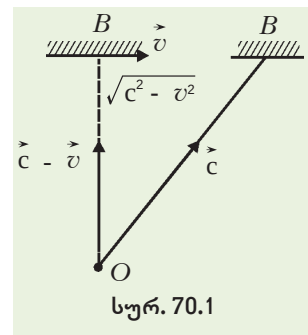
B სარკისკენ სხივი ვრცელდება ხელსაწყოს მოძრაობის მართობულად. სინათლის სიჩქარე ხელსაწყოს მიმართ ტოლია $c-v$ (სურ. 70.1) რომლის მოდული O -დან B -სკენ და B -დან O -სკენ ტოლია $\sqrt{c^2-v^2}$.

სინათლე B სარკემდე და უკან $2|OB|$ მანძილს გაივლის $t_2 = \frac{2|OB|}{\sqrt{c^2-v^2}}$ (2) დროის შუალედში. (1)^(2) $\Rightarrow t_1 \neq t_2$, ე. ი.

სინათლე სარკეებამდე და უკან მანძილების გავლას განსხვავებულ დროს ანდომებს. ცხადია, საჭერეტ მილში მიიღება შესაბამისი ინტერფერენციული სურათი — ბნელი და ნათელი ზოლების ერთობლიობა.

ხელსაწყოს 90° -იანი კუთხით ისე შემობრუნებისას როდესაც OB მიმართულება დაემთხვევა დედამიწის მოძრაობის მიმართულებას, მაშინ $2|OB|$ მანძილს სინათლე ახლა იმ დროის შუალედში გაივლის რა დროშიდაც გადიოდა $2|OA|$ მანძილს, ხოლო $2|OA|$ მანძილს გაივლის იმ დროს შუალედში რომელშიც $2|OB|$ მანძილს გადიოდა. ამის გამო ექსპერიმენტატორთა ვარაუდით ინტერფერენციულ სურათში ბნელმა და ნათელმა ზოლებმა მდებარეობები უნდა შეიცვალოს. მაგრამ **არაფერი ამის მსგავსი არ მომხდარა — ინტერფერენციული ზოლების მდებარეობა უცვლელი დარჩა.**

ეს ცდა წლების განმავლობაში მრავალჯერ გაიმეორეს ნელინადის სხვადასხვა დროს, როგორც თვით მაიკელსონმა, ისე სხვა მეცნიერებმა, მაგრამ ხელსაწყოს შემობრუნებამ არ გამოიწვია ინტერფერენციული ზოლების წანაცვლება, თუმცა ცდის სიზუსტე სრულიად საკმარისი იყო იმისათვის, რომ ინტერფერომეტრს დაეფიქსირებინა სინათლის სიჩქარის 2 მ/წმ-ით ცვლილებაც კი.



9. დაფიქრდით, გააანალიზეთ მეცნიერების მიერ მიღებული ცდების შედეგები და ეგებ თქვენც შეძლოთ სწორი დასკვნის გამოტანა: არის თუ არა სინათლის სიჩქარე დამოკიდებული სინათლის მიმღების სიჩქარეზე? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

სწორ დასკვნამდე მხოლოდ ალბერტ აინშტაინი (1879-1955) მივიდა.

ყველა ამ და ანალოგიური ცდების საფუძველზე სავსებით დამტკიცებულად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ **სინათლის სიჩქარე დამოკიდებული არ არის არც სინათლის წყაროსა და არც მიმღების სიჩქარეზე.**



1. როგორია თქვენი ვარაუდი, თბილისის ოპერისა და ბალეტის თეატრი რუსთაველის პროსპექტის მარჯვენა თუ მარცხენა მხარეს დგას?
2. როდის აქვს აზრი საუბარს სხეულის მდებარეობის და მოძრაობის შესახებ?
3. როგორია თქვენი აზრი, დედამიწა მოძრაობს მზის ირგვლივ თუ მზე მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ? პასუხი დაასაბუთეთ.

მრავალი ცნება, რომლითაც ჩვენ ვსარგებლობთ, ფარდობითს წარმოადგენს, ანუ აზრს იძენს მხოლოდ მაშინ, როცა მითითებულია პირობები, რომელშიც დაკვირვება ხდება.

ბუნების მოვლენები შედარებით მარტივი განტოლებებით აღიწერება ათვლის ინერციულ სისტემაში, ამიტომ ათვლის სისტემის არჩევისას უპირატესობა ათვლის ინერციულ სისტემას უნდა მივანიჭოთ.

ათვლის სისტემას, რომელიც თავისუფალ სხეულთანაა დაკავშირებული, ინერციული ათვლის სისტემა ეწოდება.

თავისუფალ სხეულად შეიძლება მივიჩნიოთ ისეთი სხეული, რომელიც იმდენად დიდი მანძილითაა დაშორებული სხვა სხეულებსგან, რომ მათი მოქმედება უმნიშვნელოა, მისი არც ერთი წერტილი არ მოძრაობს აჩქარებით და არ ასხივებს. ამ პირობებში თავისუფალი სხეული შეიძლება ნივთიერ წერტილად ჩავთვალოთ.



4. როგორია თქვენი აზრი: არსებობს სამყაროში აბსოლუტურად თავისუფალი სხეული? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

გალილეო გალილეიმ ბუნების მოვლენებზე დაკვირვების შედეგად დაადგინა, რომ ინერციულ ათვლის სისტემებში მექანიკის კანონები ერთნაირი სახისაა.

ერთნაირ საწყის პირობებში მექანიკური მოვლენები ერთნაირად მიმდინარეობს ყველა ინერციულ ათვლის სისტემაში.

ეს აღმოჩენა ფიზიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პრინციპს წარმოადგენს და ცნობილია **გალილეის ფარდობითობის პრინციპის** სახელწოდებით.

ამ პრინციპის თანახმად, ათვლის ინერციული სისტემები ერთმანეთისაგან არ განსხვავდება და შეუძლებელია მოცემულ ათვლის სისტემაში ჩატარდეს ცდა, რომლის მეშვეობითაც შეიძლება დადგინდეს, ეს ათვლის სისტემა უძრავია თუ მოძრაობს თანაბრად.

მეცნიერების შემდგომმა განვითარებამ ალბერტ აინშტაინი მიიყვანა დასკვნამდე: **ათვლის ინერციული სისტემები თანასწორუფლებიანია არა მარტო მექანიკური, არამედ ბუნების ნებისმიერი მოვლენისათვის.**

ალბერტ აინშტაინმა ჩამოაყალიბა ბუნების ფუნდამენტური პრინციპები და ფარდობითობის თეორია ორ პოსტულატზე, პრინციპზე დაამყარა:

1. ბუნების ყველა კანონს ერთნაირი სახე აქვს ნებისმიერ ინერციულ ათვლის სისტემაში.

2. სინათლის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული სინათლის წყაროს სიჩქარეზე.

როგორ ავხსნათ სინათლის სიჩქარის უნიკალური თვისება — **ინვარიანტობა**? სინათლის სიჩქარის ინვარიანტობა ნიშნავს, რომ მისი მნიშვნელობა ერთნაირია ყველა ინერციული ათვლის სისტემის მიმართ ნებისმიერი სხვა სიჩქარე კი ვარიანტულია, ფარდობითია.

ნათურას ანთებისას გამოსხივებული სინათლის სიჩქარე ერთნაირია როგორც უძრავი ისე მოძრავი სხეულების მიმართ.

რატომ? აინშტაინმა დაასაბუთა, რომ

ასეთი შეკითხვა უმართებულოა — უაზროა, რადგან სინათლის სიჩქარის ინვარიანტობა ბუნების ფუნდამენტური თვისებაა. იგი უნდა მივიღოთ, როგორც ექსპერიმენტული შედეგების განზოგადებული ფაქტი. ამგვარად, ორივე პოსტულატი ექსპერიმენტული შედეგების განზოგადებაა. პოსტულატებიდან გამომდინარეობს, რომ სინათლის სიჩქარის მოდული არ არის დამოკიდებული დამკვირვებლის სიჩქარეზე და ერთნაირია ყველა ინერციულ ათვლის სისტემაში.

პირველი პოსტულატის თანახმად, შეუძლებელია ჩატარდეს ცდა, რომლის მეშვეობითაც გამოვარჩევთ რომელიმე ინერციულ ათვლის სისტემას სხვებისაგან, ე.ი. ყველა ინერციული ათვლის სისტემა თანასწორუფლებიანია.

პოსტულატებიდან გამომდინარეობს შედეგები, რომლებიც ეწინააღმდეგება „საღ აზრს“.

პოსტულატი — ეს არის ძირითადი დებულება, რომლის ლოგიკურად დამტკიცება შეუძლებელია. ფიზიკაში პოსტულატი არის ცდისეული ფაქტების განზოგადების შედეგი.

ინვარიანტი (ფრანგ.) — სიდიდე, რომელიც უცვლელი რჩება ამა თუ იმ გარდაქმნის დროს. ან სიდიდეს, რომელსაც ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს ათვლის ყველა სისტემაში **ინვარიანტული** სიდიდე ეწოდება.

სიდიდეს, რომლის მნიშვნელობა ათვლის სისტემის არჩევაზეა დამოკიდებული, **ვარიანტული** სიდიდე ეწოდება.



5. როგორია თქვენი აზრი, აბსოლუტურია თუ ფარდობითი დრო და სივრცე?

6. გაიზიარებთ თუ არა მტკიცებას, რომ თანაბრად მოძრავ მატარებელში დრო ნელა გადის უძრავ მატარებელთან შედარებით და მით უფრო ნელა, რაც უფრო სწრაფად მოძრაობს იგი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

7. გაიზიარებთ თუ არა მტკიცებას, რომ თანაბრად მოძრავ მატარებელში მოძრაობის მიმართულებით სახაზავის სიგრძე ნაკლებია, ვიდრე უძრავ მატარებელში და მით უფრო ნაკლები, რაც უფრო სწრაფად მოძრაობს იგი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

აინშტაინამდე თვლიდნენ, რომ დრო და სივრცე აბსოლუტურია. აინშტაინის თეორიის მიხედვით, ასეთი შეხედულება არათუ მოკლებულია სინამდვილეს, არამედ ის სრული უაზრობაა, რომელიც სამუდამოდ უნდა განიდევნოს მეცნიერებიდან.

აინშტაინის თეორიის მიხედვით, დრო ისევე, როგორც სივრცე ფარდობით ცნებას წარმოადგენს: ყოველ მოძრავ სისტემას აქვს თავისი საკუთარი დრო, რომელიც გარკვეულ შეფარდებაში იმყოფება სხვა მოძრავი სისტემის დროსთან. ასეთივე მდგომარეობაშია სხეულის ფორმაც: სივრცე, რომელიც სხეულს უკავია, დამოკიდებულია მის ფარდობით სიჩქარეზე.

ფარდობითობის თეორიის პოსტულატებიდან გამომდინარეობს უმნიშვნელოვანესი შედეგები სივრცისა და დროის თვისებების შესახებ. შემდეგ პარაგრაფში დასაბუთების გარეშე შემოვიფარგლებით მათი მოკლე აღწერით.

დროის შუალედის ფარდობითობა

განვიხილოთ ორი ინერციული ათვლის სისტემა. ერთი, K სისტემა, დავაკავშიროთ ლაბორატორიასთან (დედამინასთან), მეორე, K_1 სისტემა, დავაკავშიროთ ლაბორატორიის მიმართ თანაბრად v სიჩქარით მოძრავ რაკეტასთან (სურ.73.1).

დავუშვათ, რაკეტის რომელიმე წერტილში რაიმე მოვლენა მოხდა — გარკვეული ხნით გაანათა ნათურამ. კოსმონავტის საათით გაზომილი ამ მოვლენის ხანგრძლივობა τ_0 -ით აღვნიშნოთ.

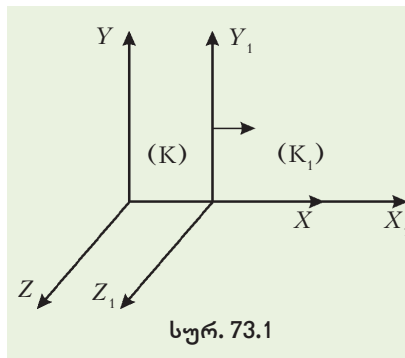
დროს, გაზომილს იმ სისტემის საათით, რომელშიც მოვლენები ერთ წერტილში ხდება, საკუთარი დრო ეწოდება.

საკუთარი დრო, τ_0 , ძალზე მოსახერხებელი მახასიათებელია, რადგან ინვარიანტული სიდიდეა: მისი მნიშვნელობა ერთნაირია ყველა, მოძრავი თუ უძრავი დამკვირვებლისათვის.

ლაბორატორიის დამკვირვებლისთვის ეს მოვლენა ერთ წერტილში არ ხდება, რადგან ნათურა მის მიმართ რაკეტასთან ერთად გადაადგილდება. ნათურას ნათების ხანგრძლივობა, გაზომილი ლაბორატორიის საათებით, τ -თი აღვნიშნოთ.

ფარდობითობის სპეციალური თეორიის თანახმად,

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (1) \quad \text{სადაც } c \text{ ვაკუუმში სინათლის სიჩქარეა.}$$



1. რომელია მეტი τ თუ τ_0 ? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

მოვლენის ხანგრძლივობა უმცირესია იმ ათვლის სისტემაში, სადაც ეს მოვლენა ერთ წერტილში ხდება. (1) $\Rightarrow \tau > \tau_0$. ლაბორატორიის დამკვირვებლის თვალსაზრისით რაკეტაში მიმდინარე მოვლენები შენელებულია. ეს მართებულია ნებისმიერი პროცესისთვის, მათ შორის სიცოცხლისათვის. ეს დროის შენელებაა. თუ, მაგალითად, საკუთარი დრო უდრის 2წმ-ს, მაშინ ყველა მოძრავი დამკვირვებელი თავისი საათით აღნიშნავს დროის მეტ ინტერვალებს: 3, 4, 5წმ-ს და ა.შ. ფარდობითი მოძრაობის სიჩქარეზე დამოკიდებულებით. **ეს დროის თვისებაა** და დამოკიდებული არ არის საათის მოწყობილობაზე. ჩვეულებრივ პირობებში, როცა $v \ll c$, მაშინ დიდი სიზუსტით შეიძლება ვთქვათ, რომ $\tau \approx \tau_0$. ასე რომ, ჩვეულებრივ პირობებში დროის შენელების შემჩნევა შეუძლებელია.

$$\text{გამოვიყენოთ აღნიშვნა } \gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

(2) $\Rightarrow$ (1) $\Rightarrow \tau = \gamma \tau_0$. (3) γ -ს **რელატივისტური კოეფიციენტი** ეწოდება. (3) $\Rightarrow \gamma$ ერთმანეთთან აკავშირებს საკუთარ და ლაბორატორიულ დროებს და დროის ფარდობითობას გამოსახავს.

ამგვარად, **დროის შუალედი ფარდობითი ფიზიკური სიდიდეა.** მისი

მნიშვნელობა დამოკიდებულია ათვლის ინერციული სისტემის არჩევაზე. არსებობს მოვლენის იმდენი ხანგრძლივობა, რამდენ ინერციულ სისტემაშიც ის იზომება. ინერციულ სისტემათა ტოლფასოვნებიდან გამომდინარე უაზროა კითხვა, თუ რომელ ინერციულ სისტემაში გაზომილი დროა ჭეშმარიტი. ვიმეორებთ გაზომვის ყველა შედეგი ერთნაირად ობიექტური და პრაქტიკულად ვარგისია, საჭიროა მხოლოდ ვიცოდეთ მათ შორის თანაფარდობის დამყარება (1)-ის საფუძველზე.

(1) ფორმულის მართებულობა ექსპერიმენტულად დადასტურდა ელემენტარულ ნაწილაკებზე დაკვირვებით.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში წარმოშობილი μ -მეზონის სიჩქარე $v=0,99c$ და დაშლამდე $l=5$ კმ-ს გადის. განვსაზღვროთ, როგორია მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა ჩვენი და „მეზონის“ თვალსაზრისით. რა მანძილს გადის მეზონი მასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემის თვალსაზრისით დედამიწის მიმართ?

მიუ მეზონი —
ელემენტარული ნაწილაკი

დედამიწასთან დაკავშირებულ (K) ათვლის სისტემაში μ -მეზონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ტოლია $\tau = \frac{1}{\nu}$. (4)

$$\Rightarrow (4): \tau = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ მ}}{0,99 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ წმ.}$$

$$\text{მეზონთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში (1) } \Rightarrow \tau_0 = \tau \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (5)$$

$$\Rightarrow (5): \tau_0 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \cdot \sqrt{1 - (0,99)^2} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ წმ.}$$

როგორც ვხედავთ $\tau_0 < \tau$.

მეზონთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემის თვალსაზრისით დედამიწის მიმართ მეზონის მიერ გავლილი მანძილი $l_1 = v\tau_0$. (5)

$$\Rightarrow (5): l_1 = 0,99 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ} \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ წმ} \approx 713 \text{ მ.}$$



2. რამდენჯერ ნაკლებია μ -მეზონთან დაკავშირებულ K_1 ათვლის სისტემაში რაიმე მოვლენის დროის შუალედის ხანგრძლივობა დედამიწასთან დაკავშირებულ K სისტემაში იმავე მოვლენის ხანგრძლივობაზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

3. გაიზრდება თუ შემცირდება ეს შეფარდება K_1 სისტემის სიჩქარის კიდევ უფრო გადიდებისას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

როგორც ვხედავთ K სისტემის თვალსაზრისით K_1 სისტემაში მიმდინარე მოვლენის ხანგრძლივობა მეტია, ვიდრე K_1 სისტემის თვალსაზრისით და მოვლენის მიმდინარეობის ეს გახანგრძლივება მით უფრო მეტია, რაც უფრო დიდია K_1 სისტემის სიჩქარე K სისტემის მიმართ.

ვთქვათ, K სისტემის სათავეში გვაქვს ორი ერთნაირი უძრავი საათი, რომლებიც ერთ და იმავე დროს გვიჩვენებს. დავუშვათ, რომ $t=0$ მომენტში ერთ-ერთი მათგანი ამოძრავდა, გაიარა გარკვეული მანძილი, შემობრუნდა და ისევ დაბრუნდა K სისტემის სათავეში.

თუ K_1 სისტემის სიჩქარე K სისტემის მიმართ $v=0,99C$, მაშინ $\tau=7,1\tau_0 \approx 7\tau_0$, ე. ი. თუ რაკეტით, რომლის სიჩქარე $v=0,99C$ კოსმოსში სამოგზაუროდ ტყუპი ძმებიდან ერთ-ერთი წავა და დედამიწის საათის მიხედვით დაბრუნდება 7 წლის



4. როგორია თქვენი აზრი, გვიჩვენებს თუ არა დაბრუნებული საათი იმავე დროს, რასაც K სისტემის უძრავი საათი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

შემდეგ, მაშინ იგი მხოლოდ 1 წლით იქნება დაბერებული, დედამიწაზე დარჩენილი ძმა კი 7 წლით.

ფარდობითობის თეორიის ეს შედეგი — მოძრავ სისტემაში მიმდინარე მოვლენების დროში ჩამორჩენა — პირველად თვით აინშტაინის მიერ იყო



5. როგორ ფიქრობთ, ასეთი რამ მართლა შეიძლება მოხდეს? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

აღნიშნული, ხოლო ცოცხალი ორგანიზმის მაგალითზე ეს შედეგი გადაიტანა ფრანგმა ფიზიკოსმა ლანჟევანმა. ამან მეცნიერთა შორის კამათი გამოიწვია, თუ რამდენად მართებულია საათების მაგალითზე მიღებული შედეგი გადავიტანოთ ცოცხალ ორგანიზმზე. ეს კამათი ახლაც გრძელდება, მიუხედავად იმისა, რომ ექსპერიმენტულად ეს შედეგი საკმაო სიზუსტით არის შემოწმებული უკანასკნელი წლების განმავლობაში.

რა მოხდება, თუ პროცესს განვიხილავთ K_1 სისტემის, ე. ი. მოძრავი საათის თვალსაზრისით? ამ სისტემის თვალსაზრისით მასში მყოფი საათი უძრავია, ხოლო წინ და უკან მოძრაობს K სისტემა (დედამიწა) და მასში მყოფი საათი. მაშასადამე, მოძრაობის დამთავრების შემდეგ უნდა ჩამორჩეს K სისტემის საათი და არა K_1 -ის, როგორც ეს იყო K სისტემის თვალსაზრისით. მივიღეთ, რომ პროცესის დამთავრების შემდეგ ორივე საათი უნდა ჩამორჩებოდეს ერთმანეთს, ე. ი. სამოგზაუროდ წასული ძმა უნდა დაბერდეს 7 წლით, ხოლო დედამიწაზე მყოფი ძმა მხოლოდ 1 წლით. მაშასადამე, პროცესის დამთავრებისას დედამიწაზე მყოფი ძმა 7 წლით დაბერებულიც უნდა იყოს და ახალგაზრდაც. ასევე სამოგზაუროდ წასული ძმაც ახალგაზრდაც არის და ბებერიც. რასაკვირველია, ეს ყოველად შეუძლებელია — **პარადოქსია**.

რა ხდება სინამდვილეში? ცხადია, მთელი პროცესის დამთავრების შემდეგ ორივე საათი ერთად იქნება და ორივე დამკვირვებელი ნახავს, რომ ჩამორჩება K_1 სისტემის საათი, ამის მიზეზი ათვლის K_1 სისტემის არაინერციულობაა, რომელმაც უკან დაბრუნების გამო აჩქარებით იმოძრავა. დანვრილებით იმის გარკვევა, თუ რატომ ხდება ასე, სცილდება სასკოლო ფიზიკის კურსს.

როგორც ვხედავთ მოვლენის ხანგრძლივობა არ არის ინვარიანტული. იგი ფარდობითი სიდიდეა. არ შეიძლება გარკვეული პასუხის გაცემა შეკითხვაზე მოვლენის ხანგრძლივობის შესახებ, სანამ არ არის აღნიშნული, რომელი ათვლის სისტემის თვალსაზრისით გაიზომება ამ მოვლენის ხანგრძლივობა.

პარადოქსი (ბერძნ.) — რაც საყოველთაოდ აღიარებულ შეხედულებას, აზრს უპირისპირდება

დავადგინეთ, რომ დროის შუალედი ფარდობითი ფიზიკური სიდიდეა.

დავუშვათ, რომ რაკეტაში მოძრაობის მიმართულების გასწვრივ მოთავსებულია ღერო. კოსმონავტიკისათვის ის უძრავია. კოსმონავტის მიერ გაზომილი ღეროს სიგრძე აღვნიშნოთ l_0 -ით. ლაბორატორიის დამკვირვებლისათვის ღერო მოძრაობს რაკეტასთან ერთად. მის მიერ გაზომილი ღეროს სიგრძე აღვნიშნოთ l -ით. ფარდობითობის თეორიაში მტკიცდება, რომ

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (1)$$

(1) $\Rightarrow l < l_0$; მოძრავი ღეროს სიგრძე ნაკლებია უძრავი ღეროს სიგრძეზე. რაც უფრო ახლოსაა ღეროს სიჩქარის მოდული სინათლის სიჩქარესთან, მით უფრო ნაკლებია მისი სიგრძე მოძრაობის მიმართულებით. თუ სხეულის სიჩქარე სინათლის სიჩქარეს გაუტოლდება, მისი სიგრძე ნულის ტოლი გახდება. ეს შედეგი იმაზე მიუთითებს, რომ არც ერთი ნივთიერი სხეული არ შეიძლება მოძრაობდეს სინათლის სიჩქარის ტოლი სიჩქარით.

(1)-ს ლორენცის შემოკლებას უწოდებენ. პირველად იგი ფიცჯერალდმა და ლორენცმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მიიღეს 1892 წელს ფარდობითობის თეორიის შექმნამდე 13 წლით ადრე. მაგრამ მათ (და არა მარტო მათ) საკითხი არასწორად ახსნეს, კერძოდ: ისინი თვლიდნენ რომ ღეროს სიგრძის შემცირება ისეთი ფიზიკური პროცესის მსგავსია, როგორიცაა, მაგალითად, ღეროს შემოკლება გაცივებისას. მხოლოდ აინშტაინმა დაასაბუთა, რომ **ღეროს სიგრძე ფარდობითი სიდიდეა, როგორც, ვთქვათ, სხეულის სიჩქარე**. მოძრავ ღეროში არაფერი ხდება და აზრი არა აქვს მის სიგრძეზე ლაპარაკს, თუ არ მივუთითებთ ათვლის სისტემას.

მაშასადამე, **ღეროს იმდენი სიგრძე აქვს, რამდენ ინერციულ სისტემაშიც ის იზომება.**

ფარდობითობის თეორია ცვლის კლასიკური ფიზიკის წარმოდგენას მანძილზე, როგორც აბსოლუტურ, ათვლის სისტემისაგან დამოუკიდებელ ფიზიკურ სიდიდეზე და აჩვენებს მის ფარდობით ბუნებას.

ჩვეულებრივ პირობებში, როცა $v \ll c$, მაშინ (1) $\Rightarrow l = l_0$ და სიგრძის შემცირების შემჩნევა შეუძლებელია.

აღვნიშნოთ, რომ, თუ K_1 სისტემაში მყოფი ღერო დამოკლებულია K სისტემაში მყოფი დამკვირვებლისათვის, ასევე დამოკლებული იქნება K_1 სისტემაში მყოფი დამკვირვებლისათვის K -ში მყოფი ღერო.

თუ როგორც K , ისე K_1 სისტემაში იმყოფება სათანადოდ უძრავი ღეროები, K სისტემის დამკვირვებლის თვალსაზრისით K_1 სისტემაში მყოფი ღერო უფრო მოკლეა K სისტემაში მყოფ ღეროსთან შედარებით, მაშინ როდესაც K_1 სისტემის დამკვირვებლისათვის K სისტემაში მყოფი ღერო უფრო მოკლეა, ვიდრე K_1 სისტემაში მყოფი ღერო. როგორ შეიძლება, რომ ერთი ღერო იყოს მეორეზე მოკლე და იმავე დროს მეორე ღერო იყოს პირველზე მოკლე? ცხადია, ასეთი შეკითხვის დასმისას გაუგებრობასთან გვაქვს საქმე. ღეროს, თავისთავად, ათვლის სისტემისაგან დამოუკიდებლად, არა აქვს გარკვეული სიგრძე, ისე როგორც რაიმე სხეულს არა აქვს გარკვეული სიჩქარე ათვლის სისტემის აღნიშვნის გარეშე. (მაგალითად: რას უდრის მაგიდაზე დადებული წიგნის სიჩქარე?)

აღვნიშნოთ, რომ სხეულის სიგრძის შემცირება დაკავშირებულია მის მოძრაობასთან ათვლის სისტემის მიმართ და არა თვით ათვლის სისტემაში მყოფი

დამკვირვებლის თავისებურებასთან. არ უნდა გვეგონოს, რომ სიგრძის შემცირება მოჩვენებითი მოვლენაა, რომ აქ რაღაც სუბიექტურობასთან გვაქვს საქმე. ერთი და იმავე სხეულის სიგრძე სხვადასხვა ათვლის სხვადასხვა სხეულის მიმართ, მაგრამ ეს სხვადასხვა სიგრძე სავსებით ნამდვილი და ობიექტურია. არც ერთი არ არის მოჩვენებითი ისევე, როგორც ნამდვილია და არა მოჩვენებითი სხეულის სხვადასხვა სიჩქარე სხვადასხვა ათვლის სისტემის მიმართ.

რა მოხდება, თუ კუბი მოძრაობს ერთ-ერთი ნახნაგის მართობი მიმართულებით v სიჩქარით? შეიცვლება თუ არა კუბის მოცულობა ლაბორატორიასთან (დედამინასთან) დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში? როგორ?

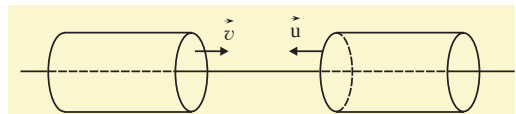
უძრავი კუბის მოცულობა $V_0 = a_0^3$ (2) სადაც a_0 კუბის ნიბოს სიგრძეა. მოძრავი კუბის გასწვრივი სიგრძე $a = a_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < a_0$. (3)

კუბის სიჩქარისადმი მართობ განივ ზომებზე — სიმაღლესა და სიგანეზე — მოძრაობა არავითარ გავლენას არ ახდენს, ამიტომ კუბის მოცულობა ისევე შეიცვლება, როგორც გასწვრივი ზომა. მიღებული პარალელეპიპედის მოცულობა $V = a_0^2 a = a_0^2 a_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = V_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.

რატომ მცირდება ღეროს სიგრძე მხოლოდ მოძრაობის მიმართულებით და არ იცვლება მისი განივი ზომები? ამის დასასაბუთებლად „ჩავატაროთ“ აზრობრივი ექსპერიმენტი.

დავუშვათ, მოძრავი სხეულის განივი ზომაც მცირდება.

განვიხილოთ საერთო ღერძის მქონე ორი ერთნაირი ღრუ ცილინდრი, რომლებიც ღერძის გასწვრივ თავისი სიბრტყის მართობულად უახლოვდებიან ერთმანეთს (სურ. 77.1). დაშვების თანახმად თითოეული ცილინდრის განივკვეთის რადიუსი უნდა შემცირდეს. თუ ათვლის სისტემას დავუკავშირებთ ერთ-ერთ ცილინდრს, მაშინ იგი უძრავია და მას უახლოვდება მეორე ცილინდრი. პირველ ცილინდრთან დაკავშირებული დამკვირვებლის თვალსაზრისით მეორე ცილინდრი უნდა გაძვრეს პირველში. მეორე ცილინდრთან დაკავშირებული დამკვირვებლის თვალსაზრისით კი პირველი ცილინდრი უნდა გაძვრეს მეორეში.



სურ. 77.1



1. დასაშვებად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ ცილინდრები ერთდროულად გაძვრნენ ერთმანეთში?

თუ ცდით დავადგენდით, რომ ერთ-ერთი ცილინდრი მეორეში გაძვრა, ეს საშუალებას მოგვცემდა ერთი ინერციულ სისტემა გამოგვეჩრია მეორისაგან. ეს ეწინააღმდეგება ფარდობითობის პრინციპს, რომლის თანახმად, ყველა ინერციული სისტემა ტოლფასია, ეკვივალენტურია: სისტემის შიგნით ჩატარებული ვერანაირი ექსპერიმენტით ვერ დავადგენთ მოძრავია, თუ უძრავი ათვლის ეს სისტემა.

მნიშვნელოვანია, რომ ფარდობითობის თეორია კი არ უარყოფს, არამედ განსაზღვრავს იმ ფარგლებს, რომლებშიც შეიძლება კლასიკური წარმოდგენებით შექმნილი ცნებებისა და წარმოდგენების გამოყენება ისე, რომ არასწორ შედეგებამდე არ მივიდეთ.

დავადგინეთ, რომ ღეროს სიგრძე ფარდობითია.

სიჩქარეთა შეკრების კანონს ფარდობითობის სპეციალურ თეორიაში აქვს სახე:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}. \quad (1)$$

სადაც v_1 არის სხეულის სიჩქარე მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, v_2 – მოძრავი ათვლის სისტემის სიჩქარე უძრავის მიმართ, v – სხეულის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. ფორმულა მართებულია, როდესაც $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ ერთი წრფის გასწვრივაა მიმართული. თუ v_1 და v_2 ურთიერთსაპირისპიროდ არის მიმართული და ერთ-ერთი სხეულის სიჩქარეს ჩავთვლით დადებითად, მაშინ მეორე სხეულის სიჩქარის წინ (1) ფორმულაში „-“ დაინერა. კლასიკური კანონისაგან განსხვავებით მას სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტურ კანონს უწოდებენ. სადაც $c=3 \cdot 10^5$ კმ/წმ სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში. (1)-ის ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია მთელი რიგი დასკვნების გაკეთება.



1. მოტორიანი ნავი მოძრაობს მდინარის დინების მიმართულებით მდინარის მიმართ $v_1=20$ კმ/სთ სიჩქარით. მდინარის სიჩქარე ნაპირის მიმართ $v_2=10$ კმ/სთ. როგორია თქვენი ვარაუდი, არის თუ არა ნავის სიჩქარის მოდული ნაპირის მიმართ

$$v=v_1+v_2=30 \text{ კმ/სთ?} \quad (2)$$

ფარდობითობის თეორიიდან გამომდინარეობს, რომ ნავის სიჩქარის მოდული ნაპირის მიმართ გამოისახება ფორმულით:
$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}},$$

სადაც $c=3 \cdot 10^5$ კმ/წმ სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში.

$$\Rightarrow (1): \quad v=29,9999999999999860 \text{ კმ/სთ.}$$

(1) და (2) ფორმულებით განსაზღვრულ სიჩქარეთა მოდულებს შორის განსხვავება იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულად მისი აღმოჩენა შეუძლებელია და ცხადია, მოდულით მცირე სიჩქარით მოძრაობისას (2) ფორმულა სავსებით მართებულია. მაგრამ, თუ v_1 და v_2 (ან ერთ-ერთი მათგანი) სინათლის სიჩქარეს უახლოვდება (ვთქვათ, $v_1 \approx c$), მაშინ (2) ფორმულა მცდარ შედეგს გვაძლევს — რეზულტატური სიჩქარე სინათლის სიჩქარეზე მეტი აღმოჩნდება. მაშინ, როდესაც ფარდობითობის თეორიიდან გამომდინარეობს, რომ არც ერთ სხეულს არ შეუძლია იმოძრაოს სინათლის სიჩქარეზე მეტი, ან თუნდაც ტოლი სიჩქარით. მართლაც

$$\Rightarrow (1): \quad v = \frac{c + v_2}{1 + \frac{c v_2}{c^2}} \Rightarrow v = c.$$

სინათლის სიჩქარე — $3 \cdot 10^8$ მ/წმ — ზღვრული, მაგრამ სხეულებისათვის მიუწვდომელი სიჩქარეა.

მიუხედავად იმისა, რომ შესაკრებ სიჩქარეთა მნიშვნელობების ჯამი აღემატება სინათლის სიჩქარეს, სხეულის v სიჩქარის მნიშვნელობა — ე. ი. სიჩქარე უძრავი ინერციული ათვლის სისტემის მიმართ არ აღემატება c -ს. აქედან გამომდინარეობს, რომ სინათლის გავრცელების სიჩქარე ზღვრული სიჩქარეა — შეუძლებელია

ნივთიერი სხეული ვაიძულოთ იმოძრაოს სინათლის სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით. რადგანაც ყოველი ნივთიერი სხეული შეიძლება გამოვიყენოთ სხეულთა შორის რაიმე სიგნალის, ურთიერთქმედებისა და ენერგიის გადაცემისათვის, ამიტომ დავასკვნით: **შეუძლებელია ბუნებაში განხორციელდეს ურთიერთქმედებისა და ენერგიის, აგრეთვე რაიმე სიგნალების სინათლის სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით გადაცემა.**

ორი კოსმოსური ხომალდი მოძრაობს ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით დედამიწის მიმართ, შესაბამისად, u და v სიჩქარეებით (სურ. 79.1).



სურ. 79.1.

მარჯვენა ხომალდზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით მარცხენა ხომალდი მას უახლოვდება $(u+v)$ -ზე ნაკლები სიჩქარით.



2. რა სიჩქარით უახლოვდება მარჯვენა ხომალდი მარცხენა ხომალდს, მარცხენა ხომალდზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით?

აღვნიშნოთ, რომ არც c -ზე მეტი სიჩქარე ეწინააღმდეგება ფარდობითობის თეორიას. მაგალითად, ვთქვათ, დედამიწის ზედაპირზე სინათლის წყარო (ლაზერი) ასხივებს სინათლის ვიწრო კონას. თუ ლაზერს ვაბრუნებთ, ვთქვათ, $n=2$ ბრ/წმ სიჩქარით, მაშინ მისგან წამოსული სხივის ათინათი რაიმე ზედაპირზე იმოძრაებს $v=2\pi nR$ (3) სიჩქარით, სადაც R ლაზერიდან იმ ზედაპირამდე მანძილია, რომელზედაც სინათლე ეცემა. (3) $\Rightarrow$ სინათლის ათინათის სიჩქარე იზრდება სინათლის წყაროდან დაშორების პროპორციულად. მთვარემდე მანძილი $R=3,8 \cdot 10^7$ მ. მაშინ მთვარის ზედაპირზე ათინათის სიჩქარე $v=2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 3,8 \cdot 10^7 = 48 \cdot 10^8$ (მ/წმ), რაც თითქმის 16-ჯერ მეტია სინათლის სიჩქარეზე. ამ ფაქტს არავითარი წინააღმდეგობა ფარდობითობის თეორიასთან არა აქვს, რადგან ათინათი არ არის სხეული და მისი მეშვეობით შეუძლებელია ურთიერთქმედების გადაცემა.

გავეცანით სიჩქარეთა შეკრების კანონს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის მიხედვით.

დავადგინეთ, რომ ბუნებაში შეუძლებელია რაიმე ინფორმაციის, ენერგიის ან ურთიერთქმედების გადაცემა სინათლის სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით.

დავალება

მოიპოვე ინფორმაცია ფარდობითობის თეორიის შექმნის შესახებ და შეაფასე ამ თეორიის მნიშვნელობა თანამედროვე ფიზიკის განვითარებაში.

მასალა მოამზადე პრეზენტაციისთვის.



1. როგორ განისაზღვრება სხეულის იმპულსი?
2. ჩამოვყალიბოთ იმპულსის მუდმივობის კანონი.

ორი ურთიერთმოქმედი სხეულისაგან შედგენილი სისტემისათვის იმპულსის მუდმივობის კანონი შემდეგნაირად ჩაიწერება: $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$, სადაც m_1 და m_2 ურთიერთმოქმედი სხეულების მასებია, $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ მათი სიჩქარეები ურთიერთმოქმედებამდე, ხოლო $\vec{u}_1$ და $\vec{u}_2$ სიჩქარეები ურთიერთმოქმედების შემდეგ.

ნიუტონის მექანიკაში დრო აბსოლუტურია, ერთნაირია ყველა ინერციულ ათვლის სისტემაში. ცდა გვიჩვენებს, რომ დიდი, სინათლის სიჩქარის მახლობელი სიჩქარეებისათვის ზემოთ მოყვანილი ორი სხეულის იმპულსთა ჯამი ჩაკეტილი სისტემისათვის მუდმივი არ არის. ამიტომ რელატივისტურ ფიზიკაში იმპულსი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\vec{p} = m \frac{d\vec{S}}{dt}, \quad (1)$$

სადაც $d\vec{S}$ არის მცირე გადაადგილება, ხოლო dt საკუთარი დროის შუალედი — ანუ დროის შუალედი გაზომილი ნაწილაკთან დაკავშირებული საათით. გავითვალისწინოთ რომ $dt = \gamma \tau_0$, (2) მაშინ რელატივისტური იმპულსისათვის მივიღებთ $\vec{p} = \gamma m \vec{v}$, (3) სადაც $\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. (4) მცირე სიჩქარეებისათვის

$\gamma \rightarrow 1$ და (3)-დან მივიღებთ ნიუტონის ფიზიკაში მოცემულ იმპულსის $\vec{p} = m \vec{v}$ განსაზღვრას.

ცდა გვიჩვენებს, რომ დიდი სიჩქარეებისათვის ჩაკეტილი სისტემის სრული რელატივისტური იმპულსი მუდმივია. არსებითია, რომ γ რელატივისტური კოეფიციენტის გაჩენა დროის ფარდობითობის ასახვაა.

γ რელატივისტური კოეფიციენტი თავისუფალი სხეულის ენერგიის გამოსახულებაშიც შედის და აინშტაინის ცნობილი ფორმულა ასე დაიწერება $E = \gamma mc^2$. (5)

γ ფაქტორი ამ შემთხვევაშიც პირდაპირ მიუთითებს, რომ ენერგიის ცნების ახლებური გააზრება დროის ფარდობითობას უკავშირდება.

$$(4) \rightarrow (5) \Rightarrow E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{mc^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^2 - \frac{v^4}{4c^4}}}. \quad (6)$$

მცირე სიჩქარეებისას, როდესაც $v \ll c$ (6)-ში მცირე სიდიდე $\frac{v^4}{4c^4}$ უგულებელვყოთ, მაშინ (6) $\Rightarrow E \approx \frac{mc^2}{1 - \frac{v^2}{2c^2}}$. (7)

(7) გამოსახულების მრიცხველი და მნიშვნელი გავამრავლოთ $1 + \frac{v^2}{2c^2}$, სიმცირის გამო კვლავ უგულებელვყოთ $\frac{v^4}{4c^4}$ სიდიდე. მაშინ

$$(7) \Rightarrow E \approx \frac{mc^2 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right)}{1 - \frac{v^4}{4c^4}} \Rightarrow E \approx mc^2 + \frac{mv^2}{2}. \quad (8)$$

როცა სხეულის სიჩქარე $v=0$, მაშინ (8) $\Rightarrow E=mc^2$, ე.ი. უძრავ სხეულს ენერგია გააჩნია უკვე თავისი არსებობის გამო და ეს ენერგია კოლოსალურად დიდია. უძრაობის ენერგია შეიძლება გარდაიქმნას სხვა სახის ენერგიად და პირიქით.

ეს სრულიად უცხოა ნიუტონის ფიზიკისათვის. **უძრაობის ენერგიის აღმოჩენა ერთ-ერთი უდიდესი მიღწევაა.** რაც შეეხება თავისუფალი სხეულის სრულ ენერგიას, იგი უძრაობისა და კინეტიკური ენერგიების ჯამის ტოლია და (8) ფორმულით განისაზღვრება.



3. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ ორი ნაწილაკის ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნას ნაწილაკი, რომლის მასა აღემატება სანყისი ნაწილაკების მასათა ჯამს?

ვთქვათ: $v=0,6c$ (9) სიჩქარით მოძრავი m მასის ნაწილაკი ეჯახება ისეთივე უძრავ ნაწილაკს. ჩავთვალოთ, რომ დაჯახება აბსოლუტურად არადრეკადია. განვსაზღვროთ მიღებული ნაწილაკების სიჩქარე და მასა.

აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახებისას წარმოქმნილი ნაწილაკების მასა და სიჩქარე აღვნიშნოთ, შესაბამისად, M და u -თი.

$$\text{იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად: } \gamma mv = \gamma' Mu. \quad (10)$$

$$\text{ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად: } \gamma mc^2 + mc^2 = \gamma' Mc^2. \quad (11)$$

$$\text{სადაც } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (12), \quad \gamma' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}. \quad (13)$$

(11) გავყოთ (10)-ზე მივიღებთ:

$$\frac{\gamma mc^2 + mc^2}{\gamma mv} = \frac{c^2}{u} \Rightarrow \frac{c^2}{v} + \frac{c^2}{\gamma v} = \frac{c^2}{u} \Rightarrow \frac{\gamma + 1}{\gamma v} = \frac{1}{u} \Rightarrow u = \frac{\gamma v}{\gamma + 1}. \quad (14)$$

$$(9) \wedge (12) \rightarrow (14) \Rightarrow u = \frac{0,6c}{1 + \sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} \Rightarrow u = \frac{0,6c}{1 + \sqrt{1 - 0,36}} \Rightarrow u = 0,3c. \quad (15)$$

$$(9), (12), (13) \wedge (15) \rightarrow (10) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{0,6mc}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} = \frac{0,3cM}{\sqrt{1 - \frac{(0,3c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{M}{m} = \frac{0,6 \sqrt{0,91}}{0,3 \sqrt{0,64}} \Rightarrow \frac{M}{m} \approx 2,4 \Rightarrow M > 2m. (*)$$

სხეულის მასა არ უდრის მისი შემადგენელი ნაწილაკების მასათა ჯამს. რელატივისტურ ფიზიკაში არ სრულდება მასის მუდმივობის კანონი. ნაცვლად გვაქვს ენერგიის მუდმივობის კანონი, რომელიც ნაწილაკთა უძრაობის ენერგიასაც შიშობს.



4. რომელია მეტი ნაწილაკების მასათა ჯამი ურთიერთქმედებამდე თუ ურთიერთქმედების შემდეგ?

დავადგინეთ, რომ რელატივისტურ ფიზიკაში იმპულსი განისაზღვრება ფორმულით $\vec{P} = \gamma m \vec{v}$, ენერგია კი $E = \gamma mc^2$, γ რელატივისტური კოეფიციენტი.

დავალება

მოიპოვე ინფორმაცია აინშტაინის $E = \gamma mc^2$ ფორმულასა და მის მნიშვნელობაზე. ფარდობითობის თეორიის საფუძველზე შექმნილ ურთულეს მონყობილობებზე — დამუხტული ნაწილაკების ამაჩქარებელზე.

1. რაკეტა დედამიწის მიმართ $0,6c$ სიჩქარით მოძრაობს. რაკეტაში ღეროს სიგრძე 1 მ-ია. განვსაზღვროთ ღეროს სიგრძე დედამიწის დამკვირვებლის თვალსაზრისით.

ამოხსნა

$\begin{array}{ l} ? \ l \\ \hline \text{მოც. : } l_0 = 1 \text{ მ} \\ v = 0,6c \end{array}$	დედამიწის დამკვირვებლის თვალსაზრისით ღეროს სიგრძე $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (*)$ $\hookrightarrow (*) : \quad l = 1 \text{ მ} \sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}} = 0,8 \text{ მ.}$
--	--

2. რაკეტა დედამიწის მიმართ მოძრაობს $0,6c$ სიჩქარით. რამდენჯერ შემცირდება დროის მსვლელობა რაკეტაში დედამიწის დამკვირვებლის თვალსაზრისით?

ამოხსნა

$\begin{array}{ l} ? \ \frac{\tau}{\tau_0} \\ \hline \text{მოც. : } v = 0,6c \end{array}$	$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (*)$ $\hookrightarrow (*) : \quad \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{\tau}{\tau_0} = 1,25.$
---	---

3. რამდენით შეიცვლება 1 კგ ყინულის მასა გადნობისას?

ამოხსნა

m მასის ყინულის გადნობისას მიღებული იმავე ტემპერატურის წყლის შინაგანი ენერგია λm -ით მეტია ყინულის შინაგან ენერგიაზე. მასასა და ენერგიას შორის არსებობს კავშირი, რომელიც გამოისახება აინშტაინის განტოლებით:

$\begin{array}{ l} ? \ \Delta m \\ \hline \text{მოც. : } m = 1 \text{ კგ} \\ \lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ ჯ/კგ} \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ} \end{array}$	$\Delta E = c^2 \Delta m \Rightarrow \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{\lambda m}{c^2} \quad (*)$ $\hookrightarrow (*) : \quad \Delta m = \frac{3,3 \cdot 10^5 \text{ ჯ/კგ} \cdot 1 \text{ კგ}}{(3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ})^2} = 3,7 \cdot 10^{-12} \text{ კგ.}$
--	--

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

ამოხსენით ამოცანები

- რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს კოსმოსური ხომალდი დედამიწის მიმართ, რომ მასზე საათი ორჯერ უფრო ნელა მუშაობდეს დედამიწის დამკვირვებლის თვალსაზრისით?
- A წერტილში მოთავსებულ სინათლის წყაროს ერთი ავტომობილი უახლოვდება მოდულით s სიჩქარით, მეორე შორდება იმავე სიჩქარით (სურ. 83.1). განსაზღვრეთ სინათლის სიჩქარე თითოეული ავტომობილის მიმართ.
- ორი რაკეტა უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ მოძრაობს შემხვედრი მიმართულებით, შესაბამისად, $v_1=0,6c$ და $v_2=0,9c$ სიჩქარეებით. განსაზღვრეთ სიჩქარე, რომლითაც უახლოვდებიან რაკეტები ერთმანეთს სიჩქარეთა შეკრების კლასიკური და რელატივისტური ფორმულების მიხედვით.
- განსაზღვრეთ სხეულის როგორი სიჩქარისას მცირდება მისი სიგრძე 10%-ით.
- ორი კოსმოსური ხომალდი მოძრაობს ერთი წრფის გასწვრივ ერთი და იმავე მიმართულებით უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, შესაბამისად, $v_1=0,5c$ და $v_2=0,8c$ სიჩქარეებით. განსაზღვრეთ, რა სიჩქარით შორდება მეორე ხომალდი პირველს სიჩქარეთა შეკრების კლასიკური და რელატივისტური კანონების მიხედვით.



სურ. 83.1

ტესტი

- როდესაც სხეული უახლოვდება სინათლის წყაროს s სიჩქარით, მაშინ სინათლის სიჩქარე სხეულის მიმართ ტოლია
ა. $c+s$; ბ. $c-s$; გ. c ; დ. s .
- როდესაც სხეული შორდება სინათლის წყაროს s სიჩქარით, მაშინ სინათლის სიჩქარე სხეულის მიმართ
ა. $c+s$; ბ. $c-s$; გ. c ; დ. s .
- როდესაც უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ორი რაკეტა მოძრაობს შემხვედრი მიმართულებით, შესაბამისად, $0,7c$ და $0,8c$ სიჩქარეებით, მაშინ ერთი რაკეტა მოძრაობს მეორის მიმართ
ა. $1,5c$ სიჩქარით; ბ. $0,23c$ სიჩქარით; გ. $0,96c$ სიჩქარით.

