

ბიოგრაფიული გეგმა

მასწავლებლის სარეკომენდაციო წიგნი

შესავალი თანამედროვე

ფიზიკაში

XI / XII კლასი

I მოდული

გრიფი მიენიჭა 2012 წელს სსიპ განათლების ხარისხის განვითარების
ეროვნული ცენტრის მიერ

თბილისი 2012

შინაარსი

ორმოდულიანი საგნობრივი პროგრამა

„შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში.....	6
XI/XII კლასის შინაარსისა და მიზნების რუკა. I მოდული.....	11
I თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა	12
II თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა	13
III თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა	14
სახელმძღვანელოს დანიშნულება და მისი გამოყენების ინსტრუქცია.	
საგნის სწავლების სპეციფიკა. მეთოდური ორიენტირები	15
სასწავლო მასალის წარდგენის ფაზების ახსნა-განმარტება.....	16
კომენტარები მოსწავლის წიგნის თითოეულ სტრუქტურულ ელემენტთან (თავი, პარაგრაფი, თემა) და მის შემადგენელ ნაწილებთან დაკავშირებით	
გაკვეთილის დაგეგმვის ზოგადი პრინციპები.....	17
საშინაო ცდის შესახებ	18
ზოგიერთი კომპონენტის შესაბამისი უნარები და აქტივობები.....	19
აქტივობების შეფასების ცხრილები.....	21
საშინაო დავალების შეფასების კრიტერიუმები	22
კვლევითი და ექსპერიმენტული სამუშაოს შეფასების სქემა.....	25
ჯგუფური მუშაობისას შეფასების მოდელი	26
მოსწავლის თვითშეფასების სქემა.....	27
შეფასებები.....	27
ნიშნების და დონეების შესაბამისობა.....	27
მცირე კომენტარი ინტერაქტიური სწავლების შესახებ.....	28
კრიტიკულ აზროვნებაზე გამიზნული გაკვეთილის დაგეგმვა.....	29
ზოგიერთი მეთოდის და სტრატეგიის მოკლე მიმოხილვა	30
უფრო დაწვრილებით აზროვნების დონეების შესახებ.....	32
სხვადასხვა სახის უნარ-ჩვევები.....	34
რჩევები მასწავლებლისთვის.....	36
პრობლემური ამოცანების შესახებ.....	38
გაკვეთილის გამოკითხვის შესახებ.....	39
საჭირო ინფორმაცია	42

გაკვეთილების სცენარები

გაკვეთილი 1.4, 1.5. მექანიკური ტალღების არეკვლა და გარდატეხა. ინტერფერენცია.....	43
§ 2.7. სინათლის ტალღების განივობა სინათლის პოლარიზაცია.	47

სახელმძღვანელო

შინაარსი	3
I თავი. მექანიკური ტალღები	6
1.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა	7
1.2. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა	10
1.3. მექანიკური ტალღები. ჰიუგენსის 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. შეამოწმეთ 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. განათებულიობა	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. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა	66

III თავი. ფარდობითობის თეორიის ელემენტები.....	67
3.1. სინათლის სიჩქარე „უძრავ“ და „მოძრავ“ ათვლის 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

**ორმოდულიანი საბნობრივი პროგრამა
„შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში“**

1. ზოგადი ნაწილი

ა) შესავალი

თანამედროვე ტექნოლოგიურმა პროგრესმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების განვითარებაში. არჩევითი საგანი „შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში“ მოიცავს თანამედროვე ფიზიკის განვითარების ძირითად ტენდენციებს.

აღნიშნული საგანი გათვლილია იმ მოსწავლეებზე, ვისაც სურვილი აქვთ გაეცნონ სიახლეებს თანამედროვე ფიზიკაში და გაიღრმავონ და განვიითარონ კვლევის უნარ-ჩვევები.

ბ) საგნის სწავლების მიზნები და ამოცანები

საგნის სწავლების მიზანია საშუალო საფეხურის მოსწავლეებში გააღრმავოს ფიზიკისადმი, როგორც სამყაროს კანონზომიერებების შემსწავლელი მეცნიერებისადმი, ინტერესი.

ეს საგანი საშუალებას აძლევს მოსწავლეებს დაუკავშირონ ფიზიკა თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებას, გაიაზრონ ადამიანის როლი სამყაროს და საზოგადოების განვითარებაში; ასევე ხელს უწყობს იმ უნარ-ჩვევების განვითარებას, რომელიც აუცილებელია მეცნიერული კვლევის დაგეგმვისა და წარმართვისათვის.

ფასეულობები და დამოკიდებულებები	უნარ-ჩვევები	ცოდნა
• ინტერესი საბუნებისმეტყველო დისციპლინების მიმართ. • საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების მნიშვნელობის გააზრება. • ინტერესი მეცნიერული კვლევის და სიახლეების მიმართ. • თანამშრომლობის სურვილი. • გარემოზე ზრუნვა და პასუხისმგებლობა.	• კვლევის საგნისა და კვლევის ეტაპების განსაზღვრა. • კვლევითი პროცედურის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა. • მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით. • მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.	• მექანიკური ტალღების თვისებები. • სინათლის ორმაგი ბუნება. • ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპები. • მიკროსამყაროს კვანტური ბუნება. • სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თეორიები. • ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და ურთიერთქმედება. • ფიზიკის როლი თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.

საგნის სწავლების ამოცანებია:

გ) საგნის სწავლების ორგანიზება

საგანი ორმოდულიანია. თითოეული მოდული გათვლილია ერთ სემესტრზე. პირველი მოდული გათვალისწინებულია XI ან/და XII კლასის მოსწავლეებისათვის, მეორე მოდული კი მხოლოდ XII კლასის მოსწავლეებისათვის.

დ) საგნის მიმართულებების აღწერა

საგანი ორ მიმართულებას მოიცავს - მეცნიერული კვლევა-ძიება და ფიზიკური მოვლენები.

არჩევითი საგანი "შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში" აერთიანებს ორ მიმართულებას - მეცნიერული კვლევა-ძიება და ფიზიკური მოვლენები.

მიმართულება - მეცნიერული კვლევა-ძიება

ეს მიმართულება არის გამჭოლი, რომელიც გულისხმობს მეცნიერული კვლევა-ძიების უნარ-ჩვევების განმტკიცებას და შემდგომ განვითარებას. მოსწავლემ უნდა შეძლოს კვლევის საგნისა და მისი შესწავლის ეტაპების განსაზღვრა, შესაბამისი ხელსაწყოების და მონაცემების აღრიცხვის ფორმების შერჩევა. ეს მიმართულება გულისხმობს ასევე ისეთი უნარ-ჩვევის განვითარებას, როგორიცაა კვლევის პროცესის განხორციელება და მონაცემების აღრიცხვა, შემდგომ კი ამ მონაცემების წარმოდგენა სხვადასხვა გამომსახველობითი ხერხებით. მოსწავლემ უნდა შეძლოს ასევე მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.

მიმართულება - ფიზიკური მოვლენები

I მოდული

მიმართულება შინაარსობრივად ეფუძნება თანამედროვე ფიზიკის ისეთ თემებს, როგორიცაა ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ელემენტები, სინათლის ორმაგი ბუნება და სხვა. ამ კურსის გავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს მექანიკური ტალღების თვისებების შესასწავლად ექსპერიმენტული კვლევა, სინათლის ტალღური და კვანტური ბუნების შესახებ მსჯელობა, ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.

II მოდული

მიმართულება შინაარსობრივად ეფუძნება თანამედროვე ფიზიკის ისეთ თემებს, როგორიცაა კოსმოლოგიის საკითხები, ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა და სხვა. ამ კურსის გავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და ურთიერთქმედების აღწერა, მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების და სამყაროს განვითარების თეორიების შესახებ მსჯელობა, ასევე შეაფასოს ფიზიკის როლი თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.

სტანდარტის შედეგებს თან ახლავს ინდექსი. ინდექსი ინფორმაციას იძლევა საგნის/მიმართულების, კლასის და შედეგის ნომრის შესახებ. მაგალითად:

არჩ.ფიზ. XII.5

არჩ.ფიზ. - საგანი

XII. - კლასი

5. - შედეგის ნომერი

2. საგნობრივი კომპეტენციები

XI/ XII კლასი

შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში

I მოდული

სტანდარტი

წლის ბოლოს მისაღწევი შედეგები მიმართულებების მიხედვით:

მეცნიერული კვლევა-ძიება	ფიზიკური მოვლენები
კვლ.XI/XII.1.მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და კვლევის ეტაპები. კვლ.XI/XII.2.მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა. კვლ.XI/XII.3.მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალებების გამოყენებით. კვლ.XI/XII.4.მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.	არჩ.ფიზ.XI/XII. 5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა. არჩ.ფიზ.XI/XII. 6.მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა. არჩ.ფიზ. XI/XII .7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.

წლის ბოლოს მისაღწევი შედეგები და მათი ინდიკატორები

მიმართულება: მეცნიერული კვლევა-ძიება

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით, სხვადასხვა საშუალო ჩატარებით, გამოკითხვით, საკითხის ირგვლივ ლიტერატურის მოძიებით);
- განარჩევს მუდმივ და ცვლად (დამოკიდებულ, დამოუკიდებელ) პარამეტრებს;
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ცხრილები, გრაფიკები, სიები, ფოტოები, ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას და/ან გაზომვებს, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- აკვირდება, ზომავს, იყენებს ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო საშუალებებს მონაცემების სათანადო სიზუსტით რეგისტრირებისთვის (მაგ., დროის მონაკვეთში ცვლადების მნიშვნელობების აღრიცხვა);
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.3. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს სხვადასხვა ხერხს (დიაგრამებს, ცხრილებს, გრაფიკებს, სიებს) მონაცემთა წარმოსადგენად;
- იყენებს საინფორმაციო-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებს თვისებრივი და რაოდენობრივი მონაცემების დასამუშავებლად და წარმოსადგენად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს დიაგრამებს, ცხრილებს და გრაფიკებს მონაცემებს ან ცვლადებს შორის დამოკიდებულების აღსაწერად;
- აანალიზებს მონაცემებს (მაგ., საშუალო არითმეტიკული სიდიდის და საშუალოდან გადახრების დადგენა), საჭიროების შემთხვევაში, საკონტროლო ცდის შედეგების გათვალისწინებით, გამოაქვს დასკვნები;
- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

მიმართულება: ფიზიკური მოვლენები

არჩ.ფიზ. XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;
- აკვირდება და რაოდენობრივად აღწერს დოპლერის ეფექტს.

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;
- ადგენს რაოდენობრივ კავშირს სინათლის ნაკადს, სინათლის ძალასა და განათებულობას შორის;
- აანალიზებს ფოტოეფექტის ექსპერიმენტს და აკეთებს შესაბამის დასკვნებს სინათლის კვანტური ბუნების შესახებ;
- მოიპოვებს ინფორმაციას სინათლეზე წარმოდგენების განვითარების შესახებ, წარადგენს პრეზენტაციის სახით;
- ადეკვატურად იყენებს შესაბამის ცნებებს, კანონებს და ფორმულებს ამოცანების ამოსახსნელად.

არჩ.ფიზ. XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს;
- აყალიბებს აინშტაინის პოსტულატებს;
- თვისებრივად და რაოდენობრივად აღწერს (გამოყვანის გარეშე) სიგრძისა და დროის ფარდობითობას;
- მოიპოვებს ინფორმაციას ფარდობითობის სპეციალური თეორიის შექმნის შესახებ და აფასებს ამ თეორიის მნიშვნელობას თანამედროვე ფიზიკის განვითარებისათვის.

მასნავლებლის სარეკომენდაციო ნიგნი

პროგრამის შინაარსი

მექანიკური ტალღები

მექანიკური ტალღები, ტალღების არეკვლა, გარდატეხა, ჰიუგენსის პრინციპი, დიფრაქცია, ინტერფერენცია, დოპლერის ეფექტი.

სინათლის გავრცელება, სინათლის ორმაგი ბუნება

სინათლის ტალღური ბუნება, დისპერსია, ინტერფერენცია, დიფრაქცია, დიფრაქციული მესერი, პოლარიზაცია. სინათლის ტალღის სიგრძის განსაზღვრა დიფრაქციული მესერის გამოყენებით.

სინათლის კვანტური ბუნება: შავი სხეულის გამოსხივება, პლანკის ჰიპოთეზა. ფოტოეფექტი, ფოტოეფექტის კანონები. ფოტონები. სინათლის წნევა.

ფოტომეტრია

სინათლის ნაკადი, სინათლის ძალა, განათებულობა, შესაბამისი ერთეულები.

ფარდობითობის სპეციალური თეორია

აინშტაინის პოსტულატები, ერთდროულობის, დროის შუალედისა და სიგრძის ფარდობითობა. სიჩქარეთა გარდაქმნის რელატივისტური კანონი. რელატივისტური იმპულსი და ენერგია. უძრაობის ენერგია. ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელი ცდები.

ამ შედეგების მისაღწევად სახელმძღვანელოს შინაარსი წარმოდგენილია სამი თავით. პირველ ოთხ შედეგს მეცნიერული კვლევა-ძიება ფარავს სამივე თავში საშინაო ცდებში. კონკრეტულად რომელ შედეგს რომელი ცდა ფარავს, მითითებულია მასნავლებლის სარეკომენდაციო ნიგნში — „სტანდარტთან კავშირში“. იგივე მიზნის მიღწევას ემსახურება გაკვეთილზე ჩატარებული ცდები.

მეხუთე შედეგს — არჩ. ფიზ. XI/XII.5. ფარავს პირველი თავი.

მეექვსე შედეგს — არჩ. ფიზ. XI/XII.6. ფარავს მეორე თავი.

მეშვიდე შედეგს — არჩ. ფიზ. XI/XII.7. ფარავს მესამე თავი.

XI/XII კლასის შინაარსისა და მიზნების რუკა
I მოდული
33 საათი
(2 სთ სარეკომენდაციო დრო)

ინდიკატორები შინაარსი	კვლ. XI/ XII. I. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.	კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.	კვლ. XI/XII.3 მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკონსტრუქციო საშუალებების გამოყენებით.	კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.	არჩ. ფიზ. XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.	არჩ. ფიზ. XI/ XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.	არჩ. ფიზ. XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.	საათების რაოდენობა
I თავე. მეცნიერული ტალღები								9
II თავე. სინათლის ტალღური და კვანთური ბუნება								14
III თავე. ფარდობითო- ბის თეორიის ელემენტები								8 31

I თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა

აკადემიური საათების რაოდენობა 10

	არჩ.ფიზ.XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.		
	შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:		
ინდიკატორები შინაარსი	გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;	აკვირდება რაოდენობრივად აღწერს დოპლერის ეფექტს.	საათების რაოდენობა
1.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა			1
1.2. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა			1
1.3. მიმდინარე ტალღები. ვიზუალურ პრინციპში			1
1.4. მიმდინარე ტალღების არეკვლა და გარდატეხა			1
1.5. მიმდინარე ტალღების ინტერფერენცია			1
1.6. ინფრა და ულტრაგაბები			1
1.7. დოპლერის ეფექტი			1
1.8. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში			1
1.10 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა			2
			10

II თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა
გადაღებიური საათების რაოდენობა 15

არჩ.ფი.ბ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.						
შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:						
ინდიკატორები შინაარსი	• გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;	• ადგენს რაოდენობრივ კავშირს სინათლის ნაკადს, სინათლის ძალასა და განათებულობას შორის;	• აანალიზებს ფოტოფენომების ექსპერიმენტს და აკეთებს შესაბამის დასკვნებს სინათლის კვანძური ბუნების შესახებ;	• მიიღო ინფორმაციას სინათლეზე წარმოდგენების შესახებ, წარადგენს პრეზენტაციის სახით;	• ადეკვატურად იყენებს შესაბამის ცნებებს, კანონებს და ფორმულებს ამოცანების ამოსახსნელად.	სათემის რაოდენობა
2.1. სინათლის სიჩქარე						1
2.2. სინათლის ნაკადი, სინათლის წარმოდგენი ნახარჯი						1
2.3. სინათლის ძალა, სინათლის განათებულობა						1
2.4. სინათლის ინტენსივობის დამოკიდებულება გარემოში						1
2.5. მიმდინარე ტალღების სიხშირის დამოკიდებულება სინათლის დიფრაქციის						1
2.6. დიფრაქციის გარემოში						1
2.7. სინათლის ტალღების გარემოში, სინათლის გარემოში						1
2.8. შავი სხეულის გამოსხივება						1
2.9. ფოტოფენომები						1
2.10. ფოტოფენომების კანონები						1
2.11. ფოტოფენომების ფიზიკური გამოყენება						1
2.12. სინათლის წნევა						1
2.13. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში						1
2.14. პრაქტიკული გამოყენება						1
2.15. საერთო შედეგები						2
						15

III თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა
პაპადემიური საათების რაოდენობა 15

	შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:				თეორიის მიერთადი პრინციპების აღწერა .
	• აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს;	• აცალიბებს აინშტაინის პოსტულატებს;	• თვისებრივად და რაოდენობრივად აღწერს (გამოყვანის გარეშე) სივრცის და დროის ფარდობითობას;	• მოიპოვებს ინფორმაციას ფარდობითობის სპეციალური თეორიის შექმნის შესახებ და აფასებს ამ თეორიის მნიშვნელობას თანამედროვე ფიზიკის განვითარებისთვის.	
ინდიკატორები შინაარსი					
3.1. სინამდვილის სიჩქარე „უპრავ“ და „მოპრავ“ ათვლის ინერციულ სისტემებში					1
3.2. ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ელემენტები					1
3.3. დროის შუალედის ფარდობითობა					1
3.4. ღეროს სიგრძე ფარდობითობა					1
3.5. სინამდვილის შიდა სივრცის რელატივისტური კანონი					1
3.6. იმპულსი და ენერგია ფარდობითობის თეორიაში					1
3.7. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში					1
3.8. შედეგით თქვენი ცოდნა					1
					8

სახელმძღვანელოს დანიშნულება და მისი გამოყენების ინსტრუქცია.

საგნის სწავლების სპეციფიკა. მეთოდური ორიენტირება

საშუალო სკოლაში მოსწავლე იღრმავებს საბაზო საფეხურზე შეძენილ ცოდნას, შეისწავლის და აანალიზებს თანამედროვე ფიზიკის მიღწევებს, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების განვითარების დადებით და უარყოფით გავლენას გარემოზე, იძენს მეცნიერული კვლევის უნარ-ჩვევებს და ექმნება მყარი საფუძველი მომავალი საქმიანობისათვის. ამ საფეხურის ბოლოს მოსწავლემ

- უნდა შეძლოს დამოუკიდებლად დაგეგმოს და წარმართოს მარტივი ექსპერიმენტი, გამოთქვას ჰიპოთეზა და შეამოწმოს ცდით;
- სხვადასხვა წყაროდან მოიძიოს ინფორმაცია მეცნიერული კვლევების შესახებ, შეადაროს მათ საკუთარი კვლევის შედეგები.
- აირჩიოს მონაცემების წარმოდგენის ფორმები და საშუალებები და გააკეთოს პრეზენტაცია.

XI კლასის ფიზიკის სახელმძღვანელოს დანიშნულება და მიზანიც სწორედ ეს არის. პროგრამით გათვალისწინებული შინაარსის ათვისების პროცესში მოსწავლეს გაუღვივოს ინტერესი მეცნიერული კვლევისა და სიახლეების მიმართ. განუვითაროს კვლევის უნარ-ჩვევები. მოსწავლე მიაჩვიოს ფიქრს და აზროვნებას, ჩამოუყალიბოს საკუთარი აზრის გამოხატვის, სხვისი მოსმენის და ჯგუფური მუშაობის ჩვევები. გაუმახვილოს დაკვირვების, აღქმისა და წარმოსახვის უნარი. ასწავლოს სხვისი აზრის გათვალისწინება და პატივისცემა.

მიზნის მიღწევისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს სახელმძღვანელოს სტრუქტურას, შინაარსს და მეთოდებს.

ნიგნი იმგვარად არის აგებული, რომ ცნებები, კანონები, დებულებები პირდაპირ კი არ შემოგვაქვს, არამედ ცდებით, დაკვირვებით, შემჩნეული მოვლენების ანალიზით გამოგვაქვს დასკვნები.

მასალის მიწოდების ძირითადი მეთოდური ორიენტირია პრობლემური თხრობა.

შინ და გაკვეთილზე ჩატარებული ცდების ანალიზით, არსებული ცოდნის საფუძველზე მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირებით, ლოგიკური დასაბუთებით ნაბიჯ-ნაბიჯ მივდივართ ყოველ ახალ ცნებამდე და დებულებამდე.

გაკვეთილის მეტი ნაწილი დავუთმობ დისკუსიას. ახალი მასალა მივანდობთ ეტაპობრივად, ცნებების თანდათან შემოტანით, თითოეულ ეტაპს უნდა მოჰყვეს მისი პრაქტიკული განმტკიცება. მოცემულ პარაგრაფში ეტაპები ერთმანეთისაგან გამოყოფილია აქტივობებით. სწორედ ამ აქტივობებით ხდება ახალი მასალის ათვისების შემოწმება და განმტკიცება.

გაკვეთილზე აქტივობებით მასალის ახსნა და განმტკიცება რომ მოვასწროთ, ძალიან გვეხმარება მოსწავლის სამუშაო რვეული, რომელშიც მოსწავლისათვის სამუშაო მასალა წინასწარ გამზადებულია. მოსწავლე გაკვეთილზე გამუდმებით, აქტიურ, მუშა მდგომარეობაში უნდა იყოს. მან ზოგიერთ შეკითხვას ზეპირად უნდა უპასუხოს ზოგიერთს წერილობით. ამით გაკვეთილზე შევინარჩუნებთ აქტიურ, უწყვეტ პროცესს და უზრუნველყოფთ საგაკვეთილო პროცესში მოსწავლის ჩართულობას. გარდა ამისა, წერილობით პასუხის გაცემას სხვა დადებითი მხარეებიც აქვს: 1. წერილობით პასუხის გაცემისას მოსწავლე პრობლემას, საკითხს უფრო ღრმად ჩასწვდება; 2. ეუფლება წერის კულტურას; 3. უფრო დიდხანს დაამახსოვრდება.

მოსწავლემ, რომელმაც სამუშაო რვეულში ყველა დავალების შესრულება გაკვეთილზე ვერ მოასწრო, შინ დაამთავროს.

გაკვეთილის პროცესში ჩართულობის, საკლასო და საშინაო დავალებების შეფასების კრიტერიუმებს გაკვეთილების სცენარებში გავეცნობით.

მასწავლებლის სარეკომენდაციო წიგნი

გაკვეთილი წარმატებული რომ იყოს, უნდა შევექმნათ ისეთი გარემო, რომ მოსწავლეებმა კეთილგანწყობილი დამოკიდებულება იგრძნონ როგორც ერთმანეთის მიმართ, ისე მასწავლებლის მხრიდან; გაკვეთილზე მრავლად უნდა იყოს ინტერესის გამომწვევი ფაქტორები და გარემოებები (ვიზუალური მხარე, მატერიალურ ტექნიკური უზრუნველყოფა); სასწავლო პროცესი მიზანმიმართულად უნდა წარვმართოთ და ვიხელმძღვანელოთ გუნდური მუშაობის პრინციპით.

მასწავლებლის სარეკომენდაციო წიგნში განხილულია აქტივობების მიზანი, დანიშნულება, სავარაუდო და სწორი პასუხები.

მასწავლებლის წიგნში მოცემულია დამატებითი მასალა, სავარჯიშოები.

სარეზერვო საათები გვაძლევს საშუალებას ჩვენ მიერ მითითებული გაკვეთილების გარდა სხვა რომელიმე გაკვეთილსაც ორი საათი დაგუთმოთ, თუ კი ამის საჭიროება იქნება.

როგორ მოემზადოს მოსწავლე გაკვეთილისთვის და რა უნდა იცოდეს?

თუ სწავლობს გაკვეთილში მოყვანილ წესებს, ფაქტებს, ფორმულებს და შეუძლია მხოლოდ მარტივ შეკითხვებზე პასუხის გაცემა, მაშინ ეს დაბალი დონეა.

თუ პასუხობს შეკითხვების უმეტეს ნაწილს, ასრულებს საშინაო დავალებებს, მაგრამ ზოგჯერ უჭირს დამოუკიდებლად დასკვნების გამოტანა — საშუალო დონეა.

თუ გაკვეთილში მოცემულ ყველა სავარჯიშოს ასრულებს დამოუკიდებლად, ასაბუთებს ლოგიკურად. ამზადებს საჭირო ხელსაწყოებს, ატარებს საშინაო ცდებს და სრულყოფილად წარადგენს მასალას გაკვეთილზე — მაღალი დონეა.

გაკვეთილები, რაც უფრო მრავალფეროვანი იქნება, მით უფრო იზრდება მოსწავლის ინტერესი. ამიტომ სასურველია, სხვადასხვა მეთოდით წარვმართოთ გაკვეთილის პროცესი.

მოსწავლის მოტივაცია იზრდება, თუ მან წინასწარ იცის, მის ამა თუ იმ ნამუშევარს რა კრიტერიუმებით შეაფასებენ.

ცალკეული კომპონენტების მიხედვით შეფასების კრიტერიუმებს გაკვეთილების სცენარებში შემოგთავაზებთ.

სასწავლო მასალის წარდგენის ფაზების ახსნა-განმარტება

სასურველია და აუცილებელიც გაკვეთილისთვის მოსწავლეთა მოტივირება. მოსწავლეთა მოტივირება ნიშნავს ისეთი არგუმენტების მოყვანას, რომელიც მოსწავლეს განაწყობს ახალი მასალის შესასწავლად.

მოტივირებისთვის სხვადასხვა ხერხი შეიძლება გამოვიყენოთ. მაგალითად, პარაგრაფის წინ დამაინტრიგებელი ფრაზა, ცდა, ილუსტრაცია, პრობლემის დასმა, წინა დღეს შესრულებული საშინაო ცდა და სხვა.

წარმოდგენილ სახელმძღვანელოში გამოყენებული გვაქვს სხვადასხვა ხერხი. მოსწავლის მოტივირება საშინაო დავალების მომზადებისას იწყება. მასწავლებელი გაკვეთილს იწყებს სასწავლო მიზნების განმარტებით და საკითხის დასმით. აგრეთვე აცნობს მოსწავლეებს, რა აქტივობებს გამოიყენებენ მასალის შესწავლისას. ეს იქნება ექსპერიმენტი, ილუსტრაციის განხილვა, დისკუსია თუ უბრალოდ ინფორმაციის დამუშავება.

წარმოდგენილი სახელმძღვანელოს თითოეულ პარაგრაფში მასალა ისეა დალაგებული, რომ ჯერ მოცემულია საწყის ეტაპზე შესასრულებელი სავარჯიშოები ანუ ისეთი შეკითხვები, რომლებზე პასუხი მოსწავლის გონებას ამზადებს ახალი მასალის ასათვისებლად. ხშირად ეს საშინაო ცდის ანალიზის პარალელურად ხდება. ზოგჯერ კი საშინაო ცდის ანალიზი გამოყენებულია ახალი მასალის რეალიზაციის დროს და არა საწყის ეტაპზე (გააჩნია მასალას და საშინაო ცდას).

შინაარსის რეალიზების პროცესში მოსწავლეები მუშაობენ ან ინდივიდუალურად, ან წყვილებად, ან ჯგუფებად. ასრულებენ ტექსტურ დავალებებს. ეს დავალებები უმრავლეს შემთხვევაში კვლევითი ხასიათისაა და მათი მეშვეობით ხდება ცნებამდე ეტაპობრივი მისვლა. ამ ეტაპზე გამოიყენება ძირითადი სასწავლო მასალა: ტექსტი, ილუსტრაცია, თვალსაჩინოება, წინა დღეს მიცემული საშინაო ცდა.

შინაარსის რეალიზაციის შემდეგ ხდება დამაგვირგვინებელ ეტაპზე შესასრულებელი სავარჯიშოების განხილვა. ეს სავარჯიშოები ემსახურება მასალის შეჯამებას, ანალიზს.

ბოლო ეტაპზე ტარდება დამოუკიდებელი სამუშაო. რომლითაც ირკვევა, როგორ გაიგეს და შეუძლიათ თუ არა გამოიყენონ ახალი მასალა თვისებრივი ან გამოთვლითი ამოცანების ამოხსნისას ან რაიმე პრობლემის გადაჭრისას.

კომენტარები მოსწავლის ნიშნის თითოეულ სტრუქტურულ ელემენტთან (თავი, პარაგრაფი, თემა) და მის შიგნითადაც ნაწილებთან დაკავშირებით

XI/XII კლასის სახელმძღვანელოს შინაარსი დაყოფილია თავებად.

თავები დაყოფილია პარაგრაფებად.

თითოეული თავი იწყება ამ თავში შესასწავლი საკითხების ჩამონათვალით და მთავრდება თავის შესწავლის შემდეგ შეძენილი ცოდნის შემოწმებით.

თითოეული პარაგრაფი მოიცავს ძირითად სასწავლო მასალას ტექსტის და ილუსტრაციების სახით, შესაბამის აქტივობებს, დამაგვირგვინებელ ეტაპზე შესასრულებელ სავარჯიშოებს და საშინაო დავალებას, რაც „ლუპის“ შემდეგ არის მოცემული.

„ლუპით“ გამოყოფილია კონკრეტული პარაგრაფის ძირითადი ტერმინები და დასკვნები.

სახელმძღვანელოში მითითებულია, სავარჯიშოები დამოუკიდებლად უნდა შეასრულონ, წყვილებად თუ ჯგუფებად.

სახელმძღვანელოში არის ცხრილები და საგანთა საძიებელი.

სახელმძღვანელოში 76 პარაგრაფია.

გაკვეთილის დაგეგმვის ზოგადი პრინციპები

ყოველი გაკვეთილის დაგეგმვისას მასწავლებელი უნდა დაფიქრდეს:

1. რისთვის ვასწავლი ამას? რა ეცოდინებათ და რა შეეძლებათ მოსწავლეებს ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ?

2. როგორ ვასწავლი? რა მეთოდები უნდა გამოვიყენო? რა ქმედებებს განახორციელებენ მოსწავლეები?

3. როგორ მოვახდენ მოსწავლეების ორგანიზებას? რა ფორმებს გამოვიყენებ?

4. რა რესურსები დამჭირდება სასწავლო მიზნის მიღწევაში?

5. როგორ შევამოწმო სასწავლო შედეგები?

ეროვნული სასწავლო გეგმისა და სტანდარტის მიხედვით, თანამედროვე სახელმძღვანელოს დანიშნულებაა, მოსწავლეს განუვითაროს კრიტიკული აზროვნება და კვლევა-ძიების უნარ-ჩვევები. რა თქმა უნდა, ორივე კომპონენტის განვითარებას დრო სჭირდება და თანდათან, ფიზიკის მთელი კურსის შესწავლის პროცესში, ეტაპობრივად მიიღწევა კიდევ. თუმცა, უნდა ვაღიაროთ, რომ არცთუ ისე ადვილია. მხოლოდ გაკვეთილის პროცესი მიზნის მისაღწევად საკმარისი ვერ იქნება. მოსწავლემ რომ იაზროვნოს, ამა თუ იმ საკითხის შესახებ უფრო დიდხანს უნდა იფიქროს.

ჩვენი აზრით, საშინაო ცდები და შემდეგ გაკვეთილზე მათი ანალიზი დასახულ მიზანთა მიღწევის ერთ-ერთი საუკეთესო საშუალებაა.

ინტერნეტით წარმოდგენილ სახელმძღვანელოში საშინაო ცდას სამი ფუნქცია აკისრია.

პირველი — შემდეგი გაკვეთილისათვის მოტივაციის ერთ-ერთი ფორმა.

მეორე — ყოველი საშინაო ცდა ემსახურება მომდევნო გაკვეთილზე ახალი მასალის ახსნას. მოსწავლე წინა დღეს ცდის ჩატარებისას უკვე იწყებს ფიქრს და აზროვნებას მოცემული საკითხის ირგვლივ. ის უფრო მეტი დროის განმავლობაში ფიქრობს მოცემულ საკითხზე, ვიდრე ამას გაკვეთილზე მოახერხებდა. თუ მოსწავლე **ცდას ნამდვილად ჩაატარებს** და შეასრულებს ჩანაწერს, თუნდაც, არასწორი დასკვნები გამოიტანოს, შეძლებს აქტიური მონაწილეობა მიიღოს გაკვეთილის ახსნის პროცესში.

მესამე — ყოველი საშინაო ცდა არის მეცნიერული კვლევა-ძიება. ამ დროს მოსწავლეს უყალიბდება ყველა ის ჩვევა და იძენს უნარს, რაც სტანდარტის ამ მიმართულებით არის გათვალისწინებული.

შენიშვნა: მასწავლებლის წიგნის იმ ნაწილში, სადაც სახელმძღვანელოს თითოეული პარაგრაფის სტრუქტურული ნაწილების პასუხები და კომენტარებია დაფიქსირებული, ყოველი საშინაო ცდისთვის მითითებულია, რომელი ცდა კვლევის ნაწილის რომელ შედეგს და ინდიკატორებს ფარავს.

ზოგიერთი კომპონენტის შესაბამისი უნარები და აქტივობები

პრეზენტაცია — აზრის ჩამოყალიბების და მოწოდების უნარი — კომუნიკაციის (მონაცემების ორგანიზებისა და წარმოდგენის) უნარი — შემოქმედებითობის უნარი	— აუდიტორიასთან ურთიერთობა — შესაბამისი ტერმინების ფლობა და ადეკვატური გამოყენება — მონაცემების სხვადასხვაგვარი საშუალებით (გრაფიკი სქემა ცხრილი დიაგრამა ჩამონათვალი ნახაზი ნახატი ფოტოსურათი) წარმოდგენა — კვლევის შედეგების პრეზენტაცია — პროექტის პრეზენტაცია — ინდივიდუალური/ჯგუფური ნამუშევრის პრეზენტაცია — საშინაო დავალების პრეზენტაცია
--	--

შენიშვნა: პრეზენტაცია არ არის მოსწავლის მიერ გაკვეთილის ტექსტის მოყოლა. პრეზენტაცია შეიძლება გაკეთდეს კვლევის, პროექტის, ცდის შედეგების, რაიმე შესრულებული სამუშაოსი და სხვ.

საშინაო დავალება — ინფორმაციის მოძიების უნარი — დაკვირვებისა და აღწერის უნარი — კლასიფიკაციის უნარი — მოდელირების უნარ-ჩვევა — წერიტი უნარ-ჩვევა — ნამუშევრის ორგანიზების უნარი — შემოქმედებითობის უნარი	— სხვადასხვა საინფორმაციო წყაროს გამოყენება — შესაბამისი ინფორმაციის მოძიება და ანალიზი — საშინაო დავალებების შესრულების სისტემატურობა — წერიტი სამუშაო — მარტივი კვლევა — მოდელის შექმნა — პროექტი (მოკლევადიანი და გრძელვადიანი)
--	--

მასწავლებლის სარეკომენდაციო ნიშნი

საგაკვეთილო ჩართულობა	პროცესში	
— ყურადღების მობილიზების უნარი — პრობლემის დასმისა და მისი გადაჭრის უნარი — კვლევითი უნარ-ჩვევები — თანამშრომლობის უნარი	— განსახილველ საკითხებზე კითხვების დასმა, პასუხის გაცემა და დასაბუთება — შესასწავლი საკითხების თაობაზე ვარაუდის გამოთქმა — დასმული პრობლემის გადაჭრის გზის შეთავაზება — ექსპერიმენტების ჩატარება — ექსპერიმენტული მონაცემების ჩანერა — უსაფრთხოების წესების დაცვა — ჯგუფურ მუშაობაში მონაწილეობა — განხილული მოვლენებისა და პროცესებისადმი საკუთარი დამოკიდებულების გამოხატვა — საკლასო დისკუსია — ექსპერიმენტი — საველე სამუშაო — მოდელის შექმნა — პროექტი (მოკლევადიანი და გრძელვადიანი)	

შემაჯამებელი (ინდივიდუალური)	სამუშო	
— მიღებული ცოდნის შეჯამების, ანალიზისა და დასკვნების გამოტანის უნარი. — მიღებული ცოდნის კონკრეტულ საკითხებთან დაკავშირების უნარი. — წერიითი უნარ-ჩვევები — დროის ლიმიტის დაცვის უნარი — ნამუშევრის ორგანიზების უნარი	— ტესტური დავალებების შესრულება — დამოუკიდებელი წერიითი დავალებების შესრულება — თემის კონცეპტუალური რუკის შედგენა	

აქტივობების შეფასების ცხრილები

გამოყენებულია მასწავლებელთა პროფესიული გადამზადების კავშირის მიერ
ორგანიზებული ტრენინგის მასალები

კომპონენტი — მიმდინარე საკლასო დავალებები

შეფასების დონეები სავარჯიშოებისათვის	ქულები
ვერ ასრულებს ან ყველა სავარჯიშოს შეცდომით ასრულებს	1-2
ახერხებს მხოლოდ ყველაზე ადვილი საკითხების უშეცდომოდ შესრულებას, უმეტესობა შეუსრულებელი რჩება	3-4
სწორად ასრულებს საშუალო სირთულის სავარჯიშოთა ნაწილს	5-6
სწორად ასრულებს საშუალო სირთულის სავარჯიშოებს და რთული სავარჯიშოების ნაწილს	7-8
თავისუფლად ასრულებს ყველა ტიპის სავარჯიშოს	9-10

კომპონენტი — გაკვეთილზე ჩართულობა

ქულები	შეფასების დონეები
—	მოსწავლის შეფასება შეუძლებელია, ის არ დადის გაკვეთილზე ან საერთოდ არასოდეს მონაწილეობს გაკვეთილის მსვლელობაში
1-2	მოსწავლე იშვიათად მონაწილეობს გაკვეთილის მსვლელობაში, შესაძლებელია ხელსაყრელად უშლიდეს გაკვეთილის მსვლელობას, გამოხატავს გაკვეთილის პროცესის მიმართ ინდიფერენტულ ან აგრესიულ დამოკიდებულებას
3-4	მოსწავლე დამოუკიდებლად არ ერთვება გაკვეთილის მსვლელობაში, იშვიათად იჩენს ინიციატივას მასწავლებლის დახმარების გარეშე მისი ჩართულობა ხშირად არ მჟღავნდება
5-6	მოსწავლე დამოუკიდებლად ერთვება გაკვეთილის მსვლელობაში, მაგრამ მისი აქტიურობა ქმნის პრობლემებს. მაგ.: ზედმეტად ბევრს საუბრობს, აწყვეტინებს მოსაუბრეებს, ხანდახან ცდილობს ზედმეტი აქტიურობით დამალოს საკუთარი მოუზადებლობა, ზოგჯერ არ სცემს პატივს სხვის მუშაობას.
7-8	აქტიურად მონაწილეობს გაკვეთილის მსვლელობაში და უმეტესად ამჟღავნებს წინასწარ მომზადებულობას, პატივს სცემს სხვების აზრსა და მუშაობას, დამოუკიდებლად ერთვება დისკუსიებსა თუ ჯგუფურ მუშაობებში, თუმცა ვერ ამჟღავნებს მაქსიმალურ პროდუქტიულობას პერიოდული ჩავარდნების გამო
9-10	მუდმივად მზადაა მონაწილეობა მიიღოს გაკვეთილის მსვლელობაში, დამოუკიდებლად ერთვება მუშაობაში, დისკუსიასა თუ პრობლემის გადაჭრაში, ეხმარება და პატივს სცემს სხვებს, კარგად აქვს გაცნობიერებული საკუთარი როლი კლასის მიერ რაიმეს შესწავლისას

პრეზენტაციის შეფასების სქემა

	ქულა
საინტერესო შესავალი (პრობლემის იდენტიფიცირება)	0-1
კვლევების/ნაშრომის წარმოჩენის უნარი	0-1
შემოქმედებითი უნარი	0-1
პრობლემის გადაჭრის გზების შეთავაზება	0-1
თემის გასაგებად წარმოდგენა (ლოგიკური ჯაჭვი)	0-1
საუბარი (გამართულობა, ტემბრი)	0-1
თვალსაჩინოების გამოყენება	0-1
აუდიტორიასთან კონტაქტი	0-1
ინფორმაციის ფლობის უნარი (ადეკვატური კითხვა-პასუხი)	0-1
დროის ლიმიტის დაცვა	0-1
ჯამი — ქულათა მაქსიმალური რაოდენობა	10

საშინაო ღვაწლის შეფასების კრიტერიუმები

1. პარაგრაფის შესაბამისი ძირითადი ცნებები და უნარები

შეფასების დონეები	ქულა
უჭირს პარაგრაფში განხილული ძირითადი ცნებების ჩამოთვლა. არ შეუძლია მათი ადეკვატური გამოყენება	1-3
ძირითადი ცნებების შესახებ ბუნდოვანი წარმოდგენა აქვს. უჭირს ამ ცნებების ადეკვატურად გამოყენება	4-5
აყალიბებს ძირითად ცნებებს. მსჯელობს თითოეული ცნების შესახებ. იყენებს მათ ადეკვატურად ზოგიერთ შემთხვევაში.	6-7
აყალიბებს ძირითად ცნებებს. მსჯელობს თითოეული ცნების შესახებ. უკავშირებს ამ ცნებებს ერთმანეთს. იყენებს მათ ადეკვატურად (როგორც მსგავს, ისე ახალ სიტუაციებში)	8-9
აყალიბებს ძირითად ცნებებს. მსჯელობს თითოეული ცნების შესახებ. აკავშირებს ამ ცნებებს ერთმანეთთან. აგრეთვე წინა გაკვეთილზე განხილულ ცნებებთან. იყენებს ამ ცნებებს ყველა სიტუაციაში. საკითხის გადაწყვეტას უდგება შემოქმედებითად. ასაბუთებს ლოგიკურად.	10

2. საშინაო დავალება (არის საშინაო ცდაც)

	1-3	4-5	6-7	8-9	10
წერითი დავალება (არის საშინაო ცდაც)	დავალება არასწორად აქვს შესრულებული	დავალება ნაწილობრივ სწორადაა შესრულებული	დავალება სწორადაა შესრულებული. მხოლოდ უმნიშვნელო ხარვეზებით	დავალება სწორადაა შესრულებული. ხარვეზების გარეშე	დავალება სწორადაა შესრულებული. ორგანიზებულია თვალსაჩინოდ.

3. ინფორმაციის მოძიება

ინფორმაციის მოძიების წყაროები

შეფასების დონეები	ქულები
იყენებს მხოლოდ საკუთარ არსებულ ინფორმაციას	1-3
იყენებს მხოლოდ სახელმძღვანელოს ინფორმაციას	4-5
იყენებს მხოლოდ რამოდენიმე საინფორმაციო წყაროს	6-7
იყენებს მრავალფეროვან საინფორმაციო საშუალებებს	8-10

მოძიებული ინფორმაციის შესაბამისობა

შეფასების დონეები	ქულები
მასალა არ არის საკითხის შესაბამისი	1-3
მასალა ნაწილობრივ შეესაბამება საკითხს	4-5
მასალა ძირითადად შეესაბამება საკითხს	6-7
მასალა სრულად შეესაბამება საკითხს	8-10

მოპოვებული ინფორმაციის ორგანიზება

(ინფორმაციის წყაროების ნუსხა, ცხრილების ან დიაგრამების სახით წარმოდგენა და სხვა)

შეფასების დონეები	ქულები
მასალა არ არის სწორად ორგანიზებული	1-3
მასალა ნაწილობრივ ორგანიზებულია	4-5
მასალა ორგანიზებულია, მაგრამ რთულად აღსაქმელი	6-7
მასალა კარგად და მოსახერხებლადაა ორგანიზებული	8-10

მოქიპული ინფორმაციის ანალიზი

შეფასების ღონეები	ქულები
ვერ იყენებს მოძიებულ მასალას	1-3
ნაწილობრივ მიზნობრივად იყენებს მოძიებულ მასალას	4-5
ძირითადად მიზნობრივად იყენებს მოძიებულ მასალას	6-7
მიზნობრივად იყენებს მოძიებულ მასალას	8-10

4. რეზერატის შეფასება

	ქულები
პირობასთან სათანადოობა	
პრობლემის იდენტიფიცირება	0-1
რეფერატის ორგანიზება, იყენებს მითითებულ კონსტრუქციას	0-2
თვალსაჩინო მასალის შექმნა (რუქა, გრაფიკი, დიაგრამა, სქემა, ცხრილი, ფოტო და ა. შ.)	0-1
საგნობრივი კომპეტენცია	
თემის გასაგებად წარმოდგენა (ლოგიკური ჯაჭვი)	0-2
შინაარსის კორექტულობა, ფაქტობრივი საიმედოობა	0-2
შემოქმედებითი უნარ-ჩვევები	
პრობლემის გადაჭრის გზების შეთავაზება	0-2
ქულათა მაქსიმალური რაოდენობა	10

კვლევითი და ექსპერიმენტული სამუშაოს შეფასების სქემა

ფასდება შემდეგი აქტივობები	1-3 არადადამაკმაყოფილებელი	4-5 დამაკმაყოფილებელი	6-7 კარგი	8-10 სანიმუშო
კვლევის მიზნის განსაზღვრა	არასწორად აყალიბებს მიზანს	ნაწილობრივ აყალიბებს მიზანს	კარგად აყალიბებს მიზანს, განსაზღვრავს ცვლად და დამოუკიდებელ სიდიდეებს	სრულყოფილად აყალიბებს მიზანს, განსაზღვრავს სპეციფიკურ დეტალებს
საჭირო ინვენტარის, მასალის და აღჭურვილობის განსაზღვრა	არასწორად ჩამოთვლის საჭირო მასალებს	ჩამოთვლის საჭირო მასალის ნაწილს	ჩამოთვლის საჭირო ძირითად მასალას	ჩამოთვლის ყველა საჭირო ძირითად მასალას
კვლევის მიმდინარეობის აღწერა	ვერ აღწერს კვლევის მიმდინარეობას	აღწერს კვლევის მიმდინარეობის ზოგიერთ ეტაპს	აღწერს კვლევის მიმდინარეობის ყველა ეტაპს	დეტალურად აღწერს და ასაბუთებს კვლევის მიმდინარეობის ყველა ეტაპს
მონაცემების აღრიცხვა, კვლევის შედეგების ვარაუდი	ვერ აღრიცხავს მონაცემებს, ვერ აყალიბებს ვარაუდს	უსისტემოდ აღრიცხავს მონაცემებს, ვერ ასაბუთებს ვარაუდს	აღრიცხავს მონაცემებს, ნაწილობრივ ასაბუთებს ვარაუდს	სისტემურად აღრიცხავს მონაცემებს, ნაწილობრივ ასაბუთებს ვარაუდს
მონაცემთა ანალიზი და დასკვნა	ვერ აანალიზებს მონაცემებს და ვერ აკეთებს შესაბამის დასკვნებს	ნაწილობრივ აანალიზებს მონაცემებს და ზოგჯერ აკეთებს შესაბამის დასკვნებს	აანალიზებს მონაცემებს და აკეთებს შესაბამის დასკვნებს	აანალიზებს მონაცემებს, გამოსახავს გამომსახველობითი საშუალებებით, აკეთებს დასაბუთებულ დასკვნებს

ამოცანის ამოხსნის გზა	ქულაბი
ვერ პოულობს ამოცანის ამოხსნის რაიმე გზას	1-3
პოულობს ამოცანის ამოხსნის ერთ-ერთ გზას, იწყებს მაგრამ ვერ ასრულებს ამოხსნას	4-5
პოულობს ამოცანის ამოხსნის გზას, მიჰყვება მას, თუმცა ხარვეზებით	6-7
პოულობს ამოცანის ამოხსნის ოპტიმალურ გზას და ბოლომდე ახდენს მის რეალიზებას	8-10

ჯგუფური მუშაობისას ჯგუფის შეფასების ცხრილი	ქულაბი
ჯგუფის ყველა წევრს შეაქვს წვლილი დავალებისათვის თავის გარემოცვაში	0-1
ჯგუფის წევრები უსმენენ ერთმანეთს და იცავენ რიგითობას	0-1

მასწავლებლის სარეკომენდაციო ნიშნი

უცვლიან ერთანეთს იდეებსა და ინფორმაციას	0-1
ჯგუფის წევრები მხოლოდ საკითხის ირგვლივ მუშაობენ	0-1
ჯგუფის წევრები კარგად თანამშრომლობენ (არცერთი არ წარმართავს დისკუსიას, აზრის გამოხატვის თანაბარი პირობებია შექმნილი)	0-1
ჯგუფის წევრები საგნობრივად მართებულად ართმევენ თავს დავალებებს	0-1
ნაშრომის პრეზენტაციისას წარმოაჩენენ ნამუშევრის მთავარ იდეებს	0-1
ართმევენ თავს კრიტიკულ შეკითხვებს	0-1
პრეზენტაციის დროს იცავენ დროის ლიმიტს	0-1
საჭიროების შემთხვევაში ქმნიან და იყენებენ საგანთა შორის კავშირს	0-1

ჯგუფური მუშაობისას შეფასების მოდელი

	1-3	1-3	1-3	1-3
ჯგუფთან ადაპტირება	იზოლირებულია ჯგუფიდან, არ მონაწილეობს ჯგუფის წევრებს შორის ფუნქციების განაწილებაში	ბუნდოვნად აყალიბებს, რა უნდა და რისი გაკეთება შეუძლია	გააზრებული აქვს თავისი ფუნქცია. ახერხებს ჯგუფის წევრებთან შეთანხმებას	ზედმიწვევით აქვს გააზრებული თავისი ფუნქცია და უპრობლემოდ უთანხმდება ჯგუფის წევრებს
საკუთარი ფუნქციის შესრულება	ვერ ასრულებს თავის ფუნქციას	წარმოდგენა აქვს თავისი ფუნქციის შესახებ, მაგრამ პრაქტიკულად არ ახორციელებს	ასრულებს თავის ფუნქციას ნაწილობრივ	ასრულებს თავის ფუნქციას სრულყოფილად
სწრაფვა ლიდერობისაკენ	უცდის, როდის მიუთითებენ — რა გააკეთოს.	ცდილობს, რაც შეიძლება ნაკლები სამუშაო შეასრულოს. არ აინტერესებს ჯგუფის სხვა წევრების საქმიანობა	ინტერესდება ჯგუფის სხვა წევრების საქმიანობითაც, ცდილობს წარმართოს რაციონალურად	რაციონალურად წარმართავს ჯგუფის საქმიანობას. შეუძლია დარწმუნება კონკრეტული საკითხის განხილვისას

მოსწავლის თვითშეფასების სქემა

კრიტერიუმები	რეგულარულად	ხშირად	იშვიათად	არასოდეს
არ ვამჟღავნებ ინტერესს გაკვეთილის მსვლელობის მიმართ				
მაქვს აგრესიული დამოკიდებულება გაკვეთილის მსვლელობის მიმართ				
ხელს ვუშლი გაკვეთილის მსვლელობას				
დამოუკიდებლად ვერთვები გაკვეთილის მსვლელობაში				
ჩემი აქტიურობა სხვას არ უქმნის პრობლემებს				
ვიღებ მონაწილეობას ჯგუფურ და საკლასო დისკუსიებში				
ვასრულებ მასწავლებლის მიერ მოცემულ ინსტრუქციას				

შეფასება

სწავლის პროცესში, ძირითადად, გამოიყენება შეფასების ორი ტიპი: განმსაზღვრელი და განმავითარებელი.

განმსაზღვრელი შეფასება განსაზღვრავს კონკრეტულ კომპონენტში მოსწავლის მიღწევის დონეს. ამ დროს ფასდება არა მარტო ინფორმაცია, არამედ შეძენილი უნარ-ჩვევებიც.

ფასდება გაკვეთილის პროცესში ჩართულობა, საშინაო დავალების შესრულების ხარისხი საკლასო დავალებების შესრულება, პროექტის რაიმე ეტაპი, შეიძლება შეაფასოთ სხვადასხვა ტიპის აქტივობის მიხედვით და ა. შ.

ეს ყველაფერი მიმდინარე შეფასებებია.

შემაჯამებელი განმსაზღვრელი შეფასება არის რაიმე თემის დამთავრების ბოლოს, პროექტის ბოლოს მიღებული ნიშანი.

განმავითარებელი შეფასებით იგივე კომპონენტები ფასდება, ოღონდ სიტყვიერად, კომენტარით. რეკომენდაციების მიცემით — როგორ გააუმჯობესოს მოსწავლემ შედეგები.

ნიშნების და დონეების შესაბამისობა

- 10-9-8 — მაღალი დონე
- 7-6 — საშუალო
- 5-4 — დამაკმაყოფილებელი
- 3-2-1 — სუსტი

მცირე კომენტარი ინტერაქტიური სწავლების შესახებ

ინტერაქტიური სწავლების ანუ სწავლების აქტიური მეთოდების უმთავრეს ღირსებად ითვლება ის, რომ მოსწავლეები სასწავლო პროცესში სიამოვნებით და აქტიურად თანამშრომლობენ პედაგოგებთან, ეჩვევიან დამოუკიდებელ და ერთობლივ მუშაობას, აზროვნებას, მეტყველებას, მოქმედებენ უფრო აქტიურად და ლაღად, მასწავლებელში ხედავან დამხმარე თანამდგომ მეგობარს, რომელიც მზად არის დაეხმაროს თითოეულ მოსწავლეს პრობლემის გადაწყვეტაში.

აქტიური სწავლების მეთოდები ხელს უწყობს კრიტიკული აზროვნების განვითარებას.

კრიტიკული აზროვნება არის დამოუკიდებელი აზროვნება. კრიტიკული აზროვნება არის აქტიური პროცესი, რომელიც იწყება ინფორმაციის მიღებით, გააზრებით და მთავრდება ინფორმაციის შესახებ დასკვნების გამოტანით.

მოსწავლე აზროვნებს კრიტიკულად ნიშნავს, რომ მას შეუძლია ინფორმაციის მოძიება და გაანალიზება, ცოდნის სინთეზირება და ახლებურ სიტუაციაში მისი გამოყენება. საკუთარი აქტიური პოზიციის გამომუშავება, პრაქტიკული პრობლემების გადაჭრა.

კრიტიკულად მოაზროვნე ადამიანი ახდენს საკუთარი იდეების, შეფასებების ფორმულირებას, ამდენად კრიტიკული აზროვნება ინდივიდუალური ხასიათისაა. მოსწავლეს უნდა ჰქონდეს დრო და თავისუფლება იმისათვის, რომ იფიქროს და დამოუკიდებლად გადაჭრას ურთულესი საკითხები.

მასწავლებელმა უნდა მისცეს საშუალება მოსწავლეს, აქტიურად ჩაებას სასწავლო პროცესში, უნდა დააფასოს მოსწავლის განსხვავებული აზრის არსებობა, გამოხატოს პატივისცემა, წაახალისოს. კრიტიკული აზროვნებისათვის აუცილებელია, რომ მოსწავლეს განუვითარდეს საკუთარი ღირსების რწმენა.

კრიტიკული აზროვნების დაწყება ხდება პრობლემის შემჩნევით, დასმით და განხილვით. გაკვეთილზე პრობლემის წამოჭრა და პრობლემური სიტუაციის შექმნა განაპირობებს სწავლების მაღალ დონეს. ასეთ გაკვეთილზე ხშირად ისმის შეკითხვები: რატომ? თქვენ როგორ ფიქრობთ? რით შეგიძლიათ მისი დასაბუთება? კიდევ როგორ შეიძლებოდა საკითხის გადაწყვეტა? რა მოხდება, თუ ...?

მოსწავლეები მასწავლებლის ხელმძღვანელობით ადგენენ ფაქტებს შორის მიზეზ-შედეგობრივ კავშირებს, შეძენილი ცოდნის საფუძველზე გამომუშავებული უნარ-ჩვევების გამოყენებით წყვეტენ პრობლემებს. გამოაქვთ დასკვნები.

სწავლების სამფაზიანი მოდელი

I. გამოწვევა (პროვოცირება)

II. შინაარსის რეალიზება (წვდომა)

III. გააზრება (რეფლექსია)

I ეტაპზე, სწორად შერჩეული კითხვების მეშვეობით, მოსწავლეები აქტიურად იხსენებენ, რაც იციან განსახილველი საკითხის, მოვლენის შესახებ. მათ ინფორმაცია უნდა გაიაზრონ და ნააზრევი საკუთარი სიტყვებით, წერით და ზეპირი მეტყველებით გამოხატონ. ამ პროცესში აქტიური ჩაბმისას მოსწავლეები ახალს და უკვე ცნობილს აკავშირებენ ერთმანეთთან და გამომიშვებენ ახალ ცნებებს. განსაზღვრავენ საკითხის ან პრობლემის კვლევის მიზანს. (ეს შეიძლება მოხდეს მასწავლებლის მეშვეობით, ან ტექსტით იყოს ნაკარნახევი, ან თვით მოსწავლის მიერ მოფიქრებული).

II ეტაპზე მოსწავლეები ეცნობიან ახალ ინფორმაციას. ამ ფაზაზე უნდა მოხდეს თემის არსში სიღრმისეული წვდომა. მიზნის მისაღწევად საჭიროა დისკუსიის წარმართვა, სხვადასხვა თვალსაზრისის შედარება, კრიტიკული ანალიზი.

III ეტაპზე მთავარია, მოსწავლემ საკუთარი სიტყვებით გამოხატოს, გადმოსცეს, რაც გაიგო შესწავლის პროცესში. ამ ფაზაზე აუცილებელია მოსწავლეთა შორის აზრების გაცვლა-გამოცვლა. დისკუსიის წყალობით მათი აზროვნება უფრო მოქნილი და მიზანდასახული ხდება, ლექსიკა უფრო მდიდარი. ასე ვთქვათ, ისინი იძენენ ახალ ცოდნას.

კრიტიკულ აზროვნებაზე გამიჯნული გაკვეთილის დაგეგმვა

ფიქრები გაკვეთილის დაწყებამდე.

- მოტივაცია — რით არის ღირებული ეს გაკვეთილი? რა კავშირი აქვს იმასთან, რაც მე უკვე ვასწავლე და იმასთან რის სწავლებასაც ვაპირებ; როგორ უწყობს გაკვეთილი ხელს კრიტიკული აზროვნების განვითარებას.

- მიზნები — რა სახის კონკრეტულ ცოდნას გადავცემთ მოსწავლეებს; როგორ მოიხმარენ მოსწავლეები ამ ცოდნას?

- წინაპირობები — რა საფუძველი უნდა ჰქონდეს მოსწავლეს იმისათვის, რომ წარმატებით შეძლოს ცოდნის მიღება ასეთი ტიპის გაკვეთილიდან?

- შეფასება — როგორ დავრწმუნდეთ, რომ მოსწავლეები წარმატებით იღებდნენ ცოდნას.

- დაჯგუფება — როგორ დავაჯგუფოთ მოსწავლეები?

- დრო — როგორ უნდა განაწილდეს დრო სხვადასხვა ღონისძიებებზე.

ფიქრები გაკვეთილის პროცესში

- მეხსიერების პროვოცირება — როგორ შევუწყოთ ხელი მოსწავლეებს კითხვებისა და სასწავლო მიზნების ჩამოყალიბებაში? როგორ შევამოწმოთ მათი ცოდნა?

- შინაარსის რეალიზაცია — როგორ ჩასწვდებიან მოსწავლეები შინაარსს (სტრატეგია); როგორ გააკონტროლებენ ისინი შინაარსში ჩადებულ გეგმა-მიზანს?

- გააზრება — როგორ გამოიყენებენ მოსწავლეები გაკვეთილზე შეძენილ ცოდნას? როგორ გამოიყენებენ ისინი ახლად შეძენილ ცოდნას — გაცემენ პასუხს დარჩენილ კითხვებს და გადაჭრიან დამოუკიდებლად საკამათო საკითხებს?

ფიქრები გაკვეთილის შემდეგ

- განვრცობა — როგორი ცოდნის შეძენას შეუწყობს ხელს ეს გაკვეთილი შემდგომში? რა უნდა ქნან მოსწავლეებმა გაკვეთილის დასრულების შემდგომ?

ზოგადად ყოველ გაკვეთილზე მასწავლებლის მიზანია, მოსწავლემ

1. მიიღოს ინფორმაცია. 2. გაიგოს. 3. გამოიყენოს. 4. შეძლოს ანალიზი.

5. შეძლოს სინთეზი. 6. შეაფასოს.

ბლუმის ტაქსონომიის ძირითადი დონეები

I დონე — ცოდნა (უკვე შეძენილი) ამ დონეზე ხდება შესწავლილი მასალის გახსენება.

II დონე — გაგება (მასალის, ნასწავლის, შეძენილი ცოდნის არსში წვდომის უნარი).

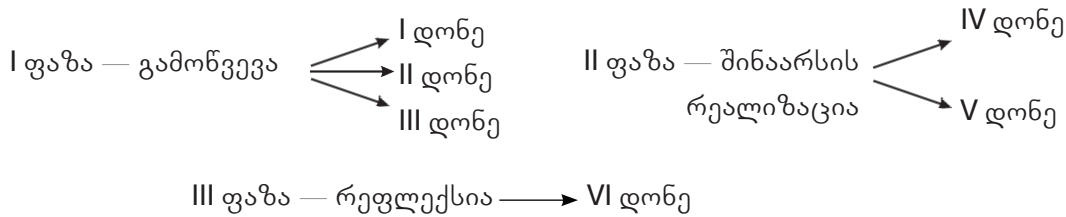
III დონე — ნასწავლი მასალის ახალ და კონკრეტულ სიტუაციებში გამოყენების უნარი.

IV დონე — ანალიზი.

მასწავლებლის სარეკომენდაციო ნიშნი

V დონე — ნაწილების დაკავშირების და ერთ მთლიანობად ჩამოყალიბების უნარი.

VI დონე — შეფასება (რამდენად ღირებულია მასალა მოცემული მიზნისთვის).



ზოგიერთი მეთოდის და სტრატეგიის მოკლე მიმოხილვა

კრიტიკული აზროვნების განვითარების ხელშეწყობი მეთოდი არის ის, რაც მოიცავს სა-
მივე ფაზას. სტრატეგია არის ის, რაც გათვლილია მხოლოდ ერთ ფაზაზე.

1. მეთოდი — „ვიცი, ვისწავლე, მინდა ვიცოდე.“

ვიცი	ვისწავლე	მინდა ვიცოდე

ამ მეთოდის გამოყენება შეიძლება თემის დასაწყისში, კონკრეტულ გაკვეთილზე და თემის
შეჯამებისას.

თემის დასაწყისში გამოყენებისას ვიქცევით შემდეგნაირად:

ახალი თემის დაწყებისას მასწავლებელი ყოველთვის აცნობს მოსწავლეებს შესასწავლი
საკითხების ჩამონათვალს. ხშირად, მოსწავლეებს ამ საკითხების შესახებ რაღაც გარკვეული
წარმოდგენა აქვთ ხოლმე. მოსწავლეები იხსენებენ რაც იციან და წერენ პირველ გრაფაში.
მესამე გრაფაში წერენ, რისი შესწავლა სურთ, რამ დააინტერესათ.

რაც შეეხება მეორე გრაფას, ივსება ყოველი ახალი გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ, თემის
დასრულებამდე. ბოლოს მოხდება შეჯამება, ისწავლეს თუ არა ის, რისი შესწავლაც სურდათ.

თუ ამ მეთოდს იყენებთ თემის შეჯამებისას, მაშინ სჯობს, პირველ გრაფაში ეწეროს „ვი-
ცოდი“. მოსწავლე პირველ გრაფაში აფიქსირებს რა იცოდა სანამ თემის შესწავლას დაიწ-
ყებდა, II გრაფაში — რა ისწავლა გზადაგზა და III გრაფაში ჩაწერს, კიდევ რისი შესწავლა
უნდოდა ამ თემასთან დაკავშირებით.

ამ მეთოდით მიმდინარე გაკვეთილის ჩატარებისას მასწავლებელი ასახელებს კონკრე-
ტულ საკითხს, რომელსაც განიხილავენ გაკვეთილზე. მოსწავლე ცხრილის პირველ გრაფაში
დააფიქსირებს, რა იცის ამ საკითხის შესახებ, შემდეგ კითხულობს ტექსტს. მასწავლებელი
ახდენს ტექსტზე მუშაობის ორგანიზებას. მასწავლებელი სვამს შეკითხვებს ახალი გაკვეთი-
ლის ირგვლივ. მოსწავლე მონაწილეობას იღებს დისკუსიაში. ჯგუფთან ერთად მსჯელობს
შესრულებული სამუშაოს შესახებ.

შემდეგ ავსებს ცხრილის მე-2 გრაფას.

ბოლოს მოსწავლეები აფიქსირებენ, კიდევ რისი შესწავლა სურთ ამ საკითხის შესახებ.

2. მეთოდი — „პაუზებით კითხვა“.

ეს მეთოდი გულისხმობს მასალის შესწავლას პაუზებით. შინაარსი იყოფა აზრობრივ ერთეულებად (ნაწილებად). თითოეული ნაწილის წაკითხვის შემდეგ მასწავლებელი აწყობს მის განხილვას წინასწარ შემუშავებული გეგმის მიხედვით. მოსწავლეები მასწავლებლის ხელმძღვანელობით ტექსტში აღნიშნავენ ახალ ცნებებს, ძირითადად გამოყოფენ მეორეხარისხოვანისაგან, აყალიბებენ წაკითხულის ძირითად იდეას.

ამ შემთხვევაში ტექსტის პირველი ნაწილის რეფლექსია არის გამოწვევა ტექსტის მომდევნო ნაწილისთვის. შემდეგ მეორდება ისევე, როგორც პირველ შემთხვევაში. ყველა ნაწილის წაკითხვის შემდეგ ხდება შეჯამება და დისკუსია წაკითხულის ირგვლივ.

3. სტრატეგია — T სქემა.

T-სქემა არის სქემის მეშვეობით ინფორმაციის ორგანიზების მრავალმხრივი სავარჯიშო. T-სქემა საშუალებას იძლევა პრობლემის გადაჭრისას წარმოშობილი კონტრასტული არგუმენტები (კი — არა) გარკვევით იყოს წარმოდგენილი.

იხაზება ცხრილი

დამადასტურებელი (მომხრე)	უარმყოფელი (საწინააღმდეგო)
არგუმენტები	არგუმენტები

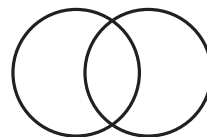
ცხრილში ჩამოიწერება პრობლემის გადასაწყვეტად გამოთქმული აზრის მომხრე და საწინააღმდეგო არგუმენტები. შემდეგ მოხდება ამ არგუმენტების განხილვა, გაანალიზება. T სქემით ადვილდება მოსწავლეთათვის ანალიზის ჩატარება და მოსწავლეები სწავლობენ ერთი და იმავე საკითხის ანალიზისას არგუმენტებისა და კონტრარგუმენტების მოყვანას, ანალიზს და გადაწყვეტილების დამოუკიდებლად მიღებას.

სტრატეგია — Venn-ის დიაგრამა

Venn-ის დიაგრამა შედგება ორი ან მეტი ერთმანეთზე გადაფარული წრისგან. ის გამოდგება ინფორმაციების შედარების სადემონსტრაციოდ.

გადაკვეთაში იწერება მსგავსება

აქეთ-იქით განსხვავება



ეს სტრატეგია რომ გამოიყენოს, მოსწავლემ უნდა იცოდეს, რას ნიშნავს ორი საგნის შედარება. შედარება ნიშნავს:

1. დავადგინოთ პირველი საგნის არსებითი ნიშნები;
2. დავადგინოთ მეორე საგნის არსებითი ნიშნები;
3. ორივე საგნის არსებით ნიშნებში მოვძებნოთ ურთიერთმსგავსი;
4. შედარების შედეგები ჩამოვაყალიბოთ სიტყვიერად ან წერილობით;
5. ორივე საგნის არსებით ნიშნებში მოვძებნოთ ურთიერთგანსხვავებული;
6. შედარების შედეგები ჩამოვაყალიბოთ სიტყვიერად ან წერილობით.

მასწავლებლის სარეკომენდაციო ნიშნი

პრობლემური თხრობა

ამ მეთოდით მასალის ახსნას თან სდევს კითხვები: რატომ? თქვენ როგორ ფიქრობთ? ამ დროს მოსწავლეებს ევალუატირებათ დამოუკიდებლად, მსჯელობის გზით, კრიტიკულად გაიაზრონ მოვლენის არსი, გამოთქვან საკუთარი აზრი.

მასწავლებელი აღწერს ფაქტებს, მოვლენებს. მოსწავლეებს კი გამოაქვთ დასკვნები ადრე მიღებული ცოდნისა და ლოგიკური მსჯელობის საფუძველზე.

რა თქმა უნდა, მასწავლებლის მიერ დასმული პრობლემის სირთულე უნდა შეესაბამებოდეს მოსწავლეთა შესაძლებლობებს.

მასალის თანმიმდევრულად და ლოგიკურად გააზრებისთვის, აგრეთვე, იმის გასარკვევად, როგორ გაიგეს მოსწავლეებმა მიწოდებული მასალა, მასწავლებელი სვამს შეკითხვებს.

შეკითხვის ტიპი	მოსწავლის ქმედება
ჰიპოთეზური	მოსწავლე სწავლობს ვარაუდის გამოთქმას, უფიქრობს ნარმოსახვის უნარი.
შემაჯამებელი	მოსწავლე არკვევს, რამდენად სწორად გაიგო მასალა.
განსჯითი	მოსწავლე აზროვნებს დამოუკიდებლად, ფიქრობს, მსჯელობს. ახდენს ინფორმაციის ინტერპრეტაციას.
კვლევითი	მოსწავლეს უფიქრობს ანალიზის, ინფორმაციის კლასიფიკაციის და საკუთარი აზრის დასაბუთების უნარი.

უფრო დანერგვით აზროვნების დონეების შესახებ

ცოდნა

- . ფაქტების, წესების პრინციპების, თეორიების, თარიღების, პროცესების, ობიექტების, სტილის, მოვლენების ცნობა და დასახელება
- . კონკრეტული მონაცემების, ტერმინოლოგიის, პროცედურების ცოდნა
- . ინფორმაციის მოძიების პროცედურების ცოდნა
- . კონკრეტულ მონაცემებთან მუშაობის ხერხების და საშუალებების ცოდნა: ა) წესების და კანონების ცოდნა; ბ) კლასიფიკაციებისა და კატეგორიების ცოდნა; გ) კრიტერიუმების ცოდნა; დ) მეთოდების ცოდნა;
- . სმენითი, წერილობითი და გრაფიკული ინფორმაციის დამახსოვრება და გახსენება მსგავსი ან ზუსტი ფორმით

გაგება

- . ფაქტების, წესების, პრინციპების, თეორიების, პროცესების, ობიექტების, სტილის, მოვლენების საკუთარი სიტყვებით აღწერა
- . ტექსტის ძირითადი აზრის საკუთარი სიტყვებით ახსნა მშობლიურ ენაზე
- . ტექსტის შინაარსის გაგებაზე მიმართულ კითხვაზე პასუხის გაცემა
- . სმენითი, წერილობითი და გრაფიკული ინფორმაციის ერთი ფორმიდან მეორეში გადატანა

- . შესაბამისი მაგალითის მოყვანა
- . ობიექტების, მოვლენების, პროცესებისა და სტილის თვალსაჩინო ნიშნით დახარისხება და დაჯგუფება.

გამოყენება

- . ცოდნის სხვადასხვა სიტუაციაში (კონტექსტში) მოხმარება
- . მოდელის მიხედვით (ნასწავლი წესის მიხედვით) დავალების, სამუშაოს შესრულება
- . პროცედურის განხორციელება
- . კანონზომიერების მოქმედების ფარგლების განსაზღვრა

ანალიზი

- . მასალის (სტრუქტურის) შემადგენელ ნაწილებად დაყოფა, ნაწილების შედარება-შეპირისპირება, ნაწილებს შორის კავშირის ან სტრუქტურის დანახვა
- . მოვლენის მიზეზის ახსნა (დაფარული აზრის აღმოჩენა)
- . პროცესის კანონზომიერების გამოვლენა
- . მიზეზებსა და შედეგს შორის კავშირების დადგენა

სინთეზი

- . ნაწილების შეერთება ახალი სტრუქტურის (მაგ. ტექსტის) შესაქმნელად
- . ჰიპოთეზის წამოყენება
- . კვლევის ან რეფერატის დაგეგმვა
- . შემოქმედებითი პროდუქტის შექმნა
- . პრობლემის გადაჭრის ალტერნატიული გზების წამოყენება
- . პრობლემის გადაჭრისათვის საჭირო მოქმედებების დაგეგმვა
- . ახალი პროდუქტის (ინტელექტუალური ან მატერიალური) შექმნა ან გამოგონება

შეფასება

- . საკუთარი პოზიციის (არჩევანის) არგუმენტირებული დასაბუთება
- . გარკვეულ კრიტერიუმებზე ან სტანდარტებზე დაყრდნობით დასკვნების გამოტანა
- . პოზიციისა და მისი კონტრარგუმენტების განხილვის საფუძველზე დასკვნის გამოტანა
- . პრობლემის გადაჭრის რამდენიმე გზიდან ერთ-ერთის არჩევის მართებულობის დასაბუთება
- . მოდელის (სისტემის) მოქმედების შეფასება
- . მტკიცებულების (თეორიის, პრეზენტაციის) ღირებულების (მნიშვნელოვანების) დაზუსტება
- . რამდენად შეესაბამება მიღებული დასკვნა იმ მონაცემებს, რომელთა საფუძველზეც დასკვნა გაკეთდა (მონაცემებისა და დასკვნების შესაბამისობის დადგენა).

სააზროვნო უნარ-ჩვევები

1. ცოდნის (ინფორმაციის) გაცნობა

. სპეციფიური ფაქტების, იდეებისა და ლექსიკონის მოძიება და მსგავსი ფორმით დამახსოვრება

2. ინფორმაციის გაგება

. ნასწავლი მასალის მნიშვნელობის წვდომა
. ნასწავლის წარდგენა და ინტერპრეტაცია

3. გამოყენება

. ადრე ათვისებული ცოდნის გამოყენება პრაქტიკული და ახალი გზით

4. ანალიზი

. ცოდნის ან იდეების მცირე ნაწილებად დაყოფა
. კავშირების დანახვა
. დამახასიათებელი ნიშნების მოძებნა

5. სინთეზი:

. ნაწილების შეერთება მთელის შესაქმნელად
. შექმნა, აგება, განვითარება, ახლის დანახვა

6. შეფასება

. არჩეულ კრიტერიუმებზე, სტანდარტებზე და პირობებზე დაყრდნობით მსჯელობა ან გადანყვეტილების მიღება

7. კრიტიკული აზროვნება

. ერთდროულად ორ ან მეტ განსხვავებულ მოსაზრებაზე ფიქრი
. ორივე მოსაზრების გაგება
. რაიმე შეხედულების სასარგებლო არგუმენტების აგება სხვა შეხედულების საფუძველზე
. იმის გაცნობიერება, რომ სხვასაც შეიძლება თავისი მოსაზრება ჰქონდეს.

8. შემოქმედებითი აზროვნება

. პრობლემის აღმოჩენა და ჩამოყალიბება
. პროდუქტიულობა — დიდი რაოდენობით იდეების გენერირება
. მოქნილობა — განსხვავებული იდეების გენერირება
. ორიგინალურობა — არასტანდარტული პასუხების გაცემა
. ობიექტის სრულყოფა, დეტალების დამატება

9. თვითშემეცნება

. საკუთარი და სხვისი სააზროვნო პროცესების ანალიზი
. აზროვნება აზროვნების პროცესის შესახებ და აზროვნება იმის შესახებ, თუ როგორ ვფიქრობთ და როგორ ვსწავლობთ

კვლევის უნარ-ჩვევები

1. საკითხის (პიპოთეზის) დასმა

. საჭიროებების იდენტიფიკაცია, შესატყვისი კითხვების დასმა და პასუხის მოძიება

2. დაკვირვება

. საჭირო დეტალების შემჩნევა ყველა შესაძლო გზით

3. დაგეგმვა

. აქტივობათა თანმიმდევრობის განვითარება

- . ზოგადი სქემის შექმნა
- . აუცილებელი ინფორმაციის მოძიების გზების გამოკვეთა

4. მონაცემების შეგროვება

- . ინფორმაციის შეგროვება სხვადასხვა წყაროებიდან, როგორცაა გაზეთი, რუკა, გამოკითხვა, კვლევა, პირდაპირი დაკვირვება, ნიგნები, ფილმები ადამიანები და გამოფენები

5. მონაცემების ჩანერა

- . დაკვირვებების ჩანერა სხვადასხვა საშუალებებით: ჩახატვა, შენიშვნების გაკეთება, ცხრილები და გაანგარიშება.

6. მონაცემთა ორგანიზება

- . ინფორმაციის დახარისხება და კატეგორიზაცია
- . ინფორმაციის გასაგები ფორმით დახარისხება: თხრობითი აღწერა, დროის ცხრილი, გრაფები და დიაგრამები.

7. მონაცემთა ინტერპრეტაცია

- . დასკვნების გამოტანა ორგანიზებული მონაცემების საფუძველზე

8. კვლევის შედეგების პრეზენტაცია

- . შესწავლილის ეფექტურად წარდგენა
- . შესატყვისი საინფორმაციო საშუალების შერჩევა

• დაკვირვება, აღწერა	შეგრძნების ორგანოების და მარტივი ხელსაწყოების საშუალებით ობიექტების და მოვლენების მახასიათებლების განსაზღვრა
• აღრიცხვა	დაკვირვების შედეგის ჩანერა, ჩახატვა, სხვ.
• კლასიფიკაცია	ობიექტების და მოვლენების დაჯგუფება მათი მახასიათებლების მიხედვით
• გაზომვა/სიდიდეების გამოყენება	შესაბამისი საზომი ერთეულების გამოყენებით რაოდენობრივი აღწერა სივრცითი და დროითი ურთიერთობების განსაზღვრა ცვლადი მახასიათებლების გამოვლენა
• კომუნიკაცია	წერიტი და ზეპირი მეტყველების, გრაფიკების, ცხრილების, დიაგრამების და პრეზენტაციის სხვა საშუალებათა (მათ შორის ტექნოლოგიაზე დამყარებული) გამოყენება
• განჭვრეტა/ჰიპოთეზის გამოთქმა	მოსალოდნელი შედეგების თაობაზე ვარაუდის გამოთქმა
• დაგეგმვა	ქმედებების თანმიმდევრობის განსაზღვრა
• ცდის ჩატარება	მეთოდის შერჩევა და ექსპერიმენტული მონაცემების შეგროვება
• მონაცემების ინტერპრეტაცია	საკუთარი ან სხვის მიერ მიღებული მონაცემების ანალიზი, განზოგადება
• მოდელის შექმნა და გამოყენება	მოვლენის მოდელირება

1. მოსმენა

- . ინსტრუქციის მოსმენა
- . სხვების მოსმენა
- . ინფორმაციის მოსმენა

2. ლაპარაკი

- . ნათლად საუბარი
- . მცირე და დიდი ჯგუფებისთვის ზეპირი ანგარიშის მიცემა
- . იდეების ნათლად და ლოგიკურად გამოხატვა
- . საკუთარი მოსაზრების გამოთქმა

3. კითხვა

- . სხვადასხვა წყაროების კითხვა ინფორმაციის მიღების მიზნით
- . წაკითხულის გაგება
- . გადაწყვეტილების მიღება და დასკვნების გამოტანა

4. წერა:

- . ინფორმაციის და დაკვირვებების ჩანერა
- . შენიშვნების და პარაფრაზის გაკეთება
- . საბოლოო დასკვნის დაწერა
- . ანგარიშის დაწერა
- . საკუთარი აზრის წერილობით გადმოცემა
- . ჩანაწერების რეგულარული შექმნა

5. არავერბალური კომუნიკაცია

- . მხედველობითი და ტაქტილური (შეხებითი) კომუნიკაციის მნიშვნელობის ცნობა

6. ინფორმაციის ტრანსფორმაცია

- . მხედველობითი, ტაქტილური (შეხებითი) და სმენითი ინფორმაციის გარდაქმნა
- . სხვადასხვა სახით მოცემული წერილობითი ინფორმაციის გარდაქმნა (მაგალითად, თხრობითი ფორმიდან ცხრილში და სქემაში ან პირიქით)

7. სპეციფიური ენის ფლობა

- . სხვადასხვა მეცნიერებების სამეცნიერო აპარატის ფლობა და სიმბოლოებით ოპერირება

ჩვევები მასწავლებლისთვის

კლასში ყოველთვის არიან მოსწავლეები, რომლებსაც განსხვავებული შესაძლებლობები და უნარი გააჩნიათ. ამის მიხედვით მათ სხვადასხვანაირი მიდგომა ესაჭიროებათ. სავარაუდოდ, მოსწავლეები ასე შეიძლება დაყოთ: (ეს ხდება მხოლოდ საკუთარ ფიქრებსა და ჩანაწერებში).

ძნელად აღსაზრდელი ბავშვები

შეზღუდული შესაძლებლობების ბავშვები

რაიმე მიზეზით სასწავლო პროგრამას ჩამორჩენილი ბავშვები.

განსაკუთრებული ნიჭით დაჯილდოებული ბავშვები

ბავშვები, რომლებიც მეტ ინტერესს იჩენენ ფიზიკის შესწავლისადმი.

ყოველი გაკვეთილის წინ უნდა დაფიქრდეთ, როგორ მოახერხებთ გაკვეთილის წარმართვას ისე, რომ ყველა ტიპის მოსწავლე იყოს ჩართული გაკვეთილის პროცესში.

ყოველი გაკვეთილის წინ განსაზღვრეთ ამ გაკვეთილის სასწავლო მიზნები, რომელიც მოიცავს იმ ცოდნას და უნარჩვევებს, რომელიც უნდა შეიძინონ მოსწავლეებმა.

განსაზღვრეთ, რომელი შედეგისა და ინდიკატორის მიღწევას უნყობს ხელს მოცემული გაკვეთილი.

დაგეგმეთ გაკვეთილის პროცესი. ანუ ჩამოყალიბდით, რა აქტივობებს გამოიყენებთ გაკვეთილზე და რა დროს დაუთმობთ თითოეულს. როგორ მოახდენთ მოსწავლეთა ორგანიზებას.

წინასწარ განსაზღვრეთ, შეფასების რა ტიპებს გამოიყენებთ.

წინასწარ განსაზღვრეთ, რა დაგჭირდებათ და გაამზადეთ ცდისთვის საჭირო ინვენტარი და თვალსაჩინოება.

წინასწარ განსაზღვრეთ, რომელი სავარჯიშოები უნდა შესრულდეს გაკვეთილზე, რომელი — შინ.

დაფიქრდით, საკმარისია თუ არა სახელმძღვანელოში მოცემული სავარჯიშოები მიზნის მისაღწევად.

ყოველთვის შეგიძლიათ შეცვალოთ ან მოიფიქროთ დამატებითი სავარჯიშო, ასევე აქტივობები.

თქვნი ძირითადი მიზანია, ხელი შეუწყოთ „აქტიურ“ სწავლას ანუ სწავლას მოქმედებით, რაც უნარ-ჩვევების შეძენასაც გულისხმობს.

უნარი არის ინდივიდის მიერ ამა თუ იმ მოქმედების მაღალხარისხოვნად, ეფექტურად შესრულება შესაძლებლობების, გარკვეული პირობებისა და ამოცანების შესაბამისად.

ჩვევა სწავლა-აღზრდის პროცესში ყალიბდება და მოქმედების მრავალგზის გამეორების შედეგია. უნარის ჩვევაში გადასვლა ცოდნის შეთვისების მაღალი დონის მაჩვენებელია.

აი, იმ არსებითი **უნარ-ჩვევების ჩამონათვალი**, რომელიც „აქტიური“ სწავლის პროცესში გამომუშავდება.

- . კომუნიკაცია (კითხვა, წერა, გრაფიკა, ლაპარაკი)
- . საინფორმაციო და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების გამოყენება
- . პრობლემის გადაჭრა-გადაწყვეტილების მიღება
- . კრიტიკული აზროვნება
- . ურთიერთობის უნარ-ჩვევები (ჯგუფური მუშაობა)
- . პერსონალური უნარ-ჩვევები (სწავლის პროცესისა და თავის წარმოჩენის გაუმჯობესება).

თითოეული პარაგრაფი შეიცავს სხვადასხვა დონის ტექსტურ დავალებებს — შეკითხვებს ან სავარჯიშოებს. გაკვეთილის ახსნის პროცესში ყველა მოსწავლე რომ იყოს ჩართული სასურველია, მარტივი შეკითხვები სუსტ მოსწავლეებს მისცეთ ხოლმე. რა თქმა უნდა ეს არ ნიშნავს იმას, რომ თუ მათ უფრო რთულ შეკითხვაზე სურთ აზრის გამოთქმა, არ მისცეთ ამის საშუალება.

საკლასო დავალებების მიცემისას, თუ აშკარად იცით, რომ კონკრეტული მოსწავლისთვის ძალიან რთულია ეს დავალება, შეურჩიეთ უფრო მარტივი, ის დაკავებულიც იქნება და სტიმულიც მიეცემა, არ გაუჩნდება ის შეგრძნება, რომ მაინც ვერ გააკეთებს.

საშინაო დავალებების მიცემისას გაითვალისწინეთ ჩვენი ამოცანათა კრებულის მრავალფეროვნება და მოსწავლეთა დონის შესაბამისად შეარჩიეთ დავალებები.

მოსწავლეები ერთმანეთისგან სწავლის სტილის მიხედვითაც განსხვავდებიან. დააფასეთ და შეაფასეთ იმის მიხედვით, რისი გაკეთებაც შეუძლიათ, აუცილებელია და ძალიან კარგად მოქმედებს განმავითარებელი შეფასებები.

თუ მოსწავლე აცდენდა გაკვეთილებს, საჭიროა აღადგინოს გაცდენილი გაკვეთილები. მას დამოუკიდებელად მოუხდება მეცადინეობა. თქვენ კი შეამონმეთ ხოლმე, რამდენად სწორად აკეთებს. მიუთითეთ შეცდომებზე და აუხსენით. პარაგრაფის ბოლოს მოცემული დასკვნები დაეხმარება განსაზღვროს თითოეული პარაგრაფიდან რა ცოდნა უნდა მიეღო. ეცადეთ, ასეთი მოსწავლე გაკვეთილის ახსნის პროცესში უმოქმედოდ არ იყოს. მას შეფასებისას დაუსვით შეკითხვები იმ მასალიდან, რომელიც უკვე აღადგინა.

სამწუხაროდ, მოსწავლეთა უმრავლესობისთვის ინტერნეტით სარგებლობა მიუწვდომელია. არსებობს ენის ბარიერიც.

მოსწავლეებმა ამა თუ იმ საკითხის შესახებ საჭირო ინფორმაცია შეიძლება მოიპოვონ სხვადასხვა სახის ენციკლოპედიებში, მაგალითად, ბაკურ სულაკაურის გამომცემლობის „მეცნიერების ენციკლოპედია“ (ენციკლოპედია + ინტერნეტი), ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია და სხვა. აგრეთვე ფიზიკის სახელმძღვანელოების წინა გამოცემებში.

იმ მოსწავლეებმა კი, ვისაც აქვს სურვილი და შესაძლებლობა, ისარგებლონ ინტერნეტით, ურჩიეთ გამოიყენონ ვებგვერდები:

www.en.wikipedia.org, www.google.com, www.yahoo.com, www.rambler.ru, www.yandex.ru
<http://analemma.ge>

პრობლემური ამოცანების შესახებ

მოკლე ინფორმაცია მასალიდან „პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება“, რომელიც მომზადებულია ეროვნული სასწავლო გეგმების და შეფასების ცენტრის მიერ.

ბუნებისმეტყველებაში ამოცანა პრობლემურია, თუ

1. მოსწავლეს უხდება არჩევანის გაკეთება (მაგალითად, მრავალპასუხიანი ტესტიდან სწორი პასუხის შერჩევა ან თუ არსებობს პრობლემის გადაჭრის გზის რამდენიმე ალტერნატიული პასუხი, ერთ-ერთის ამორჩევა).

2. მოსწავლეს უხდება გადაწყვეტილების მიღება.

3. მოსწავლეს ევალება ობიექტების და მოვლენების აღწერა და დახასიათება, მონაცემების ანალიზი.

4. მოსწავლეს ევალება სტრუქტურებისა და მოვლენების შორის კავშირის დამყარება.

5. თეორიული ცოდნის რეალურ სიტუაციაში გამოყენებით მოსწავლეს მოეთხოვება კანონზომიერებიდან გადახრის აღმოჩენა.

6. მოეთხოვება გარკვეული კანონზომიერების დადგენა შემჩნეული მოვლენის, ფაქტების ან მონაცემების საფუძველზე.

პრობლემური ამოცანის ამოხსნისას, დასმული პრობლემა უბიძგებს მოსწავლეს მოიძიოს ინფორმაცია და პრობლემის გადაჭრის პროცესში შეიძინოს ახალი ცოდნა.

ცოდნის შეძენა ხდება შემდეგნაირად: სათანადო, მისახვედრი კითხვების დახმარებით მოს-

წავლე ჯერ ახდენს პრობლემის ინტერპრეტირებას, შემდეგ აგროვებს საჭირო ინფორმაციას, გამოთქვამს ვარაუდს, აფასებს და ადარებს შესაძლო შედეგებს და გამოაქვს დასკვნა.

მასწავლებელი ეხმარება, ხელს უწყობს მოსწავლეს ამ პროცედურის განხორციელებაში — პრობლემის გადაჭრაში.

პრობლემური ამოცანების ამოხსნა ავითარებს ჯგუფური მუშაობის, თანამშრომლობის, კომუნიკაციის, კრიტიკული და შემოქმედებითი აზროვნების უნარ-ჩვევებს.

შეიძლება გამოვყოთ **პრობლემის გადაჭრის საფეხურები**

1. პრობლემის მოძებნა, გაგება და გამოკვლევა

2. სტრატეგიის პოვნა

3. სტრატეგიის გამოყენება პრობლემის გადასაჭრელად

4. შედეგების შემოწმება და შეფასება.

შენიშვნა: ამ შემთხვევაში **სტრატეგია არის ორგვარი: კრიტიკული აზროვნება და შემოქმედებითი აზროვნება.**

კრიტიკულ აზროვნებას აგრეთვე უწოდებენ ლოგიკურ ან ანალიტიკურ აზროვნებას.

კრიტიკული აზროვნება ნიშნავს ერთდროულად ორ ან მეტ განხვავებულ მოსაზრებაზე ფიქრს, სხვადასხვა მოსაზრების გაგებას, რაიმე შეხედულების დასაბუთებას სხვადასხვა მიდგომების საფუძველზე. კრიტიკული აზროვნების დროს ხდება მთლიანი სიტუაციის გაანალიზება და არსებული მტკიცებულებების საფუძველზე მოსაზრების შეცვლა ან ახალი მოსაზრების მიღება...

შემოქმედებითი აზროვნება ნიშნავს რაიმეს ახალი გზით კეთებას ან დანახვას.

შემოქმედებითი აზროვნება ხასიათდება იდეების მრავალრიცხოვნებით, მრავალფეროვნებით (მოქნილობა, საკითხის სხვადასხვა კუთხით დანახვა) მათი სიახლით (ორიგინალობით) და გარდაქმნის უნარით (ძველი იდეების საფუძველზე ახლის შექმნით).

ორიგინალობა ნიშნავს არაჩვეულებრივი პასუხების შექმნის უნარს.

მოქნილობა ნიშნავს ობიექტის ფუნქციის გამოყოფას და ახლებური გამოყენების უნარს.

ობიექტის ფორმის შეცვლას და მასში ახალი შესაძლებლობების გამოყოფის უნარს.

განუსაზღვრელ სიტუაციაში მრავალფეროვანი იდეების გენერირებას.

გაკვეთილის გამოკითხვის შესახებ

ხშირად მშობელი, მოსწავლე და, ხანდახან, მასწავლებელიც სვამენ შეკითხვას — უნდა მოყვეს თუ არა მოსწავლე გაკვეთილს და რას ან როგორ მოყვეს?

ჩვენი აზრით, გაკვეთილის თავიდან ბოლომდე მოყოლა საჭირო არ არის.

იცის თუ არა მოსწავლემ გაკვეთილი, სხვადასხვა მეთოდით შეიძლება შემოწმდეს.

გაკვეთილის ახსნის პროცესში ცალკეულ შეკითხვებზე პასუხის გაცემით და სხვადასხვა აქტივობებით მოსწავლე სწავლობს კონკრეტულ საკითხზე აზრის გამოთქმას, მსჯელობას და დასკვნების გამოტანას.

გამოკითხვის პროცესში მოსწავლე ეჩვევა ტექსტურ შეკითხვებზე პასუხების, მასწავლებლის კომენტარების, ტექსტის შესაბამისი ნაწილის და დასკვნების გაერთიანებას. ერთ საკითხად ჩამოყალიბებას და ლოგიკურად გადმოცემას.

ყოველი პარაგრაფი ასეთი საკითხების „ეპიზოდების“ ერთობლიობას წარმოადგენს. ამ ნიშნის მეორე ნაწილში, სადაც კითხვებზე პასუხია გაცემული და კომენტარებია გაკეთებული, მოცემულია მათი ჩამონათვალი.

გამოვეითხოთ ცალკეული ეპიზოდები. თანაც მოსწავლეები ეჩვევიან ტექსტის დამუშავებას. ასე უფრო მეტი მოსწავლე მიიღებს მონაწილეობას.

ჩვენ, რა თქმა უნდა, არ ვგულისხმობთ, რომ ყოველთვის ასე გამოიკითხოთ მასალა. შეიძლება შეამოწმოთ მხოლოდ ინფორმაციული ცოდნა კითხვაზე-პასუხის მეშვეობით. შეიძლება გამოიყენოთ კონკრეტული ტექსტური დავალება მოსწავლის აზროვნების ან რაიმე უნარის შესაფასებლად.

პროექტის შესახებ

განსაკუთრებით მაღალი დონის კვლევითი უნარების ფორმირებისათვის ხშირად გამოიყენება „პროექტით სწავლების ფორმა“.

„პროექტით სწავლების ფორმა“ მოიცავს ექვს ეტაპს:

- მომზადება
- დაგეგმვა
- გამოკვლევა
- შედეგები და დასკვნები
- შედეგის წარმოდგენა
- შედეგისა და პროცესის შეფასება

განვიხილოთ თითოეული ეტაპის შინაარსი, მისი თავისებურებები და ეტაპის ორგანიზებისათვის საჭირო მეთოდика.

1. მომზადება:

პროექტის ეს სტადია გულისხმობს თემისა და პროექტის მიზნის განსაზღვრას.

მასწავლებელი აცნობს მოსწავლეებს ზოგადად პროექტის არსს და ეხმარება კონკრეტული პროექტის მიზნის განსაზღვრაში. შემდეგ კი ხდება პროექტის შინაარსის მიმოხილვა მოსწავლეებთან ერთად. აუცილებლობის შემთხვევაში მასწავლებლისაგან იღებენ დამატებით ინფორმაციას.

2. დაგეგმვა.

ეს სტადია რამდენიმე ეტაპს მოიცავს:

- ა. ინფორმაციის წყაროს განსაზღვრა.
- ბ. ინფორმაციის მოპოვების ხერხებისა და ინფორმაციის ანალიზის საშუალებების განსაზღვრა.
- გ. შედეგების წარმოდგენის ხერხის განსაზღვრა (ანგარიშის ფორმა).
- დ. პროექტის შეფასების პროცედურისა და კრიტერიუმების დადგენა.
- ე. ამოცანების (მოვალეობების) განაწილება მომუშავე ჯგუფის წევრებს შორის.

მასწავლებელი მოსწავლეებს აწოდებს იდეას (ცხადია, უმჯობესია, თუ იდეის ავტორი იქნება მოსწავლე), გამოთქვამს ვარაუდებს. მოსწავლეები კი შეიმუშავენ მოქმედების გეგმას, სახავენ ამოცანებს, გამოთქვამენ ჰიპოთეზებს. რომელიც დადასტურდება ან იქნება უარყოფილი მუშაობის შემდგომ ეტაპზე.

3. გამოკვლევა

ეს არის ინფორმაციის შეგროვების და შუალედური ამოცანების გადაჭრის სტადია. ის შეიძლება დაიყოს ორ ნაწილად. ჯერ მიმდინარეობს თეორიული სამუშაო, რაც აუცილებელი მომენტია მეცადინეობის პრაქტიკული ნაწილის დასაწყებად; ზოგჯერ საჭირო ინფორმაციას მოსწავლეს აწვდის მასწავლებელი, უფრო ხშირად კი მოსწავლეები მოიპოვებენ დამოუკიდებლად. ამ ინფორმაციის განხილვის შემდეგ (მინი კონფერენცია, დისკუსია ამა თუ იმ თეორიული პრობლემების ირგვლივ) მოსწავლეები იწყებენ კვლევას და წყვეტენ შუალედურ ამოცანებს. კვლევის ძირითადი ინსტრუმენტი — აზრის გამოკითხვა, დაკვირვება, ექსპერიმენტი და ა. შ. ექსპერიმენტის ჩატარება საგანგებო მომზადებას მოითხოვს. საჭიროა: ექსპერიმენტის დაგეგმვა, ექსპერიმენტული მასალის დამუშავება, პროცესებისა და ობიექტების მოდელირება. მასწავლებელი აკვირდება მოსწავლეთა ქმედებებს, იძლევა რჩევებს, ხელმძღვანელობს მათ ქმედებებს.

4. შედეგები და დასკვნები:

მოსწავლეები აანალიზებენ შეკრებილ ინფორმაციას (თეორიულს ან ექსპერიმენტულს), აფორმებენ კვლევის შედეგებს, აყალიბებენ დასკვნებს.

5. შედეგების წარმოდგენა.

შედეგების წარმოდგენის ფორმა შესაძლოა იყოს სხვადასხვა: ზეპირი ანგარიში მასალის გათვალსაზიარება (სქემა, გრაფიკი, ცხრილი) რომელიმე ხერხის გამოყენებით, წერილი ანგარიში. მოდელის წარდგენა და ა.შ. მასწავლებელი მოსწავლეებთან ერთად მსჯელობს პროექტის ირგვლივ, სვამს შეკითხვებს.

6. შედეგის შეფასება.

პროექტის შეფასებაში მონაწილეობენ მოსწავლეები: მსჯელობენ და ახდენენ თვითშეფასებას, მასწავლებელი ეხმარება მოსწავლეებს საქმიანობაში, საინფორმაციო წყაროების ხარისხის გამოუყენებელი შესაძლებლობების შეფასებაში, აანალიზებენ პროექტის გაგრძელების შესაძლებლობას და პოტენციალს, წარმოდგენილი ანგარიშის ხარისხს.

პროექტის შეფასების კრიტერიუმები

1. პრობლემის იდენტიფიცირება;
2. თეორიული ცოდნის პრაქტიკულ საქმიანობაში გამოყენება;
3. ინფორმაციის მოძიების უნარი;
4. კვლევების დაგეგმვისა და ჩატარების უნარი;
5. საზოგადოებასთან და შესაბამის სამთავრობო და არასამთავრობო ორგანიზაციებთან ურთიერთობის უნარი;
6. ჯგუფის შემოქმედებითი უნარი;
7. მოძიებული ინფორმაციის კლასიფიკაციისა და ინტერპრეტაციის უნარი;
8. კვლევის შედეგების ანალიზის უნარი;
9. პრობლემის გადაჭრის ანალიზის უნარი;
10. გადაწყვეტილებების მიღება;
11. წარმოდგენილი ნამუშევრის ორგანიზება;

სილაბუსი წარმოადგენს სასწავლო კურსის პროგრამას. მასში მოცემულია კურსის სათაური, სწავლების საფეხური, მიზანი და ამოცანები. სწავლების ფორმატი (სწავლის მეთოდი) კურსის საათობრივად განერილი შინაარსი. როგორი გეგმაა გამოყენებული სახელმძღვანელოების გვერდების ან სხვა რესურსების დეტალური მითითებით, ასევე კურსის შეფასების პრინციპი (შუალედური, შემაჯამებელი, განსაზღვრული და სხვა) მოსალოდნელი შედეგები, კერძოდ, იმ ცოდნისა და უნარ-ჩვევების ჩამონათვალი, რომელსაც უზრუნველყოფს კურსის დამთავრება.

მოქმედებათა სახელების ქვემოთ მოცემული კლასიფიკაცია დაგეხმარებათ, მიხედეთ ამა თუ იმ შეკითხვის დასმისას ან აქტივობის შესრულებისას აზროვნების რომელ დონეს ააქტიურებთ					
ცოდნის დონე	გაგების დონე	გამოყენება	ანალიზი	სინთეზი	შეაფასება
მოყვები თქვი ჩამოთვალე დაასახელე დაწერე ჩამოწერე აღწერე მოძებნე	ახსენი საკუთარი სიტყვებით რას ნიშნავს მოიყვანე მაგალითი გამოჰყავი მოძებნე განაზოგადე დააკავშირე შეუსაბამე დააჯგუფე	გამოიყენე გამოთვალე შეამოწმე	გაანალიზე ახსენი ძირითადი პრინციპი გამოყავი ფუნქციან- ალური კავ- შირები შეადარე არ- სებითი ნიშ- ნებით	დაგეგმე განჭვრიტე ივარაუდე შექმენი მოდელი მოიფიქრე	განსაჯე დაასაბუთე არჩევანი გაა- კეთე დასკვნა გამოი- ტანე გადაწყვიტე შეაჯამე

მთავაროვრთ რამდენიმე ბაკვთილის სცენარს.
ბაკვთილი 1.4, 1.5. მექანიკური ტალღების არაკვლა და ბარდატეხა. ინტერფერენცია

სასწავლო მიზნები	თემა	აქტივობები	მოსწავლეების ორგანიზება	დროის გა- ნაწილება	რესურსები	შეფასების ფორმა
. ანალიზის და სინთეზის უნარების განვითარება. . მექანიკური ტალ- ღების ინტერფერენ- ციაზე დაკვირვება.	მექანიკური ტალღების არაკვლა და გარდატეხა.	ილუსტრაციაზე დაკვირვება, საშინაო ცდის ანალიზი I ექსპერიმენტი II ექსპერიმენტი	მთელი კლასი	10 წთ	სახელმძღვანელო	დაკვირვება
			მთელი კლასი	8 წთ		
			მთელი კლასი	8 წთ		
		ექსპერიმენტების შედეგების შეჯამება	მთელი კლასი	10 წთ 7 წთ		დაკვირვება
		საშინაო დაკვლება	ინდივიდუალური	2 წთ		

§ 1.4, 1.5. მექანიკური ტალღების არეკვლა და გარდატეხა.
ინტერფერენცია

სტანდარტთან კავშირი

ფიზ. XI/XII 2. მოსწავლე იკვლევს მექანიკური ტალღების თვისებებს.

. გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების თვისებების გამოსავლენად.
ანალიზებს და გამოაქვს შესაბამისი დასკვნები

სასწავლო მიზნები:

- . ანალიზის და სინთეზის უნარების განვითარება.
- . მექანიკური ტალღების ინტერფერენციაზე დაკვირვება.

საჭირო მასალა: ბგერითი სიხშირის გენერატორი, ორი დინამიკი, აბაზანა, დრეკადი ფირფიტა ორი ღეროთი.

აქტივობები: ილუსტრაციაზე დაკვირვება

საშინაო ცდის ანალიზი

I ექსპერიმენტი

II ექსპერიმენტი

ექსპერიმენტების შედეგების შეჯამება.

პროცედურა

I აქტივობა

ჰკითხეთ მოსწავლეებს, რას ნიშნავს ტერმინები — არეკვლა, გარდატეხა, შთანთქმა.
უთხარით, რომ ნებისმიერ ტალღას ახასიათებს თითოეული მოვლენა.

განიხილეთ ილუსტრაციები, დააზუსტეთ და დაეხმარეთ გაიაზრონ წარწერების მნიშვნელობები. გაახსენეთ სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები.

ჰკითხეთ, შეუმჩნევიათ თუ არა ანალოგიური მოვლენები ბგერის გავრცელებისას.

მოიყვანეთ მაგალითები. ესაუბრეთ ექოს შესახებ.

გამოათვლევენეთ მინიმალური მანძილი, რომლისთვისაც ექოს გაიგონებენ.

საშინაო ცდის ანალიზი.

რომელიმე მოსწავლეს მოაყოლეთ, რა მოვლენა შეამჩნიეს საშინაო ცდის ჩატარებისას.

ჰკითხეთ, ბგერის წარმოქმნისას ცელოფანზე ფეკილის ნამცეცების ხტუნაობა მიუთითებს თუ არა ბგერის წყაროდან ბგერის ენერგიის გავრცელებას? რის მეშვეობით?

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

პასუხი: ეს ფაქტი ბგერის წყაროდან, ჰაერის მეშვეობით, ყველა მიმართულებით ბგერის ენერგიის გავრცელებას მიუთითებს.

დასვით მე-4 შეკითხვა.

4. ბგერის გავრცელებისას ხდება თუ არა ნივთიერების გადატანა?

პასუხი: ბგერის გავრცელებისას ნივთიერების (ჰაერის, წყლის, ...) გადატანა არ ხდება.

დასვით მე-5 შეკითხვა.

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

პასუხი: შესაძლებელია. ბგერები ვრცელდება ტალღების სახით და თუ ეს ტალღები

კოჰერენტულია, მათი შეხვედრისას ხდება ინტერფერენცია.

შენიშვნა: რა თქმა უნდა მოსწავლეებისაგან ამ პასუხს არ ველოდებით.

მათი პასუხი, რა თქმა უნდა, მხოლოდ ვარაუდზე იქნება დაფუძნებული ვარაუდის მართებულობა შეამოწმეთ სადემონსტრაციო ექსპერიმენტით.

I ექსპერიმენტი

ბგერით გენერატორს მიუერთეთ დინამიკი. გენერატორი ააწყვეთ 2-3 კჰც სიხშირეზე. დინამიკი ხმას გამოსცემს.

უთხარით მოსწავლეებს ცალი ყური ხელით დაიფარონ, თავი ნელ-ნელა ამოძრაონ სხვადასხვა მხარეს და მოუსმინონ დინამიკის ხმას. დააფიქსირონ, იცვლება თუ არა დინამიკის ხმა.

მოსწავლეები შეამჩნევენ, რომ დინამიკის ხმა არ იცვლება.

ახლა გენერატორს ორი დინამიკი მიუერთეთ, ერთმანეთისაგან დაახლოებით 1,5 მ-ით დაშორებული.

მოსწავლეებმა კვლავ დააფიქსირონ, ყურის სხვადასხვა მდებარეობისას ერთნაირად ესმით თუ არა დინამიკებიდან გამოსული ბგერების ხმა.

მოსწავლეები შეამჩნევენ, რომ დინამიკებიდან გამოსული ბგერების ხმა ერთნაირად არ ესმით. ზოგიერთ ადგილას ბგერა ძლიერია, ზოგიერთ ადგილას კი თითქმის არ ისმის. ადგილი აქვს ბგერების მიერ ერთმანეთის გაძლიერების და შესუსტების მოვლენას.

II ექსპერიმენტი

ჩაატარეთ კიდევ ერთი ცდა და დასკვნები მერე გამოიტანეთ. ააწყვეთ 58-ე ა სურათზე (სახ. გვ. 49) გამოსახული დანადგარი. აბაზანაში ჩაასხით წყალი და დრეკადი ფირფიტა მოიყვანეთ რხევით მოძრაობაში. წყლის ზედაპირზე ერთნაირი სიხშირის წრიული ტალღები აღიძვრება.

მოსწავლეები აკვირდებიან ტალღების გავრცელებას.

ტალღების გავრცელებისას მიიღება ისეთი სურათი, როგორიც 58-ე ბ-ზეა გამოსახული. ექსპერიმენტების შედეგების შეჯამება

სახელმძღვანელოს ტექსტისა და საკუთარი გამოცდილების მიხედვით, აუხსენით, რას ნიშნავს ნათელი და ბნელი ზოლები სურათზე.

უთხარით, რომ ამ დროს ხდება ტალღების შეკრება. პირველ ექსპერიმენტში დაფიქსირდა ბგერის გაძლიერება და შესუსტება, მეორეში — წყლის ზედაპირზე წარმოქმნილი ტალღების გაძლიერება და შესუსტება ანუ ენერგიის გადანაწილება.

ორივე შემთხვევაში ტალღები ერთი წყაროდან ვრცელდებოდა, ეს იმას ნიშნავს, რომ მათ ერთი და იგივე სიხშირე ჰქონდათ. ეს აუცილებელი პირობაა იმ შედეგისთვის, რაც ცდების შედეგად დაფიქსირდა.

უთხარით, რომ ასეთ ტალღებს კოჰერენტული ჰქვია, მოვლენას კი ინტერფერენცია. საშინაო დავალება. § 2.4. საშინაო ცდა.

შეფასება

შეაფასეთ გაკვეთილის პროცესში ჩართულობა — იხ. შეფასების კრიტერიუმი გვ. 30.

გთავაზობთ 2.7 . სინათლის ტალღების განვოება სინათლის პოლარიზაცია. გაკვეთილის სტანარის ნიშნუს. გაკვეთილის დაგეგმვის ცხრილი

გაკვეთილის შენაწლას დაკუთმომთ 1 სათი

სასწავლო მიზნები	თემა	აქტივობები	მოსწავლეების ორგანიზება	დროის განაწილება	რესურსები	შეფასების ფორ- მა
ცოდნის გამოყენების, შედარების, ანალიზის, სინათლის, მოდელის გამოყენების, ექსპერიმენტის ჩატარების და კვლევითი უნარ-ჩვევების განვითარება.	სინათლის პოლარიზაცია	პრობლემის ფორმულირება და გადაჭრის გზის შეთავაზება I ექსპერიმენტი II ექსპერიმენტი დისკუსია	ჯგუფებში ჯგუფებში ჯგუფებში მთელი კლასი	10 წთ. 10 წთ. 10 წთ. 12 წთ.	რეზინის ზონარი, ორი ვიწრო ყუთი ვიწრო ნასვრეტებით ზოლში, ტურმალინის ორი ფირფიტა	დაკვირვება დაკვირვება დაკვირვება დაკვირვება
სინათლის ტალღების განვოების დადგენისას. სინათლის პოლარიზაციზე დაკვირვება.		საშინაო დავალება	ინდივიდუალური	3 წთ.		

2.7. სინათლის ტალღების განივობა. სინათლის პოლარიზაცია

ფიზ. XI/XII 3. შედეგი მოსწავლე იკველვს სინათლის ორმაგ ბუნებას

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების (მაგ. დიფრაქცია, დისპერსია, ინტერფერენცია, პოლარიზაცია) შესასწავლად. შედეგებს აანალიზებს და აკეთებს დასკვნებს;

მიზნები: ცოდნის გამოყენების, შედარების, ანალიზის, სინთეზის, მოდელის გამოყენების, ექსპერიმენტის ჩატარების, მონაცემთა ინტერპრეტაციის და კვლევითი უნარ-ჩვევების განვითარება.

სინათლის ტალღების განივობის დადგენა. სინათლის პოლარიზაციაზე დაკვირვება.

აქტივობები

პრობლემის ფორმულირება და გადაჭრის გზის შეთავაზება, I ექსპერიმენტი, II ექსპერიმენტი, დისკუსია, საშინაო დავალება.

საჭირო მასალა: რეზინის ზონარი, ორი ვიწრო ყუთი ვიწრო ნასვრეტებით ზოლში, ტურმალინის ორი ფირფიტა.

პროცედურა

პრობლემის ფორმულირება და გადაჭრის გზის შეთავაზება

უთხარით მოსწავლეებს: ინტერფერენციისა და დიფრაქციის მოვლენების შესწავლით დავადგინეთ, რომ სინათლე ტალღაა. ბუნებრივია, გასარკვევია სინათლე გრძივი ტალღაა თუ განივი? დაყავით კლასი ჯგუფებად. დაავალეთ მოიფიქრონ და წარმოადგინონ გეგმა, რომლის მიხედვითაც შეძლებენ დასმული საკითხის გარკვევას.

შეაჯამეთ პასუხები. თქვენი დახმარებით გეგმამ შემდეგი სახე უნდა მიიღოს.

1. გავიხსენოთ, რას ეწოდება გრძივი ტალღა და როგორ გარემოში ვრცელდება.
2. გავიხსენოთ, რას ეწოდება განივი ტალღა და როგორ გარემოში ვრცელდება.
3. გამოვიტანოთ დასკვნა:

პასუხების ანალიზის მიხედვით, სინათლე განივი ტალღა ვერ იქნება, რადგან განივი ტალღა მხოლოდ მყარ გარემოში ვრცელდება. სინათლე კი ფაქტია, ჰაერშიც ვრცელდება.

აბა, გრძივი? თუ გრძივია, როგორ ვრცელდება ვაკუუმში? ვაკუუმში ხომ დრეკადი გარემო არ არის.

სწორედ ასე მსჯელობდნენ მეცნიერები იმ დროს, როცა ამ საკითხის გადაწყვეტაზე ფიქრობდნენ. ამიტომ დაუშვეს, რომ არსებობდა მყარი გარემო ეთერი, სადაც ვრცელდება სინათლე, როგორც განივი ტალღა.

შეასრულეთ ტექსტის მე-5 სავარჯიშო.

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

პასუხი: მყარ ეთერში სხეულების მოძრაობა წინააღმდეგობის გარეშე წარმოუდგენელია. მაგრამ თუ სხეულებზე ეთერის მხრიდან წინააღმდეგობის ძალა იმოქმედებდა მაშინ, ისინი გაჩერდებიან და სამყარო ისე არ იქნება მოწყობილი როგორც არის.

შეახსენეთ მოსწავლეებს, რომ მოსაზრების ჭეშმარიტება სასურველია, ცდით შემოწმდეს. წინა გაკვეთილებზე სინათლის ინტერფერენციის და დიფრაქციის შესწავლისას მექანიკურ ტალღებზე დაკვირვება გამოვიყენეთ. ახლაც ასე მოვიქცეთ.

I ექსპერიმენტი

აუხსენით, როგორ ჩაატარონ ექსპერიმენტი. აღძრან ზონარში განივი ტალღა ისე, რომ რხევები სწრაფად იცვლიდეს მიმართულებას. შემდეგ ეს ზონარი გაატარონ ყუთის ვინრო ზოლში. კვლავ აღძრან ტალღა და დააკვირდნენ. ზონარი I ყუთში გატარების შემდეგ მეორე — მის მართობულ ყუთშიც გაატარონ. აღძრან განივი ტალღა და დააკვირდნენ. ექსპერიმენტი ტარდება ჯგუფურად. თვალთ დანახულს მოსწავლეები ადარებენ სახელმძღვანელოში მოცემულს. აფიქსირებენ შედეგს: I ყუთში შედის განივი ტალღა, რომელიც ყველა მიმართულებით ვრცელდება. ყუთიდან მხოლოდ ერთი მიმართულების ტალღა გამოდის. მეორე ყუთში გავლის შემდეგ კი ესეც ქრება.

უთხარით მოსწავლეებს, რომ ზონარში თავდაპირველად აღძრულ ტალღას ბუნებრივი ტალღა ჰქვია. II ყუთიდან გამოსულს კი პოლარიზებული. თვითონ მოვლენას ტალღის პოლარიზაცია. მაშასადამე, პოლარიზაცია არის განივი ტალღის მახასიათებელი მოვლენა.

II ექსპერიმენტი

გააცანით ექსპერიმენტის მსვლელობა. ექსპერიმენტი კვლავ ჯგუფებად ტარდება. მოსწავლეები აკვირდებიან, იცვლება თუ არა ტურმალინის ფირფიტიდან გამოსული სინათლის ენერგია ფირფიტის ბრუნვისას. შემდეგ მის პარალელურად ათავსებენ მეორე ფირფიტას და აკვირდებიან, როგორ იცვლება მეორე ფირფიტაზე გამოსული სინათლის ენერგია ფირფიტების ღერძებს შორის კუთხის გადიდებასთან ერთად. მოსწავლეები დარწმუნდებიან, რომ ტურმალინის ორ ურთიერთმართობულ ფირფიტაში გახედვისას საგანი, რომელიც ჩანდა, აღარ გამოჩნდება.

დისკუსია

დასვით შეკითხვები: I ექსპერიმენტი გრძივი ტალღებისთვის რომ ჩაგვეტარებინა. ისეთივე შედეგს მივიღებდით?

პასუხი. არა, რადგან გრძივ ტალღაში რხევა ერთი მიმართულებით ვრცელდება და ყუთიდან უცვლელი სახით გამოვა.

შემდეგ სრულდება მე-12 სავარჯიშო.

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

პასუხი: რადგან პირველი ფირფიტის ბრუნვა არ ცვლის მასში გასული სინათლის ინტენსივობას, შეიძლება დავასკვნათ: სინათლე განივი ტალღაა. ჩვეულებრივი ნყაროდან გამოსული ტალღების კონაში არის ყოველგვარი მიმართულების რხევები, რომლებიც სინათლის გავრცელების მიმართულების მართობული არიან. ასეთ ტალღას ბუნებრივი ეწოდება. რადგან მეორე ფირფიტის მობრუნებით მისგან გამოსული სინათლის ინტენსივობა იცვლება და მისგან სინათლე არ გამოდის, როდესაც ფირფიტის ღერძები ურთიერთმართობია, შეიძლება დავასკვნათ: პირველი ფირფიტაზე გამოსული ტალღა პოლარიზებულია. განსხვავებით ბუნებრივი სინათლისაგან, რომელსაც შეიძლება არაპოლარიზებული ვუწოდოთ.

მოსწავლეებს ანალოგიის საფუძველზე გამოაქვთ დასკვნა: სინათლეს ახასიათებს პოლარიზაცია, ე. ი. განივი ტალღაა.

გასარკვევია კიდევ ერთი საკითხი. სინათლე განივი ტალღაა. მხოლოდ მყარ გარემოში ვრცელდება?

პასუხი: მექანიკური ტალღებისაგან განსხვავებით, ყველა გარემოში ვრცელდება. მათ შორის ვაკუუმშიც.

აქვე უთხარით, რომ XIX საუკუნის მეორე ნახევარში ჯეიმს მაქსველმა ჩამოაყალიბა თეორია, რომ სინათლე არის ელექტრომაგნიტური ტალღა. სინათლის ტალღაში ელექტრული და მაგნიტური ველები ირხევიან როგორც ურთიერთ, ისე ტალღის გავრცელების მართობულად, ყველა შესაძლო მიმართულებით. შემდეგ კი ჰერცმა ექსპერიმენტით დაასაბუთა (შემდეგ გაკვეთილზე შევისწავლით).

ისიც უთხარით, რომ დამტკიცებულია, თვალის ბადურაზე მოქმედებს სინათლის ტალღის ელექტრული ველი. შემდეგ დაავალეთ პასუხი გასცენ მე-13 შეკითხვას. აქ უნდა გაიხსენონ ანალოგია თვალსა და ფოტოაპარატს შორის და მიხვდნენ, რომ ფოტომულსიაზეც სინათლის ტალღის ელექტრული ველი მოქმედებს.

ბოლო ეტაპზე ისაუბრეთ პოლარიზაციის პრაქტიკული გამოყენების შესახებ.

შეფასება

გაკვეთილის მსვლელობისას მასწავლებელი უნდა დააკვირდეს მოსწავლეებს, რამდენად სწორად გეგმავენ ისინი ექსპერიმენტს. რამდენად ზუსტად და ორგანიზებულად ატარებენ გაზომვებს. როგორ ინიშნავენ მიღებულ შედეგებს.

შეაფასეთ 8-10 ქულით, თუ ექსპერიმენტს გეგმავს სწორად, განსაზღვრავს სპეციფიკურ დეტალებს, დეტალურად ჩამოთვლის კვლევის ეტაპებს, აყალიბებს და ასაბუთებს ვარაუდს, გაზომვებს აწარმოებს ზუსტად, გაზომვების ჩანაწერი კარგად ორგანიზებულია.

შეაფასეთ 6-7 ქულით, თუ ექსპერიმენტს გეგმავს სწორად, თუმცა მცირედი უზუსტობებით, დამაკმაყოფილებლად ჩამოთვლის კვლევის ეტაპებს, აყალიბებს და ნაწილობრივ ასაბუთებს თავის ვარაუდს, გაზომვებს აწარმოებს კარგად, შედეგები აღრიცხულია დამაკმაყოფილებლად, თუმცა ჩანაწერები ნაკლებ ორგანიზებულია;

შეაფასეთ 4-5 ქულით, თუ ექსპერიმენტს გეგმავს არაზუსტად, გარკვეული ხარვეზებით, არასწორად ჩამოთვლის კვლევის ეტაპებს, აყალიბებს, მაგრამ ვერ ასაბუთებს თავის ვარაუდს, გაზომვებს აწარმოებს არაზუსტად, აღრიცხავს მონაცემებს ნაწილობრივ, შედეგების გადმოცემა ზედაპირულია და არაზუსტი, ჩანაწერები სუსტადაა ორგანიზებული;

შეაფასეთ 1-3 ქულით, თუ ექსპერიმენტს გეგმავს არასწორად, ვერ თვლის კვლევის ეტაპებს, ვერ აყალიბებს ვარაუდს, აღრიცხავს არასწორ მონაცემებს, შედეგებს გადმოსცემს არაზუსტად, ჩანაწერები ქაოსურია და უსისტემო.

შეიძლება შეაფასოთ გაკვეთილის პროცესში ჩართულობის მიხედვითაც.

საშინაო დავალება: გაკვეთილი 3.6

გაკვეთილი მოამზადეთ ეპიზოდებად, რომელთა სათაურებიც ასეთი იქნება:

1. სინათლის ტალღა-განივი თუ გრძივი?
2. მექანიკური ტალღების პოლარიზაცია (ცდის აღწერა).
3. სინათლის პოლარიზაცია (ცდის აღწერა).
4. პოლარიზაციის მოვლენის პრაქტიკული გამოყენება.

შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში

XI / XII კლასი

I მოდული

შინაარსი

I თავი. მექანიკური ტალღები	6
1.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა	7
1.2. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა	10
1.3. მექანიკური ტალღები. ჰიუგენსის 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. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა	26
 II თავი. სინათლის ტალღური და კვანძური გუნება	27
2.1. სინათლის სიჩქარე	29
2.2. სინათლის ნაკადი. სინათლის ნერტილოვანი 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. შეამოწმეთ 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. ლეროს სიგრძე ფარდობითობა	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

როგორ ვისწავლოთ სახელმძღვანელოში

პარაგრაფის ნომერი

1.3

მეცნიერული ტალღები. პიუჯენის 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. **იზოტროპულ** გარემოში წერტილოვანი წყაროდან სფერული ტალღები ვრცელდება.

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



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

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,

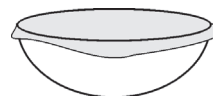
რა მოუვით ნამცეცებს, თუ მაგიდას ხელს დავარტყამთ?

ძლიერ ხმაზე ჩართეთ მუსიკა ან ტელევიზორი.

ჭიქა მიუახლოეთ, დააშორეთ ბგერის წყაროს და

გააგრძელეთ ნამცეცებზე დაკვირვება.

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



სურ. 13.2

საშინაო ცდების ჩატარებამდე აუცილებლად დაკვირვებით წაიკითხეთ პარაგრაფი.

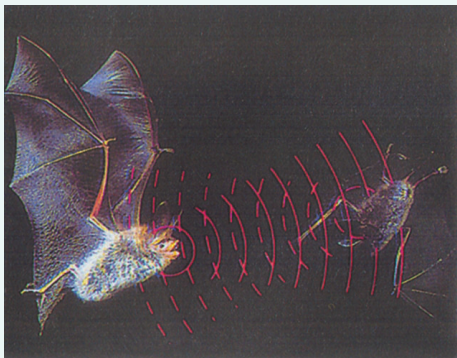
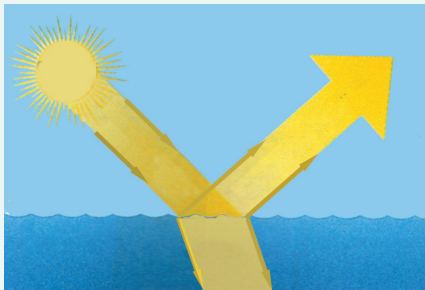
დამოუკიდებლად პასუხის გაცემით განიმტკიცეთ ცოდნა მასში მოცემულ კითხვებზე.

I თავი.

მექანიკური ტალღები

ამ თავში გაიხსენაბთ და გააცნობით

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



რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმათ თქვენი ცოდნა

1.1

ტესტი

1. როდესაც საათის ქანქარა ასრულებს მიუღწევად 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/ნ; 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 პერიოდია

- 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 მერხვევი 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. $0,2\text{მ/წმ}$.

ამ გაკვეთილზე ვიხსენებთ ყველა იმ ფიზიკური სიდიდის განმარტებას, ერთეულს, ფიზიკურ შინაარსს, რომელიც დაგვჭირდება მომდევნო გაკვეთილების შესასწავლად.

ტესტის სწორი პასუხები

1	2	3	4	5	6	7	8
ა	ბ	ბ	გ	ა	ბ	ბ	ე

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

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

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.

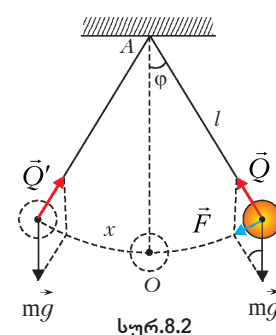
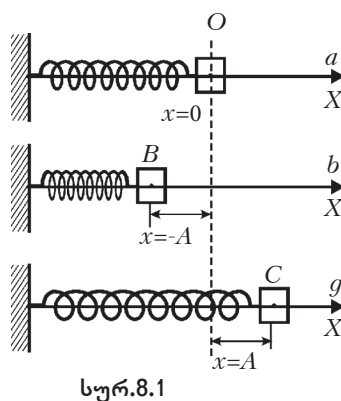
მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეული რაღაც მდებარეობის მიმართ ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გადაიხრება, რხევითი მოძრაობა ეწოდება.

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).



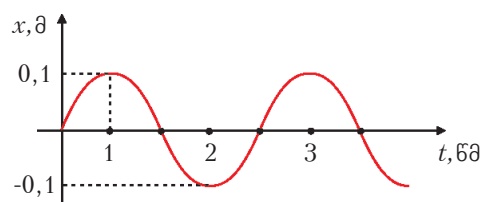
ტესტის სწორი პასუხები

9	10	11	12
დ	ბ	ა	დ

მექანიკურ რხევას, რომელიც წარმოებს წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრის 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 — 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.

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



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.

1.2 რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმათ თქვენი ცოდნა

ტესტი

1. ტალღის სიგრძე, სიხშირე და სიჩქარე დაკავშირებულია ფორმულით

ა. $v = \lambda \nu$; ბ. $\nu = v \lambda$; 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.

ტესტის სწორი პასუხები

1	2	3	4	5	6
ა	ბ	ა	დ	ბ	ბ

ტალღას, რომელშიც რხევა ტალღის გავრცელების მიმართულების გასწვრივ ხდება, გრძივი ტალღა ეწოდება.

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

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

ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას ტალღის სიხშირე არ იცვლება, ტალღის 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).

საშინაო ცდა

ცდებისთვის საჭიროა

- ლანგარი
- წყალი
- სახაზავი
- ვიწრო ხვრელიანი ტიხარი

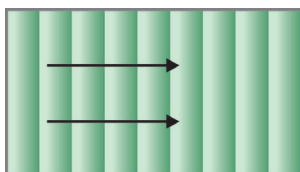
ცდის მიზანი: ტალღის გავრცელებაზე დაკვირვება

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?

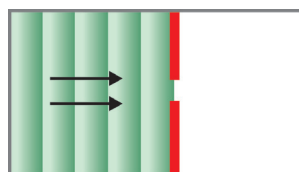
ლანგარი სახაზავის პარალელური ორი ფირფიტით ისე გატიხრეთ, რომ მათ შორის არა უმეტეს 0,5 სმ სიგანის ხვრელი დარჩეს (სურ. 11.2).

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

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



სურ. 11.1



სურ. 11.2

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

უთხარით მოსწავლეებს, რომ ჩვეულებრივ პირობებში წყლის ზედაპირზე ტალღები შეიძლება მკვეთრად არ იყოს გამოხატული. ტალღებზე უკეთ დაკვირვებას შეიძლება თუ მუქი ლანგარის ფსკერზე დადებენ ბრტყელ სარკეს, გაანათებენ ფანრის კაშკაშა სინათლით და სარკიდან არეკლილი სხივებით მიღებულ გამოსახულებას დააკვირდებიან კედელზე ან ქერზე.

1.3

მექანიკური ტალღები. ჰიუბენის პრინციპი



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 ერთმანეთისაგან 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.**



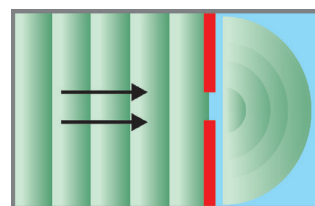
4. რა გიჩვენათ ცდამ: ხვრელის მარჯვნივ წრიული ტალღა ვრცელდება თუ წრფივი?

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

თქვენი ნახაზი ემთხვევა თუ არა 12.1 სურათზე გამოსახულს?

თუ ტიხარს სხვა ადგილას გავუყუებთ 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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

1. თუ დრეკად გარემოში ნივთიერი წერტილი რხევას დაიწყებს, მაშინ მისგან რხევა გავრცელდება ყველა მიმართულებით — წარმოიქმნება ტალღა.

2. ტალღის ფრონტი გამოჰყოფს ერთმანეთისაგან სივრცის იმ ნაწილს, რომლის წერტილები უკვე მონაწილეობენ რხევით მოძრაობაში იმ ნაწილისაგან, რომლისათვისაც რხევით მოძრაობას ჯერ არ მიუღწევია.

3. სფერულ ტალღაში ტალღის ზედაპირიც და ტალღის ფრონტიც სფერული იქნება.

4. ხვრელის მარჯვნივ ვრცელდება წრიული ტალღები.

5. წრიული ტალღების ცენტრი ხვრელის ცენტრში მდებარეობს.

სტანდარტთან კავშირი

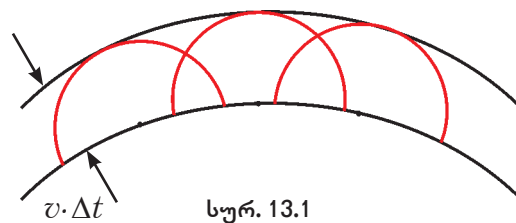
კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს მონაცემებს, საჭიროების შემთხვევაში, საკონტროლო ცდის შედეგების გათვალისწინებით, გამოაქვს დასკვნები;
- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;

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,



სურ. 13.1

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

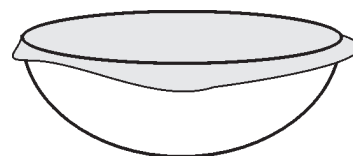
ცდის მიზანი: ბგერითი ტალღების ზემოქმედებაზე დაკვირვება.

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 ნამცეცხებს, თუ მაგიდას ხელს დავარტყამთ?

ძლიერ ხმაზე ჩართეთ მუსიკა ან ტელევიზორი. ჭიქა მიუახლოეთ, დააშორეთ ბგერის წყაროს და გააგრძელეთ ნამცეცხებზე დაკვირვება.

შემჩნეული მოვლენები ჩაწერეთ და შეეცადეთ, ახსნათ ნამცეცხების „ქცევა“.



სურ. 13.2

6. არ შეიცვლება, იხ. სურათი 13.1

მიეცით კომენტარი როგორ ჩაატარონ საშინაო ცდა.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები. შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

1.4

მექანიკური ტალღების არეკვლა და გარდატეხა

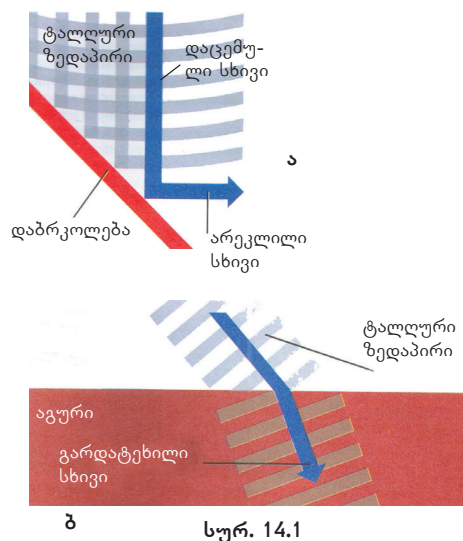
ნებისმიერი ტალღა, როგორც მექანიკური, ისე ელექტრომაგნიტური იმის მიხედვით, როგორია დაბრკოლება, მისგან ნაწილობრივ აირეკლება, გარდატეხება და შთაინთქმება.

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).

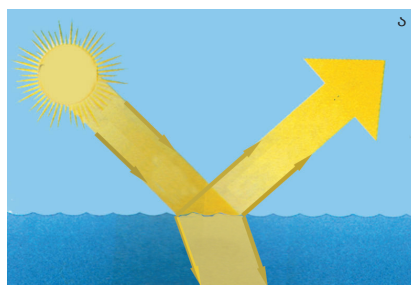
სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები მართებულია ყველა სახის ტალღისათვის.



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?

არჩ.ფიზ.XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

1. დაცემული სხივი, არეკლილი სხივი და სხივის დაცემის წერტილში ამრეკლი ზედაპირისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს.

არეკვლის კუთხე დაცემის კუთხის ტოლია.

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 გარემოსათვის მუდმივი სიდიდეა და მას ეწოდება მეორე გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი პირველის მიმართ. მეორე გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი პირველის მიმართ აღვნიშ-

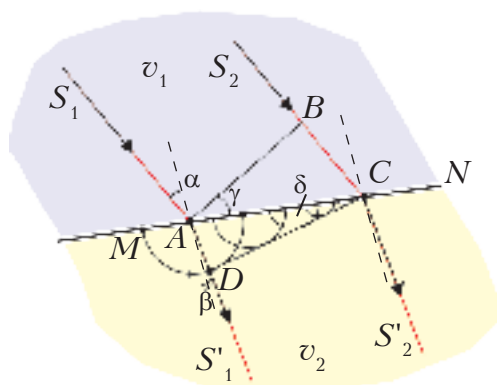
ნოთ n -ით, მაშინ
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n. \quad (1)$$

2. ექოს მაშინ გავიგონებთ, როცა დაბრკოლებამდე S მანძილი არ არის ნაკლები ბგერის მიერ 1/15 წმ-ში იქით და აქეთ გავლილ მანძილზე. ე. ი. $2S=vt$. (*) ჩავთვალოთ, ბგერის სიჩქარე ჰაერში 340 მ/წმ-ია, მაშინ $S \approx 11,3$ მ.

3. ეს ფაქტი ბგერის წყაროდან, ჰაერის მეშვეობით, ყველა მიმართულებით ბგერის ენერგიის გავრცელებას მიუთითებს.

4. ბგერის გავრცელებისას ნივთიერების (ჰაერის, წყლის, ...) გადატანა არ ხდება.

ჰიუგენსის პრინციპის მეშვეობით ავსხნათ 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 მომენტებს 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.

→ 5. ტალღა C წერტილს მიაღწევს $t = \frac{|BC|}{v_1}$ დროის შუალედში.

6. ტალღა მეორე გარემოში გაივლის $|AD| = v_2 t = \frac{v_2 |BC|}{v_1}$ დროის შუალედში.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს მონაცემებს, გამოაქვს დასკვნები;

1.5

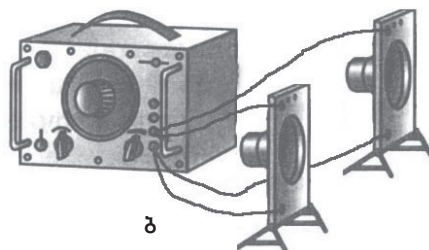
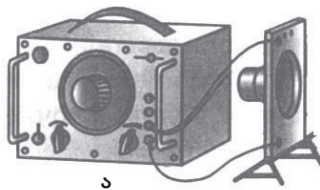
მექანიკური ტალღების ინტერფერენცია



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 ავანოთ იგი 2-3 კჰც სიხშირეზე. დინამიკი ხმას გამოსცემს. ერთი ყური ხელით დაიფარეთ და თავი ნელ-ნელა ამოძრავებთ მარჯვნივ და მარცხნივ, წინ და უკან.



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.

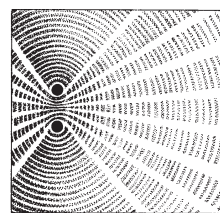
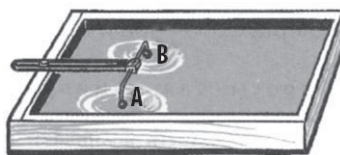


3. რას ამჩნევთ? ყურის სხვადასხვა მდებარეობისას ერთნაირად გესმით დინამიკებიდან გამოსული ბგერების ხმა?

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.



სურ. 16.2



4. ხვდებიან 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 შეშფოთებული. ეს ტალღების

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

1. შესაძლებელია. ბგერები ვრცელდება ტალღების სახით და თუ ეს ტალღები კოჰერენტულია, მათი შეხვედრისას ხდება ინტერფერენცია.

შენიშვნა: რა თქმა უნდა მოსწავლეებისაგან ამ პასუხს არ ველოდებით. ისინი იტყვიან: დიახ ან არა. მათი ვარაუდის მართებულობა შემოწმდება ცდით.

2. დინამიკის ხმა არ იცვლება.

3. დინამიკებიდან გამოსული ბგერების ხმა ერთნაირად არ გვესმის. ზოგიერთ ადგილას ბგერა ძლიერია, ზოგიერთ ადგილას კი თითქმის არ ისმის. ადგილი აქვს ბგერების მიერ ერთმანეთის გაძლიერების და შესუსტების მოვლენას.

4. ტალღები წყლის ზედაპირის ყოველ წერტილში ხვდებიან ერთმანეთს.

5. თითოეული ტალღა მეორეს შიგნით ისე გადის თითქოს მეორე ტალღა არც არსებობდეს.

6. წყლის ზედაპირის ზოგიერთი უბანი არ არის შემფოთებული, ზოგან კი შემფოთება გაძლიერებულია.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს მონაცემებს, გამოაქვს დასკვნები;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;

შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

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 გამოშვებულ მეორე მოკლე ბოლოს გადახრით და ხელს გაუშვებით? სახაზავის გამოშვებული ნაწილი თანდათან დააგრძელებთ და ცდები გაიმეორეთ. ამჩნევთ რაიმე განსხვავებას? შემჩნეული

მოვლენა აღწერეთ რვეულში და შეეცადეთ ახსნათ.

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

7. ცდის შედეგად გამოგვაქვს დასკვნა, ხდება ბგერითი ტალღების ინტერფერენცია.

მიეცით კომენტარი საშინაო ცდის ჩატარებაზე.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.
შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

1.6

ინფრა და ულტრაბგერები

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

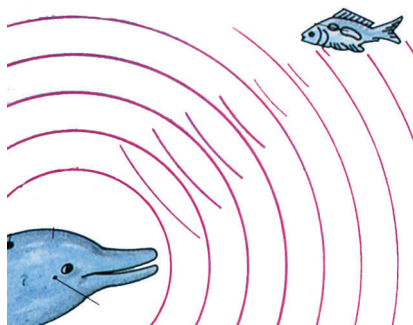


1. ყოველთვის გესმით მაგიდიდან გამოშვებული სახაზავის რხევისას ხმა? აღიქვამს თუ არა ადამიანის ყური ინფრა და ულტრაბგერებს?

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 0,015წმ-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.



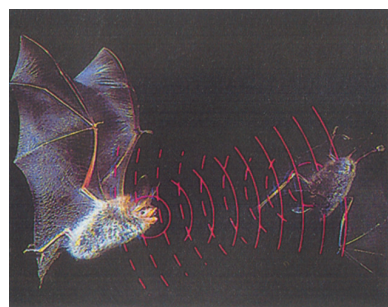
სურ. 18.2

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

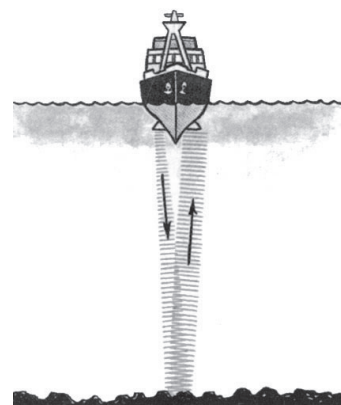
ულტრაბგერას ახასიათებს ძლიერი ბიოლოგიური მოქმედება. მაგალითად, ულტრაბგერითი ტალღის ველში მიკრობები იღუპება. ამიტომ ულტრაბგერის მეშვეობით შეიძლება მოვახდინოთ კვების პროდუქტების სტერილიზაცია.

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

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



სურ. 18.1



სურ. 18.3

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

1. რადგან მაგიდიდან გამოშვებული სახაზავის სიგრძე მცირეა, მისი რხევისას ხმა გვესმის. გამოშვებული ნაწილის სიგრძის თანდათან გადიდებით დგება მომენტი, როცა ადამიანის ყური ხმას ვერ აღიქვამს. ეს შემდეგნაირად აიხსნება: ადამიანის ყური ბგერის სახით აღიქვამს გარკვეული სიხშირის რხევებს. ადამიანის ყური ინფრა და ულტრაბგერებს ვერ აღიქვამს.

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

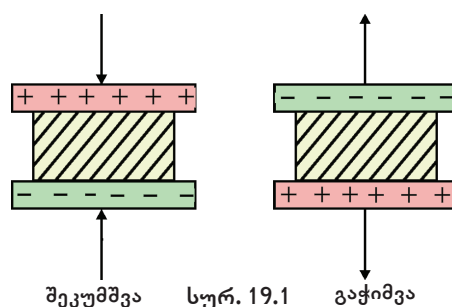
სიგნალის დაგვიანების დროისა და ულტრაბგერის სიჩქარის მიხედვით, ანგარიშობენ დაბრკოლებამდე მანძილს. ასე შეიძლება გავზომოთ ზღვის სიღრმე, მანძილი აისბერგამდე, წყალქვეშა ნავამდე და სხვა.

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 ადიდება 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 გავჭიმავთ, მაშინ ფირფიტის ზედაპირზე ელექტრული მუხტები წარმოიქმნება (სურ. 19.1). ამასთან, თუ გავჭიმვისას ფირფიტის ზედაპირის ერთ მხარეს დადებითი მუხტი წარმოიშობა მეორეზე კი უარყოფითი, მაშინ შეკუმშვისას ფირფიტებზე მუხტების ნიშანი საპირისპიროთი იცვლება.



პიეზო (ბერძნული) — ვანკები.

3. ივარაუდეთ, რა მოხდება, თუ კვარცის ფირფიტას მოვათავსებთ ისეთ ელექტრულ ველში, რომ ფირფიტის ერთი ზედაპირი დაიმუხტოს 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.

2. ზღვის სიღრმე $h=vt$ (*), სადაც v ულტრაბგერის სიჩქარეა ზღვის წყალში, $t = \frac{1,2}{2}$ წმ=0,6 წმ, დროის შუალედი, რომელშიც ულტრაბგერამ h მანძილი გაიარა.

→(*): $h=894$ მ.

3. ელექტრულ ველში მოთავსებისას კვარცის ფირფიტა იკუმშება ან ფართოვდება. თუ ისეთ ელექტრულ ველში მოთავსებისას, რომელშიც ფირფიტის ერთი ზედაპირი იმუხტება დადებითად, მეორე კი უარყოფითად, ფირფიტა შეიკუმშა, მაშინ საპირისპიროდ მიმართულ ელექტრულ ველში გაფართოვდება.

4. ფირფიტის რხევის სიხშირე ცვლადი ძაბვის სიხშირის გადიდებით გაიზრდება.



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 მონწყობილობებით. 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.

შეახსენეთ მოსწავლეებს: ისეთ რხევას, რომელსაც წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრილი სხეული გათავისუფლების შემდეგ თავისთავად, გარე ზემოქმედების გარეშე ასრულებს, თავისუფალი რხევა ჰქვია. თავისუფალი რხევების სიხშირეს კი – სისტემის **საკუთარი რხევების** სიხშირე. თავისუფალი რხევები სრულდება ერთხელ მინიჭებული ენერგიის ხარჯზე.

5. ფირფიტის რხევის მაქსიმალური ამპლიტუდა მიიღება რეზონანსის დროს. ეს მაშინ მოხდება, როდესაც ფირფიტის საკუთარი რხევის სიხშირეს გაუტოლდება მოდებული ძაბვის სიხშირე.

6. ჰაერსა და წყალში მერხევი ფირფიტის მოთავსებით გავრცელდება გრძივი ტალღა, რომლის სიხშირე ფირფიტის რხევის სიხშირის ტოლია.

7. ჰაერში ულტრაბგერა უფრო მეტად შთაინთქმება, ვიდრე წყალსა და მყარ სხეულში.

8. ინფრაბგერითი ტალღები გაცილებით შორს ვრცელდება, ვიდრე სმენადი ბგერითი ტალღები. ეს იმას მიუთითებს, რომ სმენადი ბგერითი ტალღები ჰაერსა და წყალში უფრო მეტად შთაინთქმება.

ესაუბრეთ საშინაო ცდის ჩატარების შესახებ.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.3 მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს სხვადასხვა ხერხს (დიაგრამებს, ცხრილებს, გრაფიკებს, სიებს) მონაცემთა წარმოსადგენად;
- იყენებს საინფორმაციო-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებს თვისებრივი და რაოდენობრივი მონაცემების დასამუშავებლად და წარმოსადგენად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;

შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

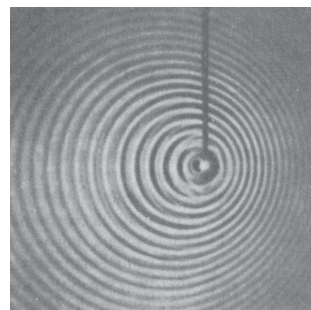
დოპლერის ეფექტი

1.7

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



1. რა მიმართულებით მოძრაობს სურათზე გამოსახული ღერო?



სურ. 21.1

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 — ნარინჯისფერი — ყვითელი — მწვანე — ცისფერი — ლურჯი — იისფერი —	7,6-6,2 6,2-5,9 5,9-5,6 5,6-5,0 5,0-4,8 4,8-4,5 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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მექანიკური ტალღების თვისებების გამოკვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს მექანიკური ტალღების შესასწავლად (არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, ინტერფერენცია), შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;
- აკვირდება და რაოდენობრივად აღწერს დოპლერის ეფექტს.

1. ღერო მოძრაობს მარჯვნივ.

2. მოძრავი ბგერის წყაროს უკან ტალღები უფრო მეჩხერადაა განლაგებული. ამიტომ დამკვირვებლისათვის, რომელსაც ბგერის წყარო სცილდება, ბგერის სიხშირე ნაკლებია.

3. ავტომობილის მოახლოებისას დამკვირვებელი აღიქვამს ბგერებს, რომლის ტონის სიმაღლე უფრო მაღალია უძრავი ბგერის წყაროს ტონის სიმაღლეზე. დაშორებისას კი, პირიქით, აღიქვამს ბგერებს, რომლის ტონის სიმაღლე დაბალია.

4. დამკვირვებლისათვის ტონის სიმაღლე მკვეთრად მცირდება.

5. დოპლერის ეფექტი ნებისმიერი ტალღისთვისაა მართებული.



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 შემადგენელი 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 განუწყვეტლივ 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 ამოვხსნით ამოცანებს მექანიკურ ტალღებზე.

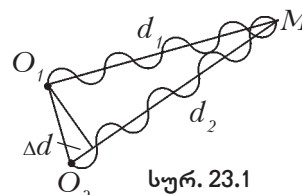
→ 6. რადგან სინათლის წყარო შორდება დამკვირვებელს, ამიტომ იგი აღიქვამს ნაკლები სიხშირის ტალღებს, ე. ი. ადგილი ექნება წითელი ფერისკენ გადახრას.

→ 7. საპირისპირო მოვლენას — გამოსხივების სიხშირის ზრდას — იისფერ ან ულტრაიისფერ წანაცვლებას უწოდებენ.

→ 8. ეს ფაქტი მიუთითებს, რომ გალაქტიკები და კვაზარები შორდებიან ერთმანეთს და კერძოდ დედამიწასაც.

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 ნახევარტალღების ნებისმიერი კენტი რიცხვი.

გარემოს მოცემული წერტილის რხევების ამპლიტუდა მინიმალურია, თუ ორი ტალღის, რომლებიც აღაგზნებენ რხევებს ამ წერტილში, სვლათა სხვაობა ნახევარტალღების 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,

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

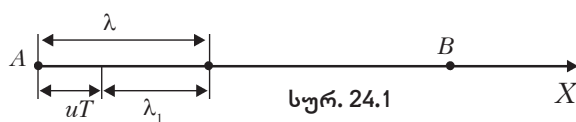
ამოხსნა

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 მსმენელბთან სხვადასხვა დროს მიდის. ამიტომ ორატორის სიტყვა გარკვევით არ ისმის.

მაგრამ იმავე დარბაზში, როცა ის მსმენელბითაა სავსე, ტანსაცმელი შთანთქავს ბგერით რხევებს, ამიტომ ასეთი დარბაზის აკუსტიკური (ბგერითი) თვისებები უმჯობესდება და ორატორის ხმა უკეთესად ისმის.

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.

1.9

შეამოწმათ თქვენი ცოდნა

ამოხსენით ამოცანები

1. წითელი 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 წმ-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;
 - დ. 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.

$$1. \quad c = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda}. \quad (*) \quad \mapsto (*): \nu \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ ჰც.}$$

$$2. \quad t = \frac{s}{\nu}. \quad (*) \quad \mapsto (*): \quad t_1 = 25 \text{ წმ}; \quad t_2 = 1,51 \text{ წმ.}$$

$3. \quad ? \quad k$ მოც.: $\lambda = 400 \text{ ნმ} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ მ}$ $\Delta d = 2,0 \text{ მკმ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ მ}$	ტალღები ერთმანეთს აძლიერებენ მაშინ, როდესაც ხვედებიან ერთმანეთს წერტილში სვლათა სხვაობით, რომელიც ტალღის სიგრძის ნახევრის ლუწი რიცხვის ტოლია. ასუსტებენ, როდესაც სვლათა სხვაობა ტალღის სიგრძის ნახევრის კენტი რიცხვის ტოლია.
--	---

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

$$\mapsto (*): \quad k = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ მ}}{4 \cdot 10^{-7} \text{ მ}} = 10, \text{ ე. ი. ტალღები ერთმანეთს აძლიერებენ.}$$

$4. \quad ? \quad l$ მოც.: $t = 1 \text{ წმ}$ $v_1 = 500 \text{ მ/წმ}$ $v_2 = 332 \text{ მ/წმ}$	$t = t_1 + t_2$, (1) სადაც t_1 არის დროის შუალედი, რომელშიც ტყვია მიდის სამიზნემდე, t_2 — დროის შუალედი ბგერის წარმოქმნიდან გასროლამდე.
---	---

$$t_1 = \frac{l}{v_1}. (2) \quad t_2 = \frac{l}{v_2}. (3)$$

$$(2) \wedge (3) \mapsto (1) \Rightarrow t = \frac{l}{v_1} + \frac{l}{v_2} \Rightarrow l = \frac{v_1 v_2 t}{v_1 + v_2}. \quad (*) \quad \mapsto (*): l = 200 \text{ მ}$$

$$5. \quad \lambda = \frac{v}{\nu}. \quad (*) \quad \mapsto (*): \quad \lambda_1 = 0,76 \text{ მ}, \quad \lambda_2 = 3,18 \text{ მ.}$$

6. შთაინთქმება გარემოს მიერ. გარდაიქმნება შინაგან ენერგიად.

7. ფანჯრიდან ბგერის არეკვლის გამო.

$$8. \quad t = \frac{l}{2v}. \quad (*) \quad \mapsto (*): \quad t = 0,1 \text{ წმ.}$$

9. ბგერითი ტალღების შესუსტებისას სვლათა სხვაობა ტალღის სიგრძის ნახევრის კენტი რიცხვის ტოლია, ე. ი. $\Delta d = \frac{\lambda}{2} (2k+1)$, (1) სადაც $k=0, 1, 2, 3 \dots$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}. \quad (2) \quad (2) \mapsto (1): \Rightarrow \Delta d = \frac{c}{2\nu} (2k+1) \Rightarrow \nu = \frac{c}{2\Delta d} (2k+1). \quad (*)$$

$$\mapsto (*): \quad \nu = 340(2k+1) \text{ ჰც, } k=0, 1, 2, \dots$$

ტესტის პასუხები

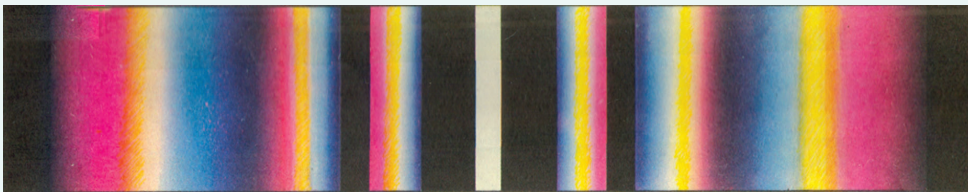
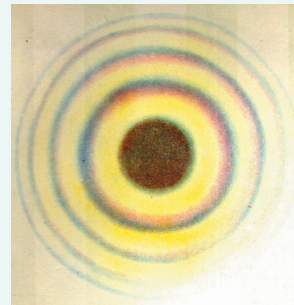
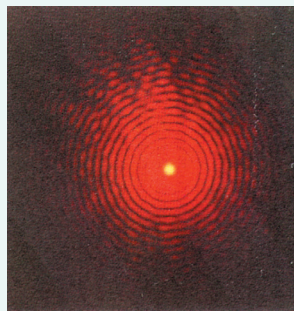
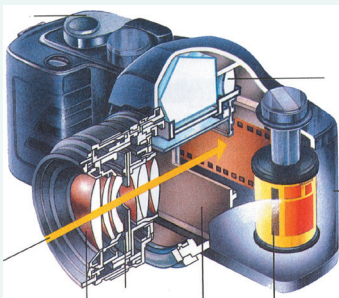
1	2	3	4	5
ა	ბ	ბ	ბ	გ

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.



სტანდარტთან კავშირი

ფიზ. XI.4. მოსწავლე იკვლევს სინათლის ორმაგ ბუნებას.

ამ თავში შესწავლილი საკითხების შესახებ ნახეთ მასალა ინტერნეტში მისამართებზე:

1. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph6/theory.html>
2. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph7/theory.html>
3. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph8/theory.html>
4. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph10/theory.html>
5. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph11/theory.html>
6. <http://www.edu.delfa.net/CONSP/meh18.html>
7. http://physics.nad.ru/Physics/Cyrillic/int_txt.htm#Wlb
8. http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1390.html
9. http://www.google.com/images?hl=en&q=diffraction+of+waves&um=1&ie=UTF-8&source=univ&ei=4JgLTlnlOuWHOKGtwdoO&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=4&ved=0CDEQsAQwAw
10. <http://www.physicsclassroom.com/class/waves/u10l3b.cfm>
11. <http://www.coastal.udel.edu/ngs/waves.html>
12. http://www.google.com/images?hl=en&q=interference+waves&revid=348344148&um=1&ie=UTF-8&source=univ&ei=c5kLTL1Zk5M40JGpGw&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=1&ved=0CB0QsAQwAA
13. <http://www.physicsclassroom.com/class/waves/u10l3c.cfm>
14. http://www.google.com/images?hl=en&q=polarization+waves&revid=1854423446&um=1&ie=UTF-8&source=univ&ei=tZkLTMHTB4OAOMTB9NMP&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=4&ved=0CC0QsAQwAw
15. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>
16. <http://www.physicsclassroom.com/class/light/u12l1e.cfm>

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 დაავადგენთ სინათლის ბუნებას. მანამდე კი გავეცნოთ, როგორ განსაზღვრეს სინათლის სიჩქარე.

დავალბა

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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ადეკვატურად იყენებს შესაბამის ცნებებს, კანონებს და ფორმულებს ამოცანების ამოსახსნელად.

→ მოყვანილი მოსაზრება მართებულია, რომ იყოს, მაშინ სიბნელეშიც დაგინახავდით.

სტანდარტთან კავშირი

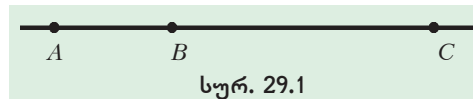
კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს; განსაზღვრავს მასთან, ერთად მონაცემების მოპოვების გზებს (საკითხის ირგვლივ ლიტერატურის მოძიებით).

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?

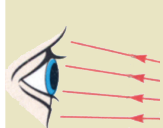
თუ C წერტილში სინათლემ მისვლა დააგვიანა და დამკვირვებელმა შეძლო გაეზომა სინათლის დაგვიანების τ დროის შუალედი, რომელიც სინათლემ გაზომილი $|BC|$ მანძილის გავლას მოანდომა, მაშინ



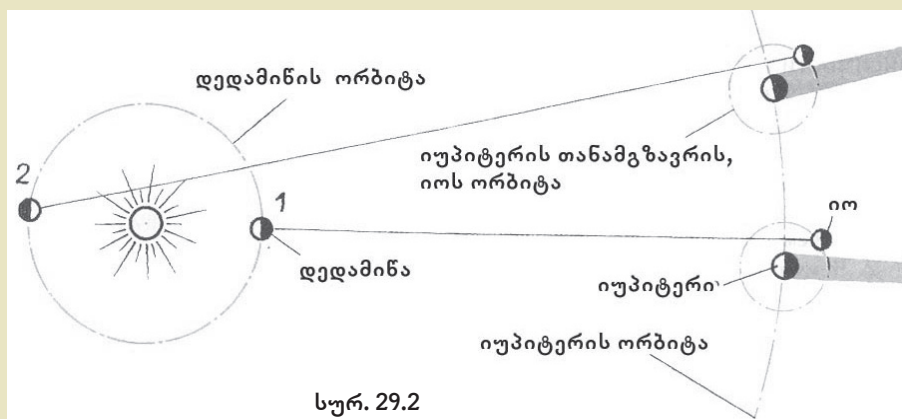
2. როგორ განსაზღვრავთ სინათლის სიჩქარეს?

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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიპოვებს ინფორმაციას სინათლეზე წარმოდგენების განვითარების შესახებ, წარადგენს პრეზენტაციის სახით.

1. თუ ისე მოხდებოდა როგორც წერია, მაშინ გამოდის, რომ სინათლე $|BC|$ მანძილის გავლას დროს არ ანდომებს. ეს იმას ნიშნავს, რომ სინათლის სიჩქარე უსასრულოდ დიდია. იგი მეცხეულად ვრცელდება.

2. სინათლის სიჩქარეს განვსაზღვრავთ $|BC|$ მანძილისა და τ დროის შუალედის შეფარდებით:

$$c = \frac{|BC|}{\tau}.$$

3. ამ მეთოდით დედამიწის ზედაპირზე სინათლის სიჩქარის გაზომვა შეუძლებელია. ვიცით, რომ სინათლის სიჩქარე 300 000 კმ/წმ-ია. დედამიწის ეკვატორის სიგრძე კი $l=2\pi R$, სადაც $R=6400$ კმ, $l=2\cdot 3,14\cdot 6400$ კმ=40 192 კმ. ამ მანძილს სინათლე $\approx 0,13$ წმ-ში გაივლის.

4. სურათზე გამოსახულია მზე, პლანეტა დედამიწა და მისი ორბიტა, პლანეტა იუპიტერი და მისი ორბიტა, იუპიტერის თანამგზავრი იო და მისი ორბიტა.

დედამიწა და იუპიტერი ბრუნავენ მზის ირგვლივ, იო ბრუნვას იუპიტერისა და მასთან ერთად მზის გარშემო.

5. იოს გარშემოვლის პერიოდი არის დროის შუალედი მის ორ მომდევნო გამოჩენას შორის. განვსაზღვროთ იგი საათის მეშვეობით.



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 ნთ-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.



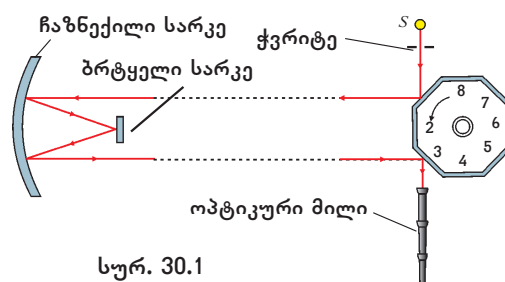
11. სინათლის სიჩქარის გაზომვის რა იდეა გამოიყენა რიომერმა?

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, რეზონანსა 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

6. დროის ათვლა დავიწყოთ იოს ერთ-ერთი გამოჩენის მომენტიდან. ჩავწეროთ წელი, თვე, რიცხვი, საათი, წუთი და წამი. ამ მომენტიდან ყოველი ერთი დღის, 18 საათისა და 28 წთ-ის შემდეგ იო კვლავ გამოჩნდება. შევადგინოთ ცხრილი, რომელშიც დაფიქსირებული იქნება დროის ის მომენტები, როცა იო მომავალში კვლავ გამოჩნდება.

7. ექვს თვეში დედამიწასა და იოს შორის მანძილი გაიზრდება დაახლოებით დედამიწის ორბიტის დიამეტრის ტოლი მანძილით.

8. ვერ დაინახავდა. იოდან წამოსული სინათლე დედამიწაზე დაგვიანებით მოვა, რადგან მან დამატებით უნდა გაიაროს დედამიწის ორბიტის ტოლი მანძილი.

9. რიომერს რომ შეძლებოდა დარჩენილიყო დედამიწის ძველი მდებარეობის ადგილას, მაშინ ის იოს დაინახავდა გამოთვლებით მიღებული დროის მომენტებში.

10. სინათლის სიჩქარე რომ განვსაზღვროთ საჭიროა, დედამიწის ორბიტის დიამეტრი გავყოთ იმ დროზე, რა დროშიც მან ეს მანძილი გაიარა, ე. ი. სინათლის დაგვიანების დროზე.

11. გამოყენებული იყო იდეა, რომელიც პარაგრაფის დასაწყისშია მოცემული.

12. ჭვრიტედან გამოსული სინათლე აირეკლება რვანახნაგა პრიზმის პირველი წახნაგიდან, მიემართება ანტონიოს მთისაკენ, სადაც მოთავსებული ჩაზნექილი და ბრტყელი სარკეებიდან არეკვლის შემდეგ ბრუნდება უკან, ეცემა პრიზმის მესამე წახნაგს, აირეკლება მისგან და შედის ოპტიკურ მილში.

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 ნახნაგიდან არეკლილ სინათლეს უკან დაბრუნებისას მეორე ნახნაგი დახვდება იმ მდებარეობაში, რომელშიც სურათზე მესამე ნახნაგია გამოსახული და სინათლე ოპტიკურ მილში მოხვდება.

დროის τ შუალედის განსაზღვრა რთული არ არის: $\tau = \frac{1}{8} = \frac{1}{8n_1}$, (2) სადაც T პრიზმის ბრუნვის პერიოდია, $n_1 = \frac{1}{T}$ — 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. დავადგინეთ, 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.

→ 13. არ მოხდება.

→ 14. პასუხი სახელმძღვანელოშია.

→ 15. $(1)^{(2)} \Rightarrow \frac{2l}{c} = \frac{1}{8n} \Rightarrow c = 16ln. (*)$

$\hookrightarrow (*) \Rightarrow c = 16 \cdot 35,426 \text{ კმ} \cdot 535 \text{ } 1/60 = 303246,56 \text{ კმ/წმ.}$

→ 16. სამყაროში უდიდესი სიჩქარეა ვაკუუმში სინათლის სიჩქარე $c=300\ 000 \text{ კმ/წმ.}$

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ისაუბროს სინათლეზე წარმოდგენების განვითარების შესახებ; აღწეროს სინათლის სიჩქარის გაზომვის ერთი ან მეტი მეთოდი.

2.2

სინათლის ნაკადი. სინათლის წერტილოვანი წყარო



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 გარემოცველ 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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ადგენს რაოდენობრივ კავშირს სინათლის ნაკადს, სინათლის ძალასა და განათებულობას შორის.

1. სინათლის მოქმედებით სხეულები თბება. ეს სინათლის მიერ ენერგიის გადატანის დამადასტურებელია.

2. სინათლის ენერგიის აღქმისას, განსაკუთრებული მნიშვნელობა თვალს აქვს.

3. თვალი ვერ აღიქვამს ინფრანითელ და უფრო გრძელი სიგრძის ტალღებს, ასევე ულტრაიისფერ და მასზე მოკლე სიგრძის ელექტრომაგნიტურ ტალღებს.

მასწავლებლის წიგნისათვის

4. თუ ბირთვის სხვადასხვა ნაწილი ერთმანეთისაგან არ განსხვავდება, მაშინ ის სინათლეს ყველა მიმართულებით ერთნაირად ასხივებს.

ასეთი სინათლის წყაროს გამოსხივებული სინათლის მოქმედება უნდა შევადგასოთ 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.

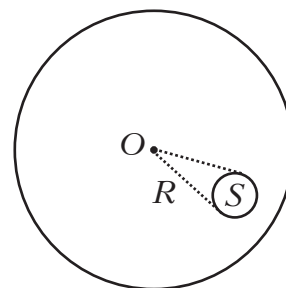


6. როგორია თქვენი აზრი, ვარსკვლავები შეიძლება განვიხილოთ როგორც სინათლის წერტილოვანი წყაროები? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე.

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

წარმოვიდგინოთ სინათლის წერტილოვანი წყარო და მის გარშემო R -რადიუსიანი სფერული ზედაპირი შემოვავლოთ. ამ სფეროს შიგნით წარმოვიდგინოთ კონუსი, რომლის წვეროს 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 ანათეთ 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.

5. ასეთ შემთხვევაში ბირთვის ზომები შეიძლება უგულებელვყოთ.

6. ვარსკვლავები იმდენად დაშორებულია ჩვენგან, რომ, მათი ძალიან დიდი ზომების მიუხედავად შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც წერტილოვანი წყაროები.

7. არავითარი სინათლის წერტილოვანი წყარო არ არსებობს. შემოგვაქვს რა სინათლის წერტილოვანი წყაროს ცნება, გამოვყოფთ რეალური წყაროს იმ თვისებებს, რომლებიც ფოტომეტრიისათვისაა არსებითი და არ ვიხილავთ წყაროს მეორეხარისხოვან თვისებებს. წერტილოვანი წყარო ისეთივე იდეალიზაციაა, როგორც ფიზიკაში მიღებული სხვა მოდელები — ნივთიერი წერტილი, აბსოლუტურად მყარი სხეული, იდეალური აირი და სხვა.

8. სხეულოვანი კუთხის სიდიდე არ არის დამოკიდებული სფეროს რადიუსზე, ვინაიდან მის მიერ ამოჭრილი S ფართობი რადიუსის კვადრატის პროპორციულია.

მიეცით მითითება როგორ ჩაატარონ საშინაო ცდა.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

2.3

სინათლის ძალა. განათება

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

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

ნერტილოვანი 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 ნერტილოვანი წყაროს მიერ ერთი სტერადიანის ტოლ სხეულოვან კუთხეში გამოსხივებული სინათლის ნაკადი.



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 ნერტილოვან წყაროს მოვათავსებთ?

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

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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ადგენს რაოდენობრივ კავშირს სინათლის ნაკადს, სინათლის ძალასა და განათებულობას შორის.

1. ვინაიდან სრული სხეულოვანი კუთხე 4π სტერადიანს შეიცავს, ამიტომ $(1) \Rightarrow I = \frac{\Phi}{4\pi}$.

2. ვარვარის ნათურა სინათლეს სხვადასხვა მიმართულებით ერთნაირად არ ასხივებს, ამიტომ სინათლის ძალა სხვადასხვა მიმართულებით ერთნაირი არ არის.

3. პროექტორი, ფანარი. ამ მიმართულებით სინათლის ძალა იზრდება.

4, 5. სინათლის წყარო საგნების ზედაპირებს თითქმის ყოველთვის არათანაბრად ანათებს. მაგიდის ზემოთ დაკიდებული ნათურა ყველაზე კარგად მაგიდის ცენტრს ანათებს. მაგიდის კიდეები განათებულია გაცილებით სუსტად. სინათლის წერტილოვანი წყაროს შემთხვევაშიც მაგიდის ცენტრი უკეთესად იქნება განათებული ვიდრე კიდეები.

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**

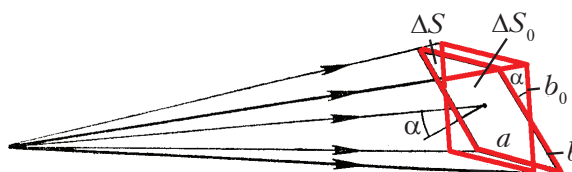


9. განსაზღვრეთ სფეროს ცენტრში მოთავსებული წყაროდან მის ზედაპირზე სხივების დაცემის კუთხე.

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

წყარომდე მანძილის კვადრატისა.

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 .

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

→ 6. ორი ერთნაირი სანთელი საგანს უკეთესად ანათებს ვიდრე ერთი.

7. ერთმანეთთან ახლოს მოთავსებული ორი სინათლის წყარო ერთ წყაროსთან შედარებით მოცემული მიმართულებით ასხივებს ორჯერ მეტ ენერგიას.

8. ზედაპირის განათებულობა დამოკიდებულია სინათლის წყაროს ძალაზე და ზედაპირამდე მანძილზე.

→ 9. სფეროს ცენტრში მოთავსებული წყაროდან მის ზედაპირზე სხივების დაცემის კუთხე ნულის ტოლია.

10. შემცირდება.

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 ნერტილოვანი 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 გაზომის — **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.

საშინაო 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?

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს.

სინათლის ინტერფერენცია და მისი ზოგიერთი გამოყენება

2.4



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

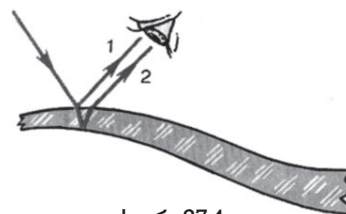
სინათლის ინტერფერენციის, როგორც ტიპური ტალღური მოვლენის აღმოჩენა და გამოკვლევა, დაკავშირებულია ინგლისელი მეცნიერის თომას იუნგის (1833-1839) სახელთან. მანვე შემოიტანა ტერმინი ინტერფერენცია. იუნგმა დაადგინა ინტერფერენციული სურათის მიღების ძირითადი პირობა: „ინტერფერირებს ერთი და იმავე სინათლის ორი ნაწილი“. თანამედროვე ტერმინოლოგიით, ამას **კოჰერენტულობის პირობა** ეწოდება.

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



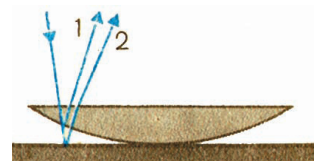
3. გაიხსენეთ, კიდეც სად გინახავთ ინტერფერენციული სურათი?

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.



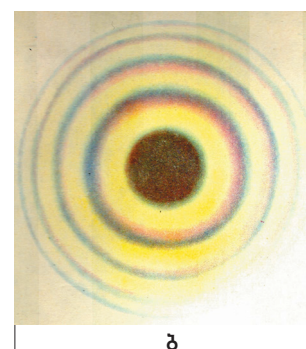
სურ. 37.1

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.



ბ

ჰაერის თხელ ფენაში მიღებულ რგოლებს ნიუტონის რგოლები ეწოდება.

სურ. 37.3



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

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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს ანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

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

2. ერთნაირი სიხშირის ტალღებს, რომლებიც ირხევიან ერთნაირი ფაზებით ან შენარჩუნებულია მუდმივი ფაზათა სხვაობა, კოჰერენტული ტალღები ეწოდება.

3. წყალზე თხელ ფენად დაღვრილ ნავთობის ზედაპირზე.

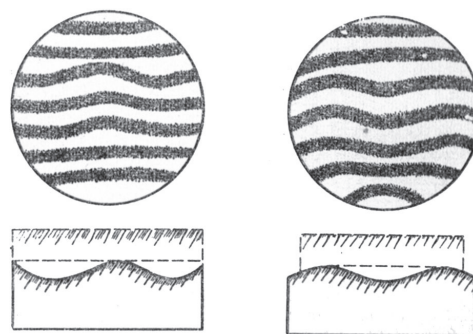
4. მიიღება ბნელი და ნათელი რგოლები.

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. ხელსაწყოს 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.



ა. ინტერფერენციული ზოლების გამრუდება ზედაპირის ამოზნექილობის გამო.

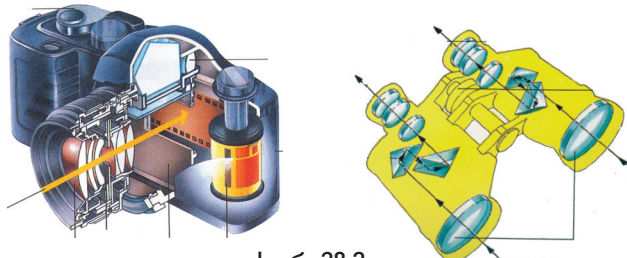
ბ. ინტერფერენციული ზოლების გამრუდება ზედაპირის ჩაზნექილობის გამო.

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.

→ 5. გამჭვირვალე ზედაპირზე დაცემისას სინათლის ენერგიის ნაწილი აირეკლება, ნაწილი გარდატეცდება, ნაწილი შთაინთქმება.

6. თანამედროვე ოპტიკური ხელსაწყოები შედგება დიდი რაოდენობის ოპტიკური მინებისაგან.

→ 7. დაცემის კუთხის გადიდებით ზედაპირიდან არეკლილი სინათლის ინტენსივობა იზრდება.

8. $\approx 50-90\%$. ხშირად ხელსაწყოში გადის მასში შესული სინათლის მხოლოდ $10-20\%$.

9. გამოსახულების განათებულიობა სუსტია.

ჩვენი მიზანია, გამოსახულება რაც შეიძლება განათებული იყოს.



10. რა უნდა გაკეთდეს გამოსახულების განათებულობის გასა-
დიდებლად?

ოპტიკური მინების ზედაპირებიდან არეკლილი სინათლის ენერგიის შესამცი-
რებლად მის ზედაპირს ფარავენ თხელი აფსკით. აფსკის სისქეს და გარდატეხის
მაჩვენებელს ისე არჩევენ, რომ არეკლილ სინათლეში წარმოიშვას ინტერფერენცი-
ული 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 ტალღე-
ბისათვის 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 შესაძლე-
ბელი გახდა, 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 გამოს-
ხივებული ნარინჯისფერი სპექტრული ხაზის ტალღის სიგრძეზე 1650763,73-
ჯერ მეტი.

*ცდებით დავადგინეთ, რომ სინათლის კოჰერენტული ტალღების ზედდები-
სას 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 დამადას-
ტურებელ მოვლენას გავეცნობით.*

→ 10. გამოსახულების განათებულიობის გასაღიდეზლად საჭიროა ოპტიკური მინებიდან არეკლილი სინათლის ენერგიის შემცირება.

→ 11. ერთდროულად ყველა სიგრძის ტალღის ჩაქრობა შეუძლებელია.

12. რადგან ერთდროულად ყველა სიხშირის არეკლილი ტალღის ჩაქრობა შეუძლებელია, ამიტომ აფსკის სისქეს არჩევენ ისეთნაირად, რომ სინათლის მართობულად დაცემისას სრულ ჩაქრობას სპექტრის შუა ნაწილის ტალღისათვის — მწვანე სინათლისათვის ჰქონდეს ადგილი. ასეთ შემთხვევაში შედეგი ყველაზე კარგი იქნება, რადგან თვალი ყველაზე მგრძნობიარეა მწვანე ფერისადმი.

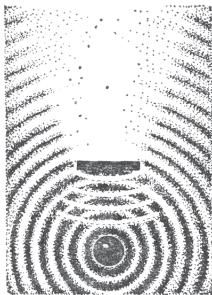
13. გასხივოსნებული ოპტიკის ობიექტის არეკლილ სხივებში იასამნის ელფერი აქვს, რადგან მათი არეკვლისას ისინი ერთმანეთს უმნიშვნელოდ ასუსტებენ.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლეს უნდა შეეძლოს ინტერფერენციის მოვლენის აღწერა, როგორც სინათლის ტალღური ბუნების გამოვლენა. შესაბამისი მაგალითების მოყვანა. უნდა შეძლოს ისაუბროს ინტერფერენციის გამოყენების შესახებ.

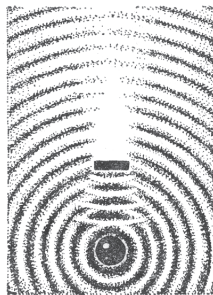
2.5

მექანიკური ტალღების და სინათლის დიფრაქცია

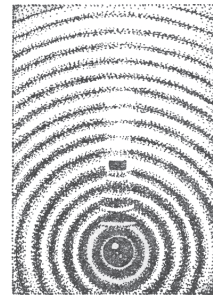
ჩავატაროთ ცდები: წყლის ზედაპირზე აღძრულ ტალღებს დავუხვედროთ სხვადასხვა ზომის დაბრკოლება და დავაკვირდეთ. ფოტოებზე ცდის შედეგებია დაფიქსირებული (სურ. 40.1).



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.



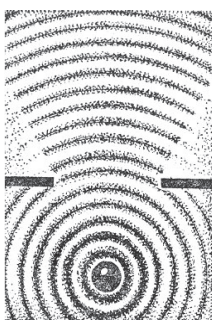
გ. როდესაც დაბრკოლების ზომა ნაკლებია ტალღის სიგრძეზე ან მისი რიგისაა, მაშინ მის მიღმა ტალღები ვრცელდება ისე, თითქოს დაბრკოლება სულაც არ ყოფილიყოს.

სურ. 40.1

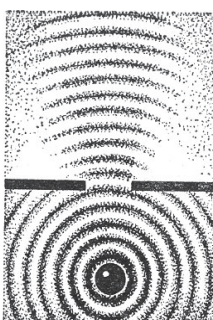


1. ჰგავს ერთმანეთს ცდებში თქვენ მიერ შემჩნეული და 119.1 ფოტოებზე გამოსახული სურათები?

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

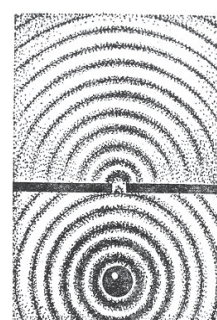


ა. ტალღამ გაირა განიერი ხვრელი, თითქმის ფორმის შეუცვლელად. მხოლოდ ნაპირებთან შეიმჩნევა ტალღის ზედაპირის მცირე გამრუდება.



ბ. ხვრელის დავიწროებისას 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 მერხვი სხეული — ტალღების წყარო — ეკრანის ხვრელშია.



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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს.

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 გამოსახულია 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.

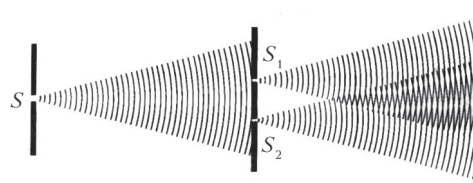


3. როგორია თქვენი აზრი, ბგერით ტალღას აქვს დაბრკოლების შემოვლის უნარი? მოიყვანეთ ვარაუდის დამადასტურებელი მაგალითი.

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?

→ 3. დაბრკოლების შემოვლის უნარი ბევრით ტალღასაც აქვს. ეს რომ ასე არ იყოს, ვერ გავიგონებდით მანქანის ხმას, რომელიც შენობის კუთხის მიღმა მოძრაობს და თვალით არ ჩანს. ვერც მათ გავაგონებთ ვისაც, ვთქვათ, ხეები ეფარება.

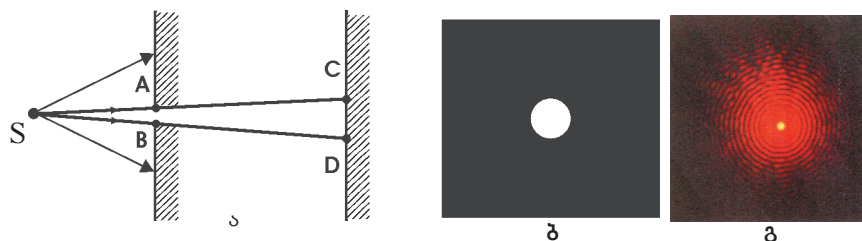
4. დაკვირვებებით ვიცით, სინათლეს არა აქვს უნარი ხეს შემოუაროს.

5. თუ სინათლე წარმოადგენს ტალღურ პროცესს, მაშინ მისთვის გარკვეულ პირობებში ადგილი უნდა ჰქონდეს დიფრაქციის მოვლენას.

→ 6. რადგან ხვრელები ძალიან ახლოსაა და ვიწროა, ამიტომ მათგან გამოსული სფერული ტალღები ერთმანეთს ფარავს.

→ 7. დიფრაქცია მკვეთრად გამოსახულია მაშინ, როდესაც დაბრკოლების ან ხვრელის ზომა ტალღის სიგრძის რიგისაა. სინათლის ტალღის სიგრძე კი ისე მცირეა, რომ მისი ზომის ხვრელის გაკეთება ადვილი არ არის.

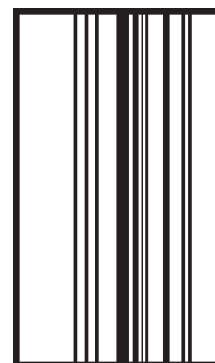
ჩაატარეს ცდა: ვიწრო წრიულ AB ხვრელში გამავალი სინათლით ეკრანზე მიიღეს ნათელი CD წრე (სურ. 42.1, ა, ბ).



სურ. 42.1

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 ვიწრო 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.

→ 8. აღწერილი მოვლენები სინათლის წრფივი გავრცელების კანონის დარღვევაზე — სინათლის დიფრაქციაზე მიუთითებს.

↗ 9. მართალია ანასტასია.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს აღწეროს მექანიკური ტალღების დიფრაქციის მოვლენა და ამ მოვლენის გამოწვევის აუცილებელი პირობა. აგრეთვე სინათლის დიფრაქცია — როგორც მისი ტალღური ბუნების გამოვლენა. უნდა შეძლოს შესაბამისი ცდების აღწერა.

დიფრაქციული მესერი

ვინრო 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 განათებულია იზრდება ეკრანის იმ ადგილებში, სადაც სხივები ერთმანეთს აძლიერებენ.

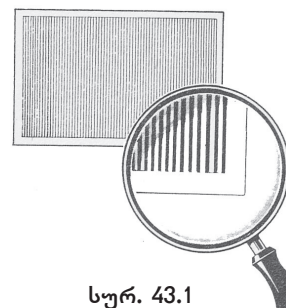


2. როგორ შეიცვლება სურათი, თუ პარალელური ჭვრიტეების რაოდენობას გავადიდებთ?

მრავალი პარალელური ვინრო ჭვრიტეს ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთისაგან გამოყოფილი არიან გაუმჭვირი შუალედებით, 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 შუალედების მონაცვლეობას. სინათლის გამბნევე შტრიხებს ხაზავენ საჭრისით ლითონის ფირფიტის გახეხილ ზედაპირზე.

თანამედროვე დიფრაქციულ მესერზე 1 მმ-ზე 2400 ხაზზე მეტია.



სურ. 43.1



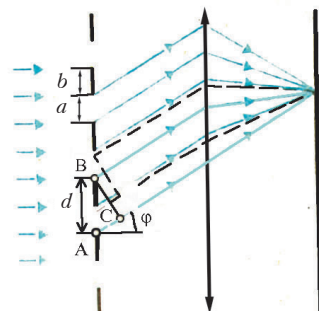
3. როგორია თქვენი ვარაუდი, მექანიკური დამუშავებით შესაძლებლად მიგაჩნიათ ასეთი დიფრაქციული მესრის დამზადება?

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 გაზომვა. გავარკვიოთ, როგორ.

43.2 სურათზე დიფრაქციული მესრის ძალიან გადიდებული სურათია გამოსახული.



სურ. 43.2

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

1. ვიწრო ჭვრიტეში სინათლის სუსტი კონის გასვლის გამო.

2. ჭვრიტეების რაოდენობის გადიდებით ეკრანზე მისული სინათლის ენერგია იზრდება და ბნელი ზოლებით გამოყოფილი ინტენფერენციული მაქსიმუმები საკმაოდ ნათელია.

3. მექანიკური დამუშავებით ასეთი დიფრაქციული მესრის დამზადება შეუძლებელია.

გამჭვირვალე ჭვრიტეების (ან ამრეკლი ზოლების) სიგანე აღვნიშნოთ a -თი, ხოლო გაუმჭვირი შუალებების (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 ქმნის 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.

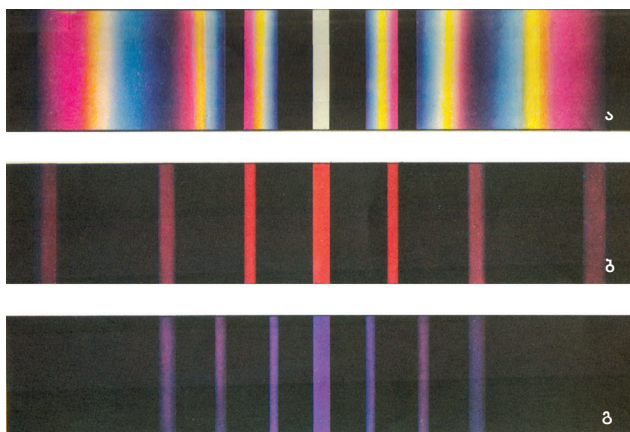
43.2 სურათზე მესრის უკან შემკრები ლინზა და, მის ფოკალურ სიბრტყეში, ეკრანია მოთავსებული.



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 - ნითელის; გ. მონოქრომატული იისფერის.

→ 4. დიფრაქციის გამო ჭვრიტეებიდან გამოსული სინათლე ვრცელდება სხვადასხვა მიმართულებით.

5. ჭვრიტეებიდან გამოსული ტალღები კოჰერენტულია, ამიტომ ისინი გვაძლევენ ინტენფერენციულ სურათს.

6. ტალღები ერთმანეთს აძლიერებენ სივრცის იმ წერტილებში, სადაც ხვდებიან ერთმანეთს სვლათა სხვაობით, რომელიც ტალღის სიგრძის ჯერადია.

→ 7. ლინზიდან გამოსული პარალელური სხივები ფოკუსირდება ერთ წერტილში, სადაც ხდება მათი შეკრება და ურთიერთგაძლიერება.



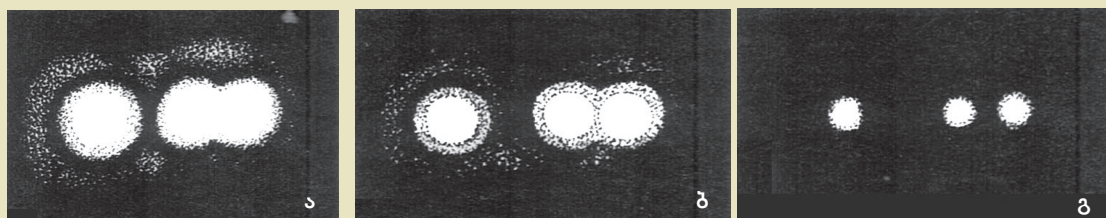
8. სპექტრის რიგითი ნომრის გადიდებით, როგორ იცვლება სპექტრის სიგანე? გადაფარავენ თუ არა ამ დროს მეზობელი სპექტრები ერთმანეთს?

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.

8,9. სპექტრის რიგითი ნომრის გადიდებით სპექტრის სიგანე იზრდება (სურ. 123.1,ა). ამ დროს მეზობელი სპექტრები ერთმანეთს გადაფარავენ და მათი გამოკვლევა ძნელდება. ცხადია, ნაკლები რიგითი ნომრის სპექტრის გამოკვლევა უფრო ადვილია.

10. უფრო დიდი დიამეტრის ობიექტივით მიღებულია 45.1, გ სურათი.

11. ჩვენი წამნამები წარმოადგენს უხეშ დიფრაქციულ მესერს, რადგან მოჭუტული თვალით კაშკაშა სინათლის წყაროს შეხედვისას შევამჩნივთ ცისარტყელასებრ ფერებს. თეთრი სინათლე დაიშალა სპექტრად წამნამების ირგვლივ დიფრაქციის გამო.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს აღწეროს დიფრაქციის მოვლენის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი გამოყენების — დიფრაქციული მესერის მოწყობილობა და დანიშნულება. დიფრაქციული მესერის მეშვეობით მიღებული ინტერფერენციული სურათის სქემატური გამოსახვა და სურათის მიხედვით ტალღის სიგრძის ფორმულის დადგენა.

2.7

სინათლის ტალღების განივობა. სინათლის პოლარიზაცია



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 ნინალმდეგობის გარეშე?

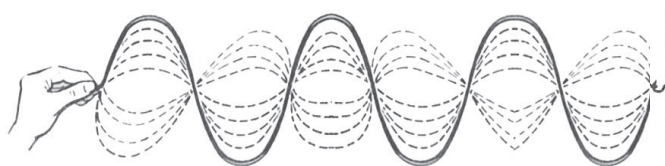
საკითხი გადავწყვიტოთ ექსპერიმენტის მეშვეობით მარტივი მექანიკური მოდელის მაგალითზე.



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

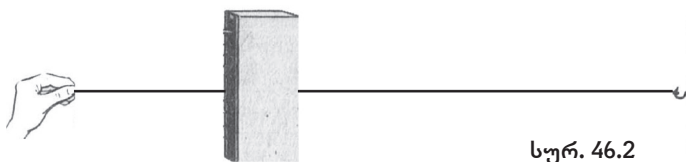
ვარაუდის მართებულობა შეამოწმეთ ცდით.

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,

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს ანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;

1. სინათლის ინტერფერენციასა და დიფრაქციაზე დაკვირვებით დაადგინეს, რომ სინათლეს ტალღური თვისებები აქვს.

2. გრძივ ტალღაში ადგილი აქვს შეკუმშვის დეფორმაციას. ამ დეფორმაციასთან დაკავშირებული დრეკადობის ძალები წარმოიშობა როგორც მყარ სხეულში, ისე სითხესა და აირში. ეს ძალები იწვევს გარემოს ცალკეული უბნების რხევებს. ამიტომ გრძივი ტალღა ვრცელდება ყოველგვარ გარემოში.

3. განივი ტალღა მხოლოდ მყარ გარემოში ვრცელდება.

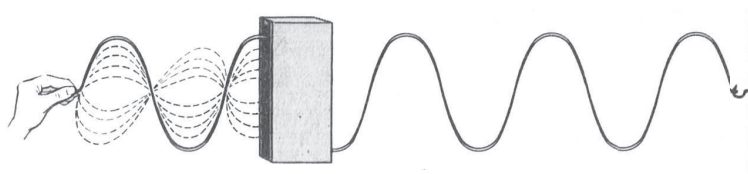
4. რადგან განივი ტალღა მხოლოდ მყარ სხეულებში ვრცელდება, ამიტომ ეთერი მყარ მდგომარეობაში უნდა იყოს.

5. მყარ ეთერში სხეულების მოძრაობა წინააღმდეგობის გარეშე წარმოუდგენელია. მაგრამ თუ სხეულებზე ეთერის მხრიდან წინააღმდეგობის ძალა იმოქმედებდა, მაშინ ისინი გაჩერდებიან და სამყარო ისე არ იქნება მონყობილი როგორც არის.

6. შესაძლებელია. ამისათვის რეზინის ზონრის ერთი ბოლო დავამაგროთ. მეორე ბოლოთი ოდნავ გავჭიმოთ და თოკის მართობულად სწრაფად ვარხიოთ ყველა შესაძლო მიმართულებით. ზონარში აღიძვრება განივი ტალღა, რომელშიც რხევები ყველა მიმართულებით წარმოებს.

7. ცდა გვიჩვენებს, ნებისმიერი მიმართულების რხევებიდან ყუთი „გამოყოფს“ რხევებს ერთ გარკვეულ სიბრტყეში.

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

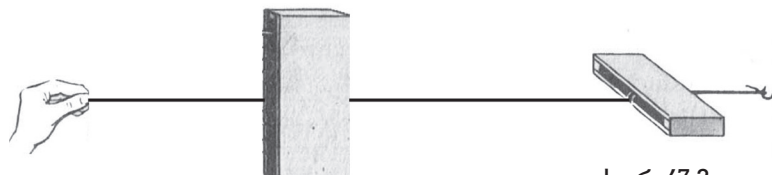


სურ. 47.1

ასეთ ტალღებს პოლარიზებული ეწოდება. მოვლენას კი — პოლარიზაცია.

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

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

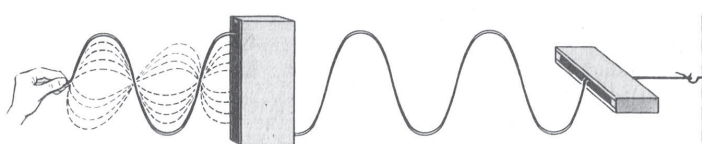


სურ. 47.2

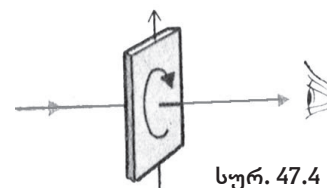


8. გავა თუ არა მეორე ყუთში ტალღები, თუ თოკის დასაწყისში ისევ აღვძრავთ არაპოლარიზებულ ტალღებს? ვარაუდი შეამოწმეთ ცდით.

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.

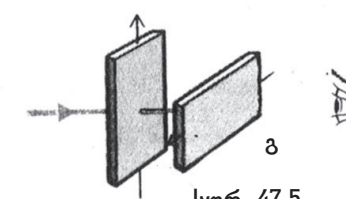
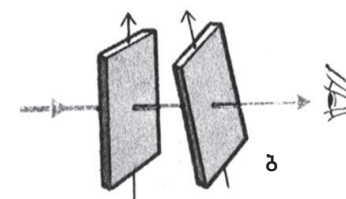
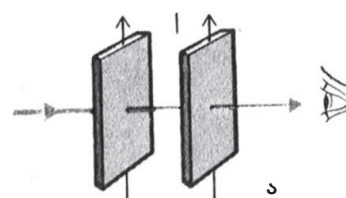
ტურმალინი — მწვანე შეფერილობის მქონე კრისტალი.
პოლაროიდი — ფირფიტა, რომელსაც სინათლის პოლარიზაციის უნარი აქვს.



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).

შევამჩნიეთ, 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

→ 8. მეორე ყუთში ტალღები არ გავა.

→ 9. ფირფიტაში გასული სინათლის ენერგია არ იცვლება.



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 ჰორიზონტისადმი 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.

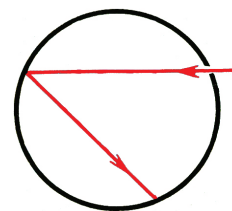


სინათლის პოლარიზაცია, პოლარიზიდი

საშინაო ცდა

48.1 სურათზე გამოსახულია სფეროს ფორმის გაუმჭვირვალე სხეულის პატარა ხვრელში შემავალი და შიგა ზედაპირიდან არეკლილი სხივი. ივარაუდე, კედლებიდან მრავალჯერადი არეკვლის შემდეგ გამოვა თუ არა სხივი ხვრელიდან? ვარაუდის მართებულობა შეამოწმე სურათით — დახაზე სხივის შემდგომი სვლა.

ქალაქისგან გააკეთე ბურთი. გაუკეთე პატარა ხვრელი და გაანათე. დააკვირდი ხვრელს სხვადასხვა კუთხით. როგორი ფერის ჩანს ხვრელი? შეეცადე ახსნა შემჩნეული მოვლენა.



სურ. 48.1

10, 11. ღერძებს შორის კუთხის გადიდებასთან ერთად მეორე ფირფიტიდან გამოსული სინათლე თანდათან სუსტდება და, როდესაც ღერძები ერთმანეთის მართობი გახდება, სინათლე მისგან აღარ გამოდის, იგი მთლიანად შთაინთქმება მეორე ფირფიტის მიერ.

12. რადგან პირველი ფირფიტის ბრუნვა არ ცვლის მასში გასული სინათლის ინტენსივობას, შეიძლება დავასკვნათ: სინათლე განივი ტალღაა. ჩვეულებრივი წყაროდან გამოსული ტალღების კონაში არის ყოველგვარი მიმართულების რხევები, რომლებიც სინათლის გავრცელების მიმართულების მართობული არიან. ასეთ ტალღას ბუნებრივი ეწოდება. რადგან მეორე ფირფიტის მობრუნებით მისგან გამოსული სინათლის ინტენსივობა იცვლება და მისგან სინათლე არ გამოდის, როდესაც ფირფიტის ღერძები ურთიერთმართობია, შეიძლება დავასკვნათ: პირველი ფირფიტიდან გამოსული ტალღა პოლარიზებულია. განსხვავებით ბუნებრივი სინათლისაგან, რომელსაც შეიძლება არაპოლარიზებული ვუწოდოთ.

13. ფოტომულსიაზე მოქმედებს სინათლის ტალღის ელექტრული ველი.

14. შემხვედრი ავტომობილის შუქი მძღოლს თვალებს ჭრის, რის გამოც მას გზაზე რაიმეს დანახვა ძალიან უჭირს.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

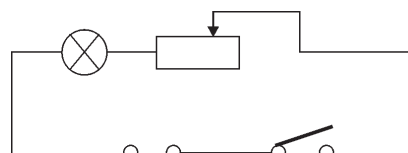
- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს აღწეროს მექანიკური ტალღების და სინათლის პოლარიზაცია. შესაბამისი ცდები. იმსჯელოს, როგორ დასაბუთდა სინათლის ტალღის განივობა სინათლის პოლარიზაციის მეშვეობით. ისაუბროს ამ მოვლენის პრაქტიკაში გამოყენების შესახებ.

შავი სხეულის გამოსხივება

2.8

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?

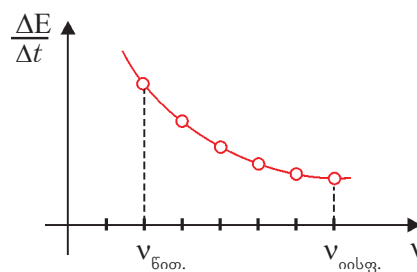
ვარაუდის მართებულობა შევამოწმოთ ცდით: ნელ-ნელა გადავაადგილოთ რეოსტატის ცოცხა მარცხვნივ და დავაკვირდეთ ნათურას. შევამჩნიეთ: ნათურას სპირალი ჯერ წითლდება, შემდეგ მისი კაშკაში თანდათან იზრდება, სპექტრში სხვა ფერებიც გამოჩნდება და ბოლოს თეთრ სინათლეს გამოასხივებს. აქედან გამომდინარეობს: ტემპერატურის გადიდებით 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 შთანთქმოს სითბური გამოსხივება. ცდებით დადგენილია: რაც მეტ ენერგიას ასხივებს სხეული მუდმივ ტემპერატურაზე, იმავე სპექტრული შედგენილობის მით მეტ ენერგიას შთანთქმავს იმავე ტემპერატურაზე.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიპოვებს ინფორმაციას სინათლეზე წარმოდგენების განვითარების შესახებ, წარადგენს პრეზენტაციის სახით.

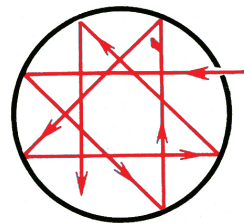
1. ომის კანონის თანახმად $I = \frac{U}{R}$ წრედში გამავალი დენი გაიზრდება, $Q = I^2 R_1 t$ ფორმულის გამოყენებით ვადგენთ: ნათურაში დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბო გაიზრდება. ნათურას სპირალი უფრო გავარვარდება და აკაშკაშდება.

2. სხეულის თანდათან გახურებისას იგი ჯერ იწყებს სითბური ტალღების — უხილავი ინფრანითელი სხივების გამოსხივებას, შემდეგ ხილული წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, ლურჯი, იისფერი და უხილავი ულტრაიისფერი სხივების.

3. სურათზე გამოსახულ გრაფიკიდან ვადგენთ: ენერგიის მეტი ნაწილი მოდის წითელ ფერზე ვიდრე ყვითელ-მწვანე ნაწილზე, როგორც თვალთ გვეჩვენება.

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



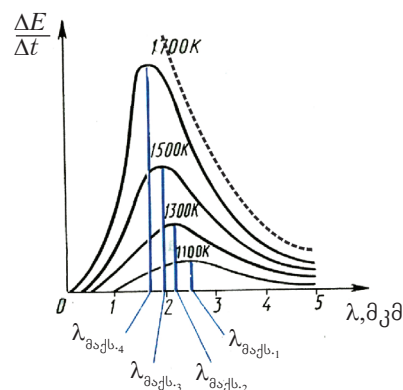
4. როგორია თქვენი ვარაუდი: არსებობს თუ არა აბსოლუტურად შავი სხეული?

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.



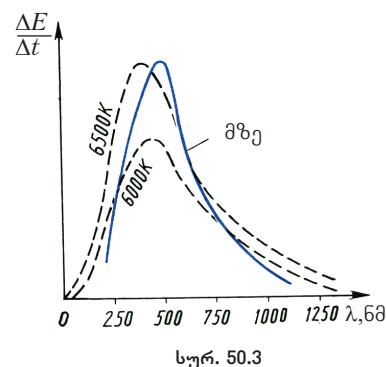
სურ. 50.2

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 წანაცვლების კანონს: **ტალღის სიგრძე, რომელზედაც აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების მაქსიმუმია, უკუპროპორციულია აბსოლუტური ტემპერატურის.**

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

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

→ 4. აბსოლუტურად შავი სხეული არ არსებობს. ის ისეთივე იდეალიზაციაა როგორც ნივთიერი წერტილი, იდეალური აირი, აბსოლუტურად მყარი სხეული და სხვა.

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 შთანთქავს 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.

→ 5. მზის ზედაპირის ტემპერატურა დაახლოებით 6200 K-ია.

2.9

ფოტოეფექტი

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 შევამჩნიეთ, ელექტრომეტრი არ განიმუხტება ძალიან კაშკაშა სინათლითაც კი.



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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს ფოტოეფექტის ექსპერიმენტს და აკეთებს შესაბამის დასკვნებს სინათლის კვანტური ბუნების შესახებ.

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

1. ამ ფაქტის ახსნა შეიძლება ერთადერთი დაშვებით: სინათლე იწვევს ფირფიტისა და ელექტრონების ამოგდებას. როდესაც ფირფიტა დამუხტულია უარყოფითად, მისგან ამოტყორცნილი ელექტრონები განიზიდებიან ფირფიტისაგან და იგი განიმუხტება.

2. როდესაც ფირფიტა დამუხტულია დადებითად, სინათლის მიერ ფირფიტისაგან ამოგდებული ელექტრონები მიიზიდებიან მის მიერ და ბრუნდებიან მასზე. ამიტომ ელექტრომეტრის მუხტი არ იცვლება.

3. ცდის შედეგიდან შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა: თუთიის ფირფიტისაგან ფოტოეფექტს იწვევს ელექტრომაგნიტური ტალღების სპექტრის ულტრაიისფერი ნაწილი.

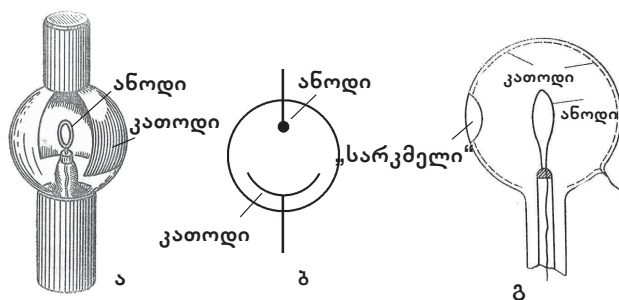
მაშასადამე, ექსპერიმენტულად დაადგინეს, რომ სინათლეს აქვს უნარი ნივთიერებიდან ამოაგდოს ელექტრონი, ე.ი. ელექტრონი სინათლისგან იძენს ისეთ ენერგიას, რომ ასრულებს ე.წ. გამოსვლის მუშაობას და ამოვარდება მისგან. ამ თავისთავად მარტივი ფაქტის ახსნა იმ პერიოდში გაბატონებული სინათლის ტალღური თეორიით ვერ შეძლეს. 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 კა-



სურ. 53.1

თოდია. 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.

→ 4. შუქმგრძნობიარე შრეზე სინათლის დაცემა გამოიწვევს მისგან ელექტრონების ამოტყორცნას.

5. წრედში დენი გაივლის. გარე წრედში ელექტრონები მოძრაობს დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან დადებითისკენ.

6. დენის წყაროს გარეშე ანოდის და კათოდის ერთმანეთთან მიერთების შემდეგ წრედში გაივლის სუსტი ფოტოდენი, რადგან კათოდიდან სინათლით ამოგდებული ელექტრონების რაღაც ნაწილი მიაღწევს ანოდს.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ფოტოეფექტის მოვლენის აღწერა, როგორც სინათლის კვანტური ბუნების დადასტურება, შესაბამისი ცდა; ფოტოელემენტის მოწყობილობა და მისი გამოყენება.

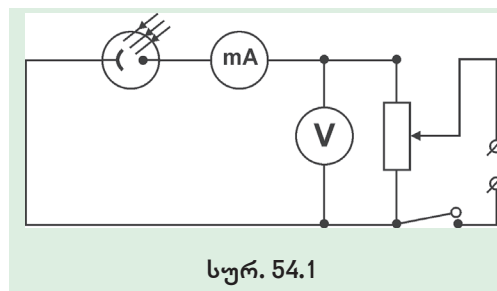
2.10

ფოტოელემენტის კანონები

ავანცოთ ნრედი 54.1 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით (სურ. 54.2).

ჩავრთოთ ჩამრთველი. პოტენციომეტრის მეშვეობით ანოდსა და კათოდს შორის ძაბვა გავზადოთ ნულის ტოლი. შევხედოთ მილიამპერმეტრს, მისი ისარი გადახრილი არ არის.

გამანათებელი ფოტოელემენტიდან $\approx 40\text{სმ}$ -ზე მოვათავსოთ. გავანათოთ ფოტოელემენტი და დავაკვირდეთ, შევამჩნიეთ, მილიამპერმეტრი დენს გვიჩვენებს.



სურ. 54.1



1. მიუთითებთ 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 ძაბვის თან-

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



სურ. 54.2



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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს ფოტოეფექტის ექსპერიმენტს და აკეთებს შესაბამის დასკვნებს სინათლის კვანტური ბუნების შესახებ.

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

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- განსაზღვრავს შესაბამისი ინფორმაციის მოძიების წყაროებს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით);
- განსაზღვრავს კვლევის პირობებს და ჩატარების ეტაპებს;
- ირჩევს კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელსაწყოებს/ აღჭურვილობას/ინსტრუმენტებს, ასაბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ჩანაწერები).

კვლ. XI/XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;
- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;
- გეგმავს და ატარებს საკონტროლო ცდას;
- იყენებს სათანადო წესებს საკუთარი და სხვათა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;
- განიხილავს დაკვირვებისა და გაზომვების დროს გამოვლენილ მოულოდნელობებს, ცდილობს მათ ახსნას;
- აფასებს, იძლევა თუ არა გამოტანილი დასკვნები მორიგი ვარაუდის გამოთქმის საშუალებას;
- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას;
- შეიმუშავებს გამოყენებული მეთოდების გაუმჯობესების გზებს.

2. ანოდსა და კათოდს შორის ძაბვის გადიდებით ანოდური დენის გადიდება მიუთითებს ანოდზე მიღწეული ელექტრონების რაოდენობის გადიდებაზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ როცა ელექტროდებს შორის ძაბვა მცირეა, მაშინ ანოდზე გადადის კათოდიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების ის ნაწილი, რომლებსაც საკმარისი კინეტიკური ენერგია აქვთ, დანარჩენები ბრუნდებიან კათოდზე, ამიტომ ძაბვის გადიდებით კვლავ იზრდება ანოდზე მიღწეული ელექტრონების რაოდენობა.

3. ნაჯერობის დენის დროს კათოდიდან ამოტყორცნილი ფოტოელექტრონების რაოდენობა და ანოდზე მისული ელექტრონების რაოდენობები ერთმანეთის ტოლია.

4. ნაჯერობის დენის სიდიდის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ სინათლის მიერ ლითონიდან 1 ნმ-ში ამოტყორცნილი ელექტრონების რაოდენობაზე. რაც მეტია ნაჯერობის დენი ცხადია, მასში მით უფრო მეტი ფოტოელექტრონია.

სინათლის სხვადასხვა ნაკადზე ნაჯერობის დენისა და 1 წმ-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 $U_{\text{ფ}}$ შემაკავებელ ძაბვაზე უდიდესი კინეტიკური ენერგიის ფოტოელექტრონებიც ვერ მიაღწევენ ანოდს და კათოდზე დაბრუნდებიან. ფოტოდენი ნულს გაუტოლდება.

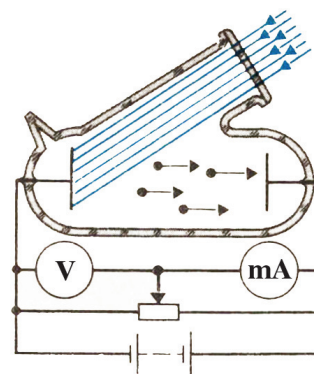
55.2 სურათზე გამოსახულია ფოტოდენის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. თუ გავზომავთ შემაკავებელ ძაბვას და გამოვიყენებთ თეორემას კინეტიკური ენერგიის შესახებ, შევძლებთ განვსაზღვროთ ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_{\text{ფ}}, \quad (1)$$

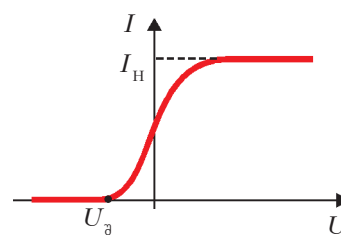
სადაც m ელექტრონის მასაა, e — ელექტრონის მუხტის მოდული, v ფოტოელექტრონის მაქსიმალური სიჩქარე კათოდიდან ამოტყორცნის მომენტში.

ფოტოელემენტის კვარცის „სარკმელში“ გაატარეს სხვადასხვა ფერის სინათლე. ყველა შემთხვევაში გაზომეს $U_{\text{ფ}}$ 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

→ 5. ფოტოდენი შემცირდება, რადგან შემცირდება ანოდზე მისული ელექტრონების რაოდენობა.

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 ამოაგდოს, 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 ნითელ საზღვარს**. მისი მნიშვნელობა სხვადასხვა ნივთიერებისათვის სხვადასხვაა. ფოტოეფექტის

→ 6. ფოტოელექტრონების კინეტიკური ენერგია $h\nu$ -ზე ნაკლებია, რადგან ელექტრონი ლითონიდან რომ ამოვიდეს უნდა შეასრულოს ე.წ. გამოსვლის A მუშაობა.

→ 7. ლითონიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა დამოკიდებულია ლითონის გვარობასა და ზედაპირის მდგომარეობაზე. მართლაც, ცდა გვიჩვენებს, რომ ერთი და იგივე სინათლე ერთი ლითონიდან ამოაგდებს ელექტრონს, მეორედან — არა.

8. არ შეუძლია. რადგან ლითონიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა დამოკიდებულია ლითონის გვარობაზე.

ნითელი 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 ამოგდებული ელექტრონის ენერგია მეტი უნდა იყოს, ხოლო თუ სინათლის ნაკადს მუდმივს დავტოვებთ, მაგრამ გავადიდებთ 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.) — ორობითობა, გაორება



კვანტი, ფოტოეფექტის ნითელი საზღვარი

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

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ფოტოეფექტის კანონების ჩამოყალიბება, შესაბამისი ცდების აღწერა. აინშტაინის განტოლების ახსნა და ფოტოეფექტის ნითელი საზღვრის დადგენა.

2.11

ფოტოეფექტის ფიზიკური
გამოყენება

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 ჩარევის 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 აამოქმედოს სხვადასხვა სახის მექანიზმები. ასეთ რელეს ფოტორელე ეწოდება.

ფოტორელე შეიძლება ამუშავდეს ფოტოელემენტზე სინათლის დაცემისას ან ფოტოელემენტის განათების შეწყვეტისას.

ფოტორელეს მოწყობილობის სქემა გამოსახულია 58.1 სურათზე.

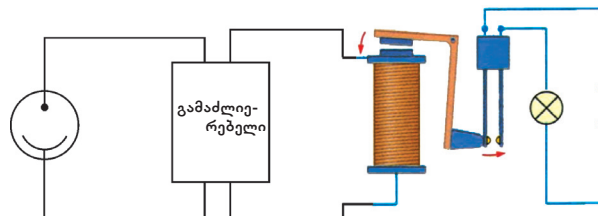
რელე (ფრანგული) — ავტომატური ხელსაწყო, რომელიც რეაგირებს დანადგარის ერთ-ერთი პარამეტრის (მაგ. ძაბვის, ტემპერატურის, წნევის) ცვლილებაზე და მცირე სიმძლავრის მეშვეობით ჩართავს ან განრთავს დენის გაცილებით უფრო მძლავრ დამხმარე წყაროს.



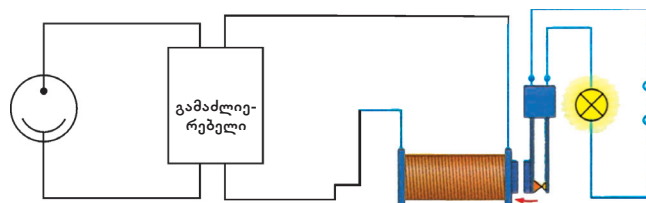
1. რა მოხდება ფოტოელემენტზე სინათლის დასხივებისას (სურ. 58.1)?

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

3. როგორი სახე აქვს ფოტორელეს სქემას, რომლის მეშვეობითაც ქუჩის ლამპიონები ავტომატურად ნათდება დალამებისას 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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს ფოტოეფექტის ექსპერიმენტს და აკეთებს შესაბამის დასკვნებს სინათლის კვანტური ბუნების შესახებ.

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს;

კვლ. XI/XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აფასებს მონაცემთა საკმარისობას გამოთქმული ვარაუდის დადასტურებისა და დასკვნის გამოტანისათვის;

1. 58.1 სურათზე გამოსახულ ფოტოელემენტზე სინათლის დასხივებისას წრედში გაივლის დენი. გამაძლიერებლით გადიდებული დენი გაივლის ელექტრომაგნიტში, რომელიც დამაგნიტდება და მიიზიდავს ლუზას. ლუზას მეშვეობით წრედში ჩაირთვება ნათურა და გაანათებს.

2. 58.2 სურათზე გამოსახულ ფოტოელემენტზე სინათლის დასხივებისას ანთებული ნათურა წრედიდან გამოირთვება და ჩაქრება.

3. 58.2 სურათზე გამოსახული სქემით დღისით ნათურა ჩამქრალი იქნება, ღამით — ანთებული.

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.

→ 4. ამ შეკითხვაზე პასეხი პარაგრაფის დასაწყისშია მოცემული.

5. შესაძლებელია, სხვა დენის წყაროს მეშვეობით, მაგრამ ფოტოელემენტების გარეშე ძალიან რთულია და ძვირადღირებული.

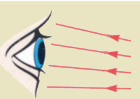
ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ისაუბროს ფოტოეფექტის გამოყენების შესახებ. ფოტორელეს მონყობილობა წარმოადგინოს სქემატურად.

2.12

სინათლის წნევა

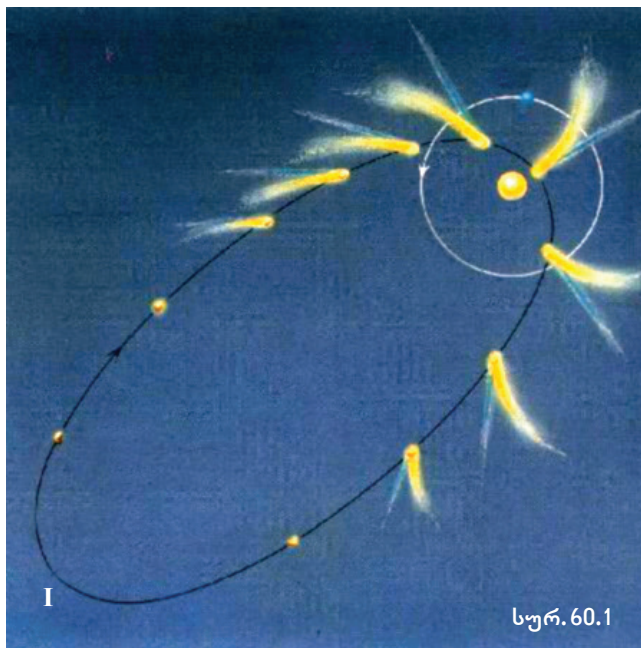


1. როგორია თქვენი აზრი, აწარმოებს თუ არა სინათლე წნევას ზედაპირზე დაცემისას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე.



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, გაწეილ, უზარმაზარ ელიფსურ ტრაექტორიაზე მოძრაობს.



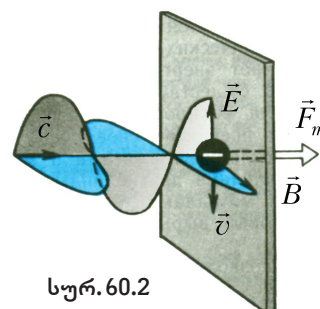
3. ეცვლება თუ არა კომეტას ფორმა მზესთან მიახლოებისას. ახსენით, რატომ?
4. მზის რომელ მხარესაა კუდი მიმართული? ახსენით, რატომ?

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?

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გეგმავს და ატარებს ცდებს სინათლის ტალღური ბუნების შესასწავლად, შედეგებს აანალიზებს და გამოიტანს შესაბამის დასკვნებს;
- მოიპოვებს ინფორმაციას სინათლეზე წარმოდგენების განვითარების შესახებ, წარადგენს პრეზენტაციის სახით.

→ 2. სურათზე გამოსახულია მზე, დედამიწა, მზის გარშემო მისი მოძრაობის ორბიტა, კომეტა სხვადასხვა მდებარეობაში და მისი ორბიტა, კომეტის კუდი.

→ 3.4. მზესთან მიახლოებისას კომეტა დნობას იწყებს. გაზი და მტვერი კოსმოსში გამოიტყორცნება. მზის სხივების მოქმედებით მზის საპირისპირო მხარეს გრძელდება და ნათებას იწყებს. ასე ჩნდება კომეტის კუდი. ზოგიერთ კომეტას რამოდენიმე კუდი აქვს.

→ 5. ელექტრომაგნიტური განივი ტალღაა, იგი შედგება ცვლადი ელექტრული და მაგნიტური ველებისგან, როგორც, მაგალითად სინათლე.

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 ვარსკვლავების შიგნით პროცესებში.

6. მაგნიტური ველი მასში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს ძალით, რომელსაც ლორენცის ძალას უწოდებენ. მისი მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით: მარცხენა ხელი ისე უნდა მოვათავსოთ, რომ $\vec{B}$ ვექტორის მუხტის სიჩქარისადმი მართობული მდგენელი ხელის გულში შედიოდეს, ოთხი თითი კი მიმართული იყოს დადებითი მუხტის მოძაობის მიმართულებით, მაშინ 90° -ით გაშლილი ცერი გვიჩვენებს მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულებას.

7. დაამტკიცებთ მარცხენა ხელის წესის გამოყენებით.

2.13

ამოცანის ამოხსნის ნიმუში

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

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

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

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

რადგან k_1 ლუწი რიცხვია, ზედდებისას მოხდება სინათლის მაქსიმალური გაძლიერება.

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

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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სინათლის ორმაგი ბუნების კვლევა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ადეკვატურად იყენებს შესაბამის ცნებებს, კანონებს და ფორმულებს ამოცანების ამოსახსნელად.

ტალლის სიგრძეზე. ამიტომ თუ წითელ ფერს გავატარებთ ოპტიკურად უფრო მკვერივ გარემოში, რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n , მაშინ ამ გარემოში მისი ტალლის სიგრძე შემცირდება n -ჯერ და გახდება $\lambda'_{\text{წით}} = \frac{\lambda_{\text{წით}}}{n}$. (1)

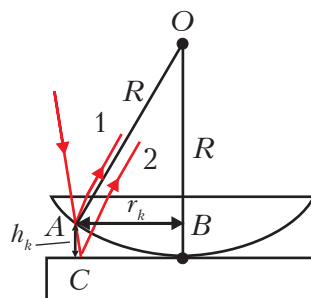
პირობის თანახმად, $\lambda_{\text{გვ}} = \lambda'_{\text{წით}}$. (2)

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

1,33 არის წყლის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელი.

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

4. 5 მ სიმრუდის რადიუსის ბრტყელ ამოზნექილი ლინზა დადებულია მინის ბრტყელ ფირფიტაზე და განათებულია ზედაპირის მართობული მონოქრომატული სინათლით. არეკლილ სხივებში ჰაერის თხელ ფენაში გაჩენილი ინტერფერენციული სურათის — ბნელი და ნათელი რგოლებიდან მესამე ბნელი რგოლის რადიუსი 3,1 მმ-ია (სურ. 63.1). განვსაზღვროთ სინათლის ტალლის სიგრძე.



სურ. 63.1

ამოხსნა

λ მოც.: $R=5$ მ $r_k=3,1$ მმ= $3,1 \cdot 10^{-3}$ მ $K=3$	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 $2h_k$ -ით 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.

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

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

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

$$(2) \mapsto (5) \Rightarrow \lambda = \frac{r_k^2}{Rk}. \quad (*)$$

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

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

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

ამოხსნა

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	
$? E$	აინშტაინის განტოლებას ფოტოეფექტისათვის აქვს
მოც.: $\nu = 10^{15} \text{ ჰც}$	შემდეგი სახე: $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$, (1)
$A = 3,82 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ}$	სადაც $h\nu$ ფოტონის ენერგიაა, A — ნივთიერებიდან
$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ}$	ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა, $\frac{mv^2}{2} = E$ — ელექტრონის კინეტიკური ენერგია.
$(1) \Rightarrow E = h\nu - A$ (*) $\rightarrow (*)$: $E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ} \cdot 10^{15} \text{ ჰც} - 3,82 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ} = 2,8 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ.}$	

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

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 ლეზულობს 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 მიეცეულია მზისკენ. ეფექტი, რომელზეც საუბარია, საკმაოდ სუსტია.

2.14

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

ამოხსენით ამოცანები

- განსაზღვრეთ ცისფერი სინათლის სიჩქარე გლიცერინში, თუ მისი ტალღის სიგრძე ვაკუუმში 500, ხოლო გლიცერინში 340 ნმ-ია.
- შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ ნივთიერებიდან ვაკუუმში სინათლის გადასვლისას მისი ტალღის სიგრძე 500-დან 400 ნმ-მდე შეიცვალოს?
- წითელი სინათლის ტალღის სიგრძე წყალში ისეთივეა, როგორიც მწვანესია ჰაერში. რა ფერის სინათლეს დაინახავს ადამიანი წყლის ქვეშ, თუ იგი განათებულია წითელი სინათლით?
- იცვლება თუ არა ფოტონის ენერგია ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას? პასუხი დაასაბუთეთ.
- 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.
- ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი ნატრიუმისათვის 590 ნმ-ია. განსაზღვრეთ ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა.

ტესტი

- საპნის ბუშტზე ცისარტყელას ფერების წარმოქმნა აიხსნება**
 - სინათლის დისპერსიით; ბ. სინათლის დიფრაქციით;
 - სინათლის ინტერფერენციით;
 - ფოტოეფექტით; ე. სინათლის პოლარიზაციით.
- თეთრი სინათლის ფერებად დაშლა შესაძლებელია**
 - პოლარიზატორით; ბ. მიკროსკოპით; გ. ფოტოელემენტით;
 - დიფრაქციული მესრით; ე. ჩამოთვლილ ხელსაწყოებში ასეთი არ არის.
- სინათლის ტალღების განივობის დამამტკიცებელია**
 - სინათლის პოლარიზაცია; ბ. სინათლის ინტერფერენცია;
 - სინათლის დიფრაქცია; დ. ფოტოეფექტი; ე. სინათლის დისპერსია.
- დამუხრუჭი ნაწილაკი ვაკუუმში ასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს**
 - მხოლოდ უძრავობისას; ბ. მხოლოდ თანაბარი მოძრაობისას; გ. როგორც უძრავობისას, ისე თანაბარი მოძრაობისას; დ. მხოლოდ აჩქარებული მოძრაობისას.
- ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია დაცემული სინათლის ინტენსივობის გაზრდით**
 - იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება.
 - ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ მცირდება.
- ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია დაცემული სინათლის სიხშირის ზრდასთან ერთად**
 - იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება.
 - ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ მცირდება.

1.

? v_{δ}

მოც.: $\lambda=500$ ნმ
 $\lambda_{\delta}=340$ ნმ
 $c=3 \cdot 10^8$ მ/წმ

$$v_{\delta} = \lambda_{\delta} \nu, \quad (1) \quad c = \lambda \nu. \quad (2)$$

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow \frac{v_{\delta}}{c} = \frac{\lambda_{\delta} \nu}{\lambda \nu} \Rightarrow v_{\delta} = c \frac{\lambda_{\delta}}{\lambda}.$$

$$\hookrightarrow (*): v_{\delta} = 2,04 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}.$$

2. შეუძლებელია, რადგანაც ნივთიერებიდან ვაკუუმში გადასვლისას სინათლის სიჩქარე იზრდება, შესაბამისად იზრდება სინათლის ტალღის სიგრძეც.

3. ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას იცვლება სინათლის ტალღის სიგრძე, სიხშირე არ იცვლება, ამიტომ ადამიანი წყლის ქვეშ დაინახავს წითელ ფერს.

4. ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას რხევის სიხშირე არ იცვლება, ამიტომ არ იცვლება კვანტის ენერგია.

5.

? λ

მოც.: $v = 10^{-7}$ მ/წმ
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ მ
 $c = 3 \cdot 10^8$ მ/წმ
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ ჯ·წმ

ელექტრონის კინეტიკური ენერგია $E_{\text{კინ}} = \frac{mv^2}{2}$. (1) ელექტრონის დამუხრუჭებისას გამოსხივებული კვანტის ენერგია

$$E = h\nu. \quad (2) \quad \nu = \frac{c}{\lambda}. \quad (3)$$

$$(3) \rightarrow (2) \Rightarrow E_{\text{კინ}} = \frac{hc}{\lambda}. \quad (4)$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად $E_{\text{კინ}} = E$. (5)

$$(1) \wedge (4) \rightarrow (5) \Rightarrow \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2hc}{mv^2}. \quad (*) \quad \hookrightarrow (*): \lambda = 4,36 \cdot 10^{-9} \text{ მ}.$$

6.

? A

მოც.: $\lambda = 590$ ნმ $= 5,9 \cdot 10^{-7}$ მ
 $c = 3 \cdot 10^8$ მ/წმ
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ ჯ·წმ

ფოტოეფექტისათვის აინშტაინის განტოლებიდან

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A \quad (1) \text{ გამომდინარეობს, როცა } v=0, \text{ მაშინ ნივთიერებიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა}$$

$A = h\nu$, (2) სადაც $\nu = \frac{c}{\lambda}$. (3)

$$(3) \rightarrow (2) \Rightarrow A = \frac{ch}{\lambda}. \quad (*)$$

$$\hookrightarrow (*): A = 3,366 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ}.$$

ტესტის პასუხები

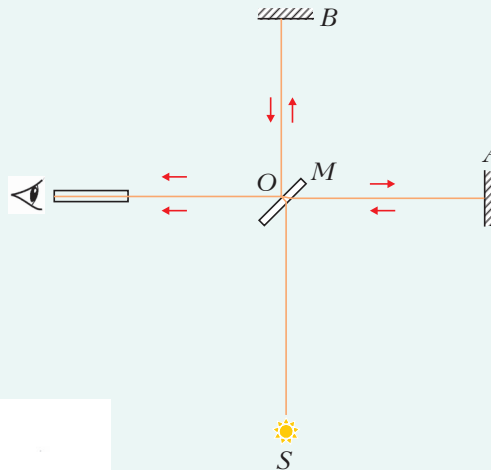
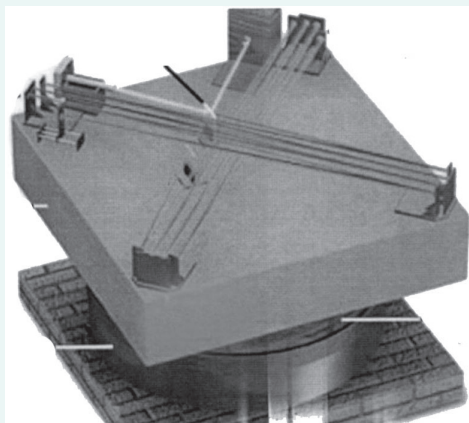
1	2	3	4	5	6
ბ	დ	ა	დ	ბ	ა

III თავე.

ფარდობითობის თეორიის ელემენტები

მიზანი

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



სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა .

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

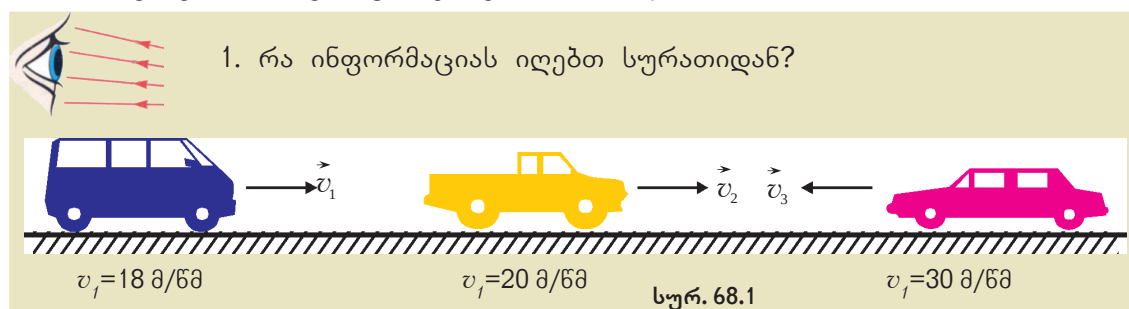
- აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს;
- აყალიბებს აინშტაინის პოსტულატებს;
- თვისებრივად და რაოდენობრივად აღწერს (გამოყვანის გარეშე) სიგრძისა და დროის ფარდობითობას;
- მოიპოვებს ინფორმაციას ფარდობითობის სპეციალური თეორიის შექმნის შესახებ და აფასებს ამ თეორიის მნიშვნელობას თანამედროვე ფიზიკის განვითარებისათვის.

ფარდობითობის თეორიის შესახებ ინფორმაცია ნახეთ ინტერნეტში მისამართებზე:

1. <http://www.marxist.com/science-old/relativitytheory.html>
2. <http://www.allaboutscience.org/theory-of-relativity.htm>
3. <http://www.pbs.org/wgbh/nova/einstein/>
4. <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/history/einstein.html>
5. <http://bourabai.narod.ru/tyapkin/history1.htm>
6. <http://ufn.ru/ru/articles/1955/10/c/>
7. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter4/section/paragraph2/theory.html>
8. <http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter4/section/paragraph2/theory.html>

3.1 სინათლის სიჩქარე „უქრავ“ და „მოქრავ“ ათვლის ინერციულ სისტემებში

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



1. რა ინფორმაციას იღებთ სურათიდან?

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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს;
- აყალიბებს აინშტაინის პოსტულატებს.

1. სურათზე გამოსახული სამი ავტომობილიდან ორი მოძრაობს ერთი მიმართულებით, მესამე მათ საპირიპიროდ. ავტომობილების სიჩქარის მოდული დედამიწის ზედაპირს მიმართ შესაბამისად 18, 20 და 30 მ/წმ-ია.

2. მოვუსმინოთ მოსწავლეებს და შემდეგ გავაგრძელოთ მსჯელობა სახელმძღვანელოს მიხედვით.

3. სავარაუდოდ, მოსწავლეთა უმეტესობა უპასუხებს, რომ მეორე ავტომობილს სინათლე უახლოვდება $c-v_2$ ხოლო მესამეს $c+v_3$ სიჩქარით.

იმის გასარკვევად, თუ რამდენად მართებულია ეს პასუხი მივყვეთ სახელმძღვანელოს.



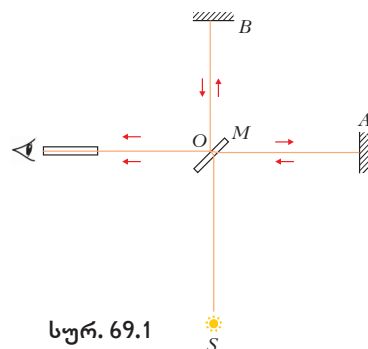
4. როგორია თქვენი აზრი, დაენევა პირველი ავტომობილიდან გამოსხივებული სინათლე მეორე ავტომობილს? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

5. როგორ შევამოწმოთ თქვენ მიერ გამოთქმული ჰიპოთეზების მართებულობა?

ბევრი მეცნიერი ატარებდა ცდებს ამ საკითხის გასარკვევად.

ალენეროთ 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

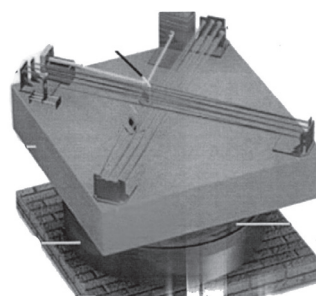


სურ. 69.1



სურ. 69.2

ერთიანდება და შედის საჭვრეტი მილის ობიექტივში, სადაც მიიღება ბნელი და 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 ხელსაწყო სხვადასხვა კუთხით მობრუნების შემთხვევაში? პასუხი დაასაბუთეთ.

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

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

4. გამოცდილებით ვიცით, მოსწავლეთა აბსოლუტური უმეტესობა პასუხობს — ვერ დაენევა, რადგანაც სინათლის სიჩქარე მეორე ავტომობილის მიმართ $u=c-c=0$.

5. ჰიპოთეზის მართებულობის ან არამართებულობის დადგენის ერთადერთი გზაა — ექსპერიმენტი.

6. $OA-AO$ და $OB-BO$ მანძილების გავლას სინათლე მონდომებს ერთსა და იმავე $t = \frac{2 |OA|}{c} = \frac{2 |OB|}{c}$ დროს შუალედს, რადგანაც $|OA|=|OB|$ და სინათლის სიჩქარე ყველა მიმართულებით ერთნაირია.

7. არ შეიცვალე, რადგანაც არ იცვლება არც OA და OB და არც სინათლის სიჩქარე.

8. მიღებულ ინტერფერენციულ სურათებს შორის არავითარი განსხვავება არ იქნება, რადგანაც ცდის პირობები ყოველთვის ერთი და იგივეა.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს.

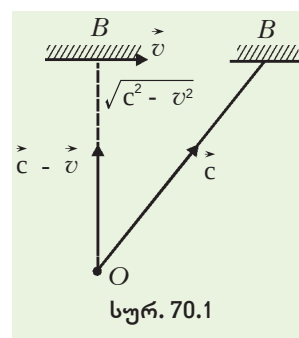
უძრავი სხეულის მიმართაც. ამ სისტემის მიმართ დედამიწასთან ერთად მოძრაობს მის ზედაპირზე მოთავსებული სხეულები. დედამიწის სიჩქარის მოდული აღვნიშნოთ v -თი და ვთქვათ, OA მიმართულება ემთხვევა დედამიწის მოძრაობის მიმართულებას (სურ. 70.1).

ვინაიდან OA მხარი დედამიწასთან ერთად OA მიმართულებით მოძრაობს, O წერტილიდან 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

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

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. $(1) \wedge (2) \Rightarrow t_1 \neq t_2$, ე. ი. სინათლე სარკეებამდე და უკან მანძილების გავლას განსხვავებულ დროს ანდომებს. ცხადია, საჭვრეტ 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 წელიწადის სხვადასხვა დროს, როგორც თვით მაიკელსონმა, ისე სხვა მეცნიერებმა, მაგრამ ხელსაწყოს შემობრუნებამ არ გამოიწვია ინტერფერენციული ზოლების ნანაცვლება, თუმცა ცდის სიზუსტე სრულიად საკმარისი იყო იმისათვის, რომ ინტერფერომეტრს დაეფიქსირებინა სინათლის სიჩქარის 2 მ/წმ-ით ცვლილებაც კი.



9. დაფიქრდით, გაანალიზეთ 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 ანალოგური ცდების საფუძველზე სავსებით დამტკიცებულად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ **სინათლის სიჩქარე დამოკიდებული არ არის არც სინათლის წყაროსა და არც მიმღების სიჩქარეზე.**

9. მოვეუსმინოთ მოსწავლეებს. შემდეგ კი ვუთხრათ, რომ სინათლის სიჩქარე დამოკიდებულია იმ იყოს სინათლის მიმღების სიჩქარეზე, მაშინ ხელსაწყოს შემობრუნება ყოველთვის გამოიწვევდა ინტერფერენციული სურათის შეცვლას.

გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს გალილეის ფარდობითობის პრინციპის გააზრება. უნდა შეძლოს ექსპერიმენტის აღწერა, რომლითაც დაასაბუთებს, რომ სინათლის სიჩქარე დამოკიდებული არ არის არც სინათლის წყაროსა და არც მიმღების სიჩქარეზე.

გაკვეთილი გამოიკითხეთ კითხვა-პასუხის მეთოდით ან ეტაპების მიხედვით. მაგალითად, ასე:

1. ათვლის ინერციული სისტემების ტოლფასოვნება;
2. მაიკელსონის ცდის სქემის აღწერა;
3. აზრობრივი ექსპერიმენტი;
4. მაიკელსონის ცდის აღწერა.

ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ელემენტები

3.2



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 აღინერება 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 საკმაოდ დიდი მანძილითაა დაშორებული სხვა სხეულებისგან, მისი არც ერთი წერტილი არ მოძრაობს აჩქარებით, არ ასხივებს და მისი ზომის უგულებელყოფა მოცემული ამოცანის პირობებით შესაძლებელია. 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.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აყალიბებს აინშტაინის პოსტულატებს.

1. ამ შეკითხვაზე პასუხს აზრი მხოლოდ მაშინ აქვს, თუ გვეცოდინება, როგორ ვდგავართ პროსპექტზე სახით თავისუფლების მოედნისკენ თუ პირიქით.

2. საუბარს სხეულის მდებარეობასა და მოძრაობაზე მაშინ აქვს აზრი, როდესაც არჩეულია ათვლის სისტემა.

3. მექანიკური მოძრაობის განმარტების თანახმად, როდესაც ერთი სხეული იცვლის მდებარეობას მეორის მიმართ, მაშინ იგი მოძრაობს. თუ ერთი სხეული იცვლის მდებარეობას მეორის მიმართ, მაშინ მეორეც იცვლის მდებარეობას პირველის მიმართ. მაშასადამე, მოძრაობს, აქედან გამომდინარეობს, რომ დედამიწა მოძრაობს მზის ირგვლივ და მზეც მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ.

4. მიუხედავად იმისა, რომ ვარსკვლავები ერთმანეთისაგან კოლოსალურად დიდი მანძილითაა დაშორებული, აბსოლუტურად თავისუფალი სხეული, ალბათ, მაინც არ არსებობს.

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.

5, 6, 7. მოვუსმინოთ მოსწავლეებს. იმსჯელონ, იკამათონ. პრაქტიკა გვიჩვენებს, მოსწავლეთა აბსოლუტური უმრავლესობა ფიქრობს, რომ დრო აბსოლუტურია. ე. ი. მოძრავ და უძრავ მატარებელში დრო ერთნაირად გადის. ასევე, აბსოლუტურია სივრცე-სახაზავის სიგრძე მატარებლის სიჩქარის ცვლილებისას არ იცვლება.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის პოსტულატების ჩამოყალიბება, უნდა გაიაზროს, რომ სინათლის სიჩქარის ინვარიანტობა ბუნების ფუნდამენტური თვისებაა.

გაკვეთილი გამოიკითხეთ კითხვა-პასუხის მეთოდით ან ეტაპების მიხედვით. მაგალითად, ასე:

1. ინერციული ათვლის სისტემები;
2. გალილეის ფარდობითობის პრინციპი;
3. ფარდობითობის თეორიის პოსტულატები;
4. პოსტულატებიდან გამომდინარე შედეგები, რაც ეწინააღმდეგება საღ აზრს.

დროის შუალედის ფარდობითობა

განვიხილოთ ორი ინერციული ათვლის სისტემა. ერთი, K სისტემა, დავაკავშიროთ ლაბორატორია-სთან (დედამიწასთან), 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.

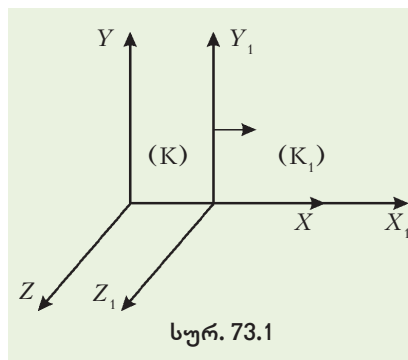
საკუთარი დრო, τ_0 , ძალზე მოსახერხებელი მახასიათებელია, რადგან ინვარიანტული სიდიდეა: მისი მნიშვნელობა ერთნაირია ყველა, მოძრავი თუ უძრავი დამკვირვებლისათვის.

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,

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

მოვლენის ხანგრძლივობა უმცირესია იმ ათვლის სისტემაში, სადაც ეს მოვლენა ერთ წერტილში ხდება.



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

(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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა .

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს;
- თვისებრივად და რაოდენობრივად აღწერს (გამოყვანის გარეშე) სიგრძისა და დროის ფარდობითობას.

→ 1. მოვესმინოთ მოსწავლეებს. შემდეგ სახელმძღვანელოშიც წერია და ვუთხრათ, რომ $\tau > \tau_0$, მართლაც (1) ჩანს, რომ τ_0 იყოფა ერთზე ნაკლებ რიცხვზე, რაც წილადის გადიდებას იწვევს.

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 $\tau = \frac{l}{v}$. (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

→ 2. $\frac{\tau}{\tau_0} \approx 7,1$ -ჯერ.

3. ათვლის K , სისტემის სისტემის სიჩქარის გადიდებით τ_0 — საკუთარი დრო არ შეიცვლება, მაგრამ გაიზრდება τ , ამიტომ $\frac{\tau}{\tau_0}$ შეფარდება გაიზრდება.



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, დედამინაზე დარჩენილი ძმა კი 7 წლით.

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



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

ნული, 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 (დედამინა) 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 დედამინაზე მყოფი ძმა მხოლოდ 1 წლით. მაშასადამე, პროცესის დამთავრებისას დედამინაზე 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. დაწვრილებით იმის გარკვევა, თუ რატომ ხდება ასე, სცილდება სასკოლო ფიზიკის კურსს.

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

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.

დავადგინეთ, რომ დროის შუალედი ფარდობითი ფიზიკური სიდიდეა.

→ 4. ზემოთ მოყვანილი მსჯელობის თანახმად ამოძრავებული და უკან დაბრუნებული საათი ჩამორჩება უძრავ საათს, ე. ი. მის მიხედვით ნაკლები დრო გაივლის, ვიდრე უძრავი საათის მიხედვით.

→ 5. მოუსმინეთ მოსწავლეებს და შემდეგ გააგრძელეთ სახელმძღვანელოს მიხედვით.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს დროის შუალედის ფარდობითობის გააზრება, უნდა განასხვავოს ერთმანეთისაგან საკუთარი და ლაბორატორიული დრო და რელატივისტური კოეფიციენტის მეშვეობით დააკავშიროს ერთმანეთთან.

გაკვეთილი გამოიკითხეთ კითხვა-პასუხის მეთოდით ან ეტაპების მიხედვით. მაგალითად, ასე:

1. დროის შუალედის ფარდობითობა;
2. ელემენტარულ ნაწილაკებზე დაკვირვება;
3. ტყუპების პარადოქსი.

3.4

ლეროს სიგრძე ფარდობითია

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 , სისტემაში მყოფი ღერო დამოკლებულია K სისტემაში მყოფი დამკვირვებლისათვის, ასევე დამოკლებული იქნება K , სისტემაში მყოფი დამკვირვებლისათვის K -ში მყოფი ღერო.

თუ როგორც K , ისე K , სისტემაში იმყოფება სათანადოდ უძრავი ღეროები, K სისტემის დამკვირვებლის თვალსაზრისით K , სისტემაში მყოფი ღერო უფრო მოკლეა K სისტემაში მყოფ ღეროსთან შედარებით, მაშინ როდესაც K , სისტემის დამკვირვებლისათვის K სისტემაში მყოფი ღერო უფრო მოკლეა, ვიდრე K , 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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა .

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- თვისებრივად და რაოდენობრივად აღწერს (გამოყვანის გარეშე) სიგრძისა და დროის ფარდობითობას.

სასწავლო მიზნები:

- . ღეროს სიგრძის ფარდობითობის დადგენა.
- . ანალიზის, სინთეზის და შეფასების უნარების განვითარება.

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 წახნაგის მართობი მიმართულებით v სიჩქარით? შეიცვლება თუ არა კუბის მოცულობა ლაბორატორიასთან (დედამინასთან) დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში? როგორ?

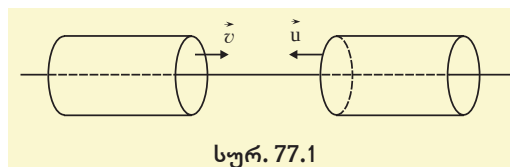
უძრავი კუბის მოცულობა $V_0 = a_0^3$ (2) სადაც a_0 კუბის წიბოს სიგრძეა. მოძრავი კუბის გასწვრივი სიგრძე $a = a_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < a_0$. (3)

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 დაუკავშირებთ 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.



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 გამოგვეჩია 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.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. XI/ XII. 1. მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და მისი შესწავლის ეტაპები.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- განსაზღვრავს და აყალიბებს კვლევის მიზანს;
- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს.

1. მოვუსმინოთ მოსწავლეებს. მათი აბსოლუტური უმრავლესობა ფიქრობს, რომ შეუძლებელია ერთდროულად პირველი ცილინდრიც გაძვრეს მეორეში და მეორეც გაძვრეს პირველში.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლე განასხვავებს მოძრავი და უძრავი ღეროს სიგრძეს. აკავშირებს მათ რეალატივისტური კოეფიციენტის მეშვეობით. აღწერს ცდას, რომლის მეშვეობით ასაბუთებს, რომ ღეროს სიგრძე მხოლოდ მოძრაობის მიმართულებით იცვლება. გამოაქვს დასკვნა, რომ ღეროს სიგრძე ფარდობითია.

გაკვეთილი გამოიკითხეთ კითხვა-პასუხის მეთოდით ან ეტაპების მიხედვით. მაგალითად, ასე:

1. ღეროს სიგრძის ფარდობითობა
2. კუბის მოძრაობის მაგალითი
3. აზრობრივი ექსპერიმენტი ცილინდრებზე.

3.5

სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტური კანონი

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 v_1 და 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 ნიშნ (1) ფორმულაში „-“ დაინერგა. კლასიკური კანონისაგან განსხვავებით მას სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტურ კანონს უწოდებენ. სადაც $c=3 \cdot 10^8$ 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 $v=v_1+v_2=30$ კმ/სთ? (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 $c=3 \cdot 10^8$ კმ/წმ სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში.

→(1): $v=29,999999999999860$ 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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა .

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს.

→ 1. მოვუსმინოთ მოსწავლეებს. მათი უმეტესობა ფიქრობს, რომ ნავის სიჩქარის მოდული ნაპირის მიმართ 30 კმ/სთ-ია.

შემდეგ გავაგრძელოთ მსჯელობა სახელმძღვანელოს მიხედვით.

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 კონუსს. 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.

→ 2. მარცხენა ხომალდზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით მარჯვენა ხომალდი მას უახლოვდება მოდულით ისეთივე სიჩქარით, როგორი სიჩქარითაც მისი ხომალდი უახლოვდება მარჯვენას მარჯვენაზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით.

განსაკუთრებული ყურადღება მიაქციეთ ამ მაგალითს. მოსწავლეებმა უნდა გაიგონ, რომ ეს არ არის სხეულის სიჩქარე, სინათლის ათინათი არ არის ნივთიერი. ნივთიერი სხეულისთვის, როგორც უკვე ვთქვით, ზღვრული სიჩქარეც მიუწვდომელია.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტური კანონის ჩანერა და მისი ანალიზი.

გაკვეთილი გამოიკითხეთ კითხვა-პასუხის მეთოდით ან ეტაპების მიხედვით. მაგალითად, ასე:

1. სიჩქარეთა შეკრების ფორმულა ფარდობითობის თეორიის მიხედვით და მისი ანალიზი.

2. სინათლის სიჩქარე სხეულებისთვის მიუწვდომელი სიჩქარე;

3. მაგალითი, რომ c-ზე მეტი სიჩქარით მოძრაობა შესაძლებელია.

3.6

იმპულსი და ენერგია ფარდობითობის თეორიაში



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 ურთიერთქმედი სხეულების მასებია, $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ მათი სიჩქარეები ურთიერთქმედებამდე, ხოლო $\vec{u}_1$ და $\vec{u}_2$ სიჩქარეები ურთიერთქმედების შემდეგ.

ნიუტონის მექანიკაში დრო აბსოლუტურია, ერთნაირია ყველა ინერციულ ათვის 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:

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

სადაც $d\vec{x}$ არის მცირე გადაადგილება, ხოლო dt საკუთარი დროის შუალედი — ანუ დროის შუალედი გაზომილი ნაწილაკთან დაკავშირებული საათით. გავითვალისწინოთ რომ $t = \gamma t_0$, (2) მაშინ რელატივისტური იმპულსისათვის მივიღებთ

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v}, \quad (3) \quad \text{სადაც } \gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (4) \quad \text{მცირე სიჩქარეებისათვის } \gamma \rightarrow 1 \text{ და (3)-დან მივიღებთ ნიუტონის ფიზიკაში მოცემულ იმპულსის } \vec{p} = m \vec{v} \text{ განსაზღვრას.}$$

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

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

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XI/XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის დამადასტურებელ ექსპერიმენტებს.

1. სხეულის იმპულსი ეწოდება სხეულის მასისა და მისი სიჩქარის ნამრავლს $\vec{P} = m\vec{v}$, სადაც m სხეულის მასაა, $\vec{v}$ — მისი სიჩქარე

2. ჩაკეტილ სისტემაში ურთიერთმოქმედი სხეულების იმპულსების ჯამი მუდმივია ამ სხეულების ნებისმიერი ურთიერთქმედებისას.

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?

პოქვათ: $v=0,6c$ (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.

$$\text{იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად: } \gamma m v = \gamma' M u. \quad (10)$$

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

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

(11) გავყოთ (10)-ზე მივიღებთ:

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

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

$$(9), (12), (13) \wedge (15) \rightarrow (10) \Rightarrow \frac{0,6mc}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} = \frac{0,3cM}{\sqrt{1 - \frac{(0,3c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{M}{m} = \frac{0,6 \sqrt{0,91}}{0,3 \sqrt{0,64}} \Rightarrow \frac{M}{m} \approx 2,4 \Rightarrow M > 2m. (*)$$

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 შეიცავს.



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 $E = \gamma m c^2$, γ რელატივისტური კოეფიციენტი.

დავალება

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

3. ასეთი რამ წარმოუდგენელია ნიუტონის მექანიკისათვის.

4. (*) $\Rightarrow$ მიღებული ნაწილაკის მასა აღემატება საწყისი ნაწილაკების მასათა ჯამს.

ნიუტონის მექანიკისათვის მიუღებელია, რომ ნაწილაკთა ურთიერთქმედების შემდეგ მიღებული ნაწილაკის მასა მეტი იყოს საწყისი ნაწილაკების მასათა ჯამზე. მივიღეთ, რომ კლასიკური მექანიკიდან ცნობილი მასათა შეკრების კანონი დიდი სიჩქარეებით მოძრაობისას ირღვევა. მცირე სიჩქარეებისას, როდესაც $v \ll c$ სხეულის კინეტიკური ენერგია გაცილებით ნაკლებია უძრაობის ენერგიაზე და ჩვეულებრივ პირობებში მასის ცვლილებას ვერ ვამჩნევთ. როგორც ჩანს, იგი არსებითია ბირთვული გარდაქმნებისას.

$E = \gamma mc^2$ ფორმულით გამოსახული კავშირი ენერგიისა და მასის ეკვივალენტობას გამოხატავს. უძრავი სხეულის Mc^2 ენერგია შეიცავს შემადგენელი ნაწილაკების უძრაობის, კინეტიკურ და ურთიერთქმედების პოტენციურ ენერგიებს. ასე რომ, $Mc^2 \neq \sum_i m_i c^2 \Rightarrow M \neq \sum_i m_i$. (18)

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს იმპულსი და ენერგია გამოსახოს ფარდობითობის თეორიის მიხედვით. უნდა გაიაზროს, რომ რელატივისტურ ფიზიკაში არ სრულდება მასის მუდმივობის კანონი. ენერგიის მუდმივობის კანონი ნაწილაკთა უძრაობის ენერგიასაც შეიცავს.

გაკვეთილი გამოიკითხეთ კითხვა-პასუხის მეთოდით ან ეტაპების მიხედვით. მაგალითად, ასე:

1. იმპულსი ფარდობითობის თეორიის მიხედვით;
2. ენერგია ფარდობითობის თეორიის მიხედვით;
3. მასის მუდმივობის კანონი რელატივისტურ ფიზიკაში — მაგალითის განხილვა.

3.7

ამოცანის ამოხსნის ნიმუში

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

ამოხსნა

$$\begin{array}{l} ? \quad l \\ \hline \text{მოც.: } l_0 = 1 \text{ მ} \\ v = 0,6c \end{array}$$

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

$$\begin{array}{l} ? \quad \frac{\tau}{\tau_0} \\ \hline \text{მოც.: } v = 0,6c \end{array}$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (*)$$

$$\hookrightarrow (*): \quad \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{\tau}{\tau_0} = 1,25.$$

3. რამდენით შეიცვლება 1 კგ ყინულის მასა გადნობისას?

ამოხსნა

$$\begin{array}{l} ? \quad \Delta m \\ \hline \text{მოც.: } m = 1 \text{ კგ} \\ \lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ ჯ/კგ} \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ} \end{array}$$

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:

$$\Delta E = c^2 \Delta m \Rightarrow \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{\lambda m}{c^2}. \quad (*)$$

$$\hookrightarrow (*): \quad \Delta m = \frac{3,3 \cdot 10^5 \text{ ჯ/კგ} \cdot 1 \text{ კგ}}{(3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ})^2} = 3,7 \cdot 10^{-12} \text{ კგ}.$$

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 v 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 v სიჩქარით, მაშინ სინათლის სიჩქარე სხეულის მიმართ ტოლია
ა. $c+v$; ბ. $c-v$; გ. c ; დ. v .
- როდესაც სხეული შორდება სინათლის წყაროს v სიჩქარით, მაშინ სინათლის სიჩქარე სხეულის მიმართ
ა. $c+v$; ბ. $c-v$; გ. c ; დ. v .
- 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.

$$1. \tau = 2\tau_0. \quad (1) \quad \tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

სადაც τ დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით გასული დროის შუალედი, τ_0 — კოსმოსურ ხომალდში მყოფის თვალსაზრისით.

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow 2\tau_0 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow v = c \sqrt{0,75} \Rightarrow v = 259800 \text{ კმ/წმ}.$$

2. სინათლის სიჩქარე თითოეული ავტომობილის მიმართ არის c .

3. სიჩქარეთა შეკრების კლასიკური კანონის მიხედვით:

A რაკეტის სიჩქარე $\vec{v}_1$ უძრავის k სისტემის მიმართ ტოლია მის სიჩქარეს $\vec{u}$ -ს მოძრავი B რაკეტის მიმართ დამატებული მოძრავი B რაკეტის $\vec{v}_2$ სიჩქარე უძრავი k სისტემის მიმართ, ე. ი. $\vec{v}_1 = \vec{u} + \vec{v}_2$. (1) გეგმილებში A -დან B -სკენ მიმართულ ღერძზე (1) $\Rightarrow v_{1x} = u_{1x} + v_{2x} \Rightarrow u_{1x} = v_{1x} - v_{2x}$. (*)

$$\Rightarrow (*) : u = 1,5c.$$

$$\text{სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტური კანონის მიხედვით } u_2 = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}. (**)$$

$$\Rightarrow (**): u = \frac{0,6c + 0,9c}{1 + \frac{0,54c^2}{c^2}} = 0,974c.$$

4. $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, (1) სადაც l_0 არის ღეროს სიგრძე მის მიმართ უძრავი დამკვირვებლის თვალსაზრისით, l — მოძრავი დამკვირვებლის თვალსაზრისით, — ღეროს სიჩქარე. პირობის თანახმად $\frac{l_0 - l}{l_0} = 0,1 \Rightarrow l = l_0 - 0,1l_0 = 0,9l_0$. (2)

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow 0,9 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} = 0,81 \Rightarrow v = c \sqrt{0,19} \approx 0,44c = 132\,000 \text{ კმ/წმ}.$$

5. სიჩქარეთა შეკრების კლასიკური კანონის თანამად $u_1 = u_2 - u_1$. (*) (იხ. მე-3 ამოცანის ამოხსნა).

$$\Rightarrow (*) : u_1 = 0,3c.$$

$$\text{სიჩქარეთა შეკრების რელატივისტური კანონის მიხედვით } u_2 = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}. (**)$$

$$\Rightarrow (**): u_1 = 0,5c.$$

ტესტების პასუხები:

1	2	3
ბ	ბ	ბ

