

გიორგი ბაღენიძე

# მასწავლებლის სარეკომენდაციო წიგნი

შესავალი თანამედროვე

**ფიზიკაში**

XII კლასი

II მოდული

გრიფი მიენიჭა 2012 წელს სსიპ განათლების ხარისხის განვითარების  
ეროვნული ცენტრის მიერ

თბილისი 2012



## შინაარსი

ორმოდულიანი საგნობრივი პროგრამა

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| „შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში.....                                    | 5  |
| XII კლასის შინაარსისა და მიზნების რუკა.....                            | 10 |
| I თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა .....                              | 11 |
| II თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა .....                             | 12 |
| III თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა .....                            | 13 |
| IV 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..... | 17 |
| 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 |

**სახელმძღვანელო**

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| შინაარსი .....                                                                   | 3         |
| <b>I თავი. მიკროსამყაროს კვანძური გუნება.....</b>                                | <b>5</b>  |
| 1.1 ატომის პლანეტარული მოდელი.....                                               | 6         |
| 1.2 ბორის პოსტულატები.....                                                       | 8         |
| 1.3 წყალბადის ატომის მოდელი ბორის მიხედვით.....                                  | 10        |
| 1.4 კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი. დე ბროილის ტალღის სიგრძე.....                  | 12        |
| 1.5 ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....                                                | 14        |
| 1.6 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 16        |
| <b>II თავი. ასტროფიზიკა და კოსმოლოგია.....</b>                                   | <b>17</b> |
| 2.1 სამყარო .....                                                                | 18        |
| 2.2 ვარსკვლავების სიცოცხლის ციკლი.....                                           | 21        |
| 2.3 ზეახალი ვარსკვლავი. კომპაქტური ობიექტები.....                                | 24        |
| 2.4 წარმოდგენები სამყაროს შესახებ .....                                          | 26        |
| 2.5 ისევ სამყაროს შესახებ.....                                                   | 29        |
| 2.6 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 33        |
| <b>III თავი. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა .....</b>                           | <b>34</b> |
| 3.1 ელემენტარული ნაწილაკები .....                                                | 35        |
| 3.2 ბუნებაში არსებული ურთიერთქმედებები.....                                      | 38        |
| 3.3 ლეპტონები, ადრონები, კვარკები, გლუონები .....                                | 40        |
| 3.4 ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ელექტრონი, ფოტონი, პროტონი .....          | 43        |
| 3.5 ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ნეიტრონი, პოზიტრონი,<br>ანტიპროტონი ..... | 45        |
| 3.6 ნეიტრონის დაშლა. ნეიტრინოს აღმოჩენა .....                                    | 47        |
| 3.7 რა და როგორ ისწავლეთ. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....                            | 49        |
| 3.8 ამაჩქარებლები.....                                                           | 51        |
| 3.9 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 54        |
| <b>IV თავი. ფიზიკის განვითარების მნიშვნელობა .....</b>                           | <b>55</b> |
| 4.1 ინფორმაცია და კავშირი.....                                                   | 57        |
| 4.2 ლაზერის მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა .....                           | 60        |
| 4.3 ენერგიის წყაროები.....                                                       | 63        |
| 4.4 სამყაროს ერთიანი სურათი.....                                                 | 67        |
| 4.5 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 70        |

**ორმოდულიანი საგნობრივი 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• ინტერესი საბუნებისმეტყველო დისციპლინების მიმართ.</li> <li>• საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების მნიშვნელობის გააზრება.</li> <li>• ინტერესი მეცნიერული კვლევის და სიახლეების მიმართ.</li> <li>• თანამშრომლობის სურვილი.</li> <li>• გარემოზე ზრუნვა და პასუხისმგებლობა.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• კვლევის საგნისა და კვლევის ეტაპების განსაზღვრა.</li> <li>• კვლევითი პროცედურის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.</li> <li>• მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით.</li> <li>• მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• მექანიკური ტალღების თვისებები.</li> <li>• სინათლის ორმაგი ბუნება.</li> <li>• ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ძირითადი პრინციპები.</li> <li>• მიკროსამყაროს კვანტური ბუნება.</li> <li>• სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თეორიები.</li> <li>• ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და ურთიერთქმედება.</li> <li>• ფიზიკის როლი თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.</li> </ul> |

## **მასწავლებლის სარეკომენდაციო ნიშნი**

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

XII კლასი

შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში

II მოდული

სტანდარტი

წლის ბოლოს მისაღწევი შედეგები მიმართულებების მიხედვით:

| მეცნიერული კვლევა-ძიება                                                                           | ფიზიკური მოვლენები                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| კვლ.XII.1.მოსწავლეს შეუძლია განსაზღვროს კვლევის საგანი და კვლევის ეტაპები.                        | არჩ.ფიზ.XII.5.მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.                                        |
| კვლ.XII.2.მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/მონაცემების აღრიცხვა.               | არჩ.ფიზ.XII.6.მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა. |
| კვლ.XII.3.მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით. | არჩ.ფიზ.XII.7.მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.       |
| კვლ.XII.4.მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.                                        | არჩ.ფიზ.XII.8.მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.                           |

წლის ბოლოს მისაღწევი შედეგები და მათი ინდიკატორები

მიმართულება: მეცნიერული კვლევა-ძიება

**კვლ. 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, საბუთებს არჩევანს;
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ცხრილები, გრაფიკები, სიები, ფოტოები, ჩანაწერები).

**კვლ. 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. 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. 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. XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ახასიათებს პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს;
- აღწერს წყალბადის ატომის მოდელს ბორის პოსტულატების გამოყენებით;
- ახასიათებს გამოსხივების ნაწილაკოვან ბუნებას და მატერიის ტალღურ ბუნებას.

**არჩ.ფიზ. XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს და ახასიათებს ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლის ეტაპებს;
- ასახელებს და აღწერს სამყაროს გაფართოების დამადასტურებელ ექსპერიმენტალურ ფაქტებს და იძლევა მათ ინტერპრეტაციას (წითელი წანაცვლება, რელიქტური გამოსხივება);
- აღწერს სამყაროს ევოლუციის შესაძლო სცენარებს.

**არჩ.ფიზ. XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს ბუნებაში არსებულ ურთიერთქმედებების ოთხ ტიპს;
- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას;
- მოიპოვებს და აანალიზებს ინფორმაციას თანამედროვე ამაჩქარებლების მუშაობის პრინციპის შესახებ.

**არჩ.ფიზ. XII.8. მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ლაზერის მოქმედების პრინციპს და მსჯელობს მისი გამოყენების შესახებ;
- აღწერს ინფორმაციის გადაცემის საშუალებების განვითარებას;
- განიხილავს ფიზიკის გამოყენებას მედიცინაში;

- მოიპოვებს ინფორმაციას ნანოტექნოლოგიის შესახებ და განიხილავს მის შესაძლებლობებს.

### **პროგრამის შინაარსი**

#### **მიკროსამყაროს კვანტური ზუნება**

პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობები, ბორის პოსტულატები, წყალბადის ატომის ბორის თეორია, ელექტრონების დიფრაქცია, დე ბროილის ტალღის სიგრძე.

ასტროფიზიკა და კოსმოლოგია

ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლი. სამყაროს გაფართოების დამადასტურებელი ექსპერიმენტული ფაქტები, დიდი აფეთქების თეორია. სამყაროს განვითარების შესაძლებლობები.

ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა

ლეპტონები, ჰადრონები, ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკები. კვარკები, გლუონები. ანტინაწილაკები, ანტინივთიერება, ანიჰილაცია.

თანამედროვე ამაჩქარებლები

ფიზიკის როლი თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში

ლაზერის ტიპები და მათი მოქმედების ძირითადი პრინციპი. ლაზერის გამოყენება.

საკომუნიკაციო საშუალებების განვითარება უძველესი დროიდან დღემდე.

ფიზიკის გამოყენება მედიცინაში.

ნანოტექნოლოგიების განვითარება, მათი პერსპექტივები.

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

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

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

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

მერვე შედეგს — არჩ. ფიზ. XI/XII.8. ფარავს მეცხრე თავი.

XII კლასის შინაარსისა და მიზნების რუკა

II მოდული

33 საბითი

3 სთ სარეკომენდაციო ღრმადი

| ინდიკატორები<br>შინაარსი                                   | კვლ. XII.1.<br>მოსწავლეს<br>განსაზღვროს<br>კვლევის საგანი და<br>მისი შესწავლის<br>ეტაპები. | კვლ. XII.2.<br>მოსწავლეს<br>შეუძლია კვლევის<br>განმარტების<br>მიზნების<br>ადრეობა. | კვლ. XII.3<br>მოსწავლეს<br>შეუძლია მიზნების<br>წარმოდგენა<br>სხვადასხვა<br>საკონსტრუქციო<br>საშუალებების<br>გამოყენებით. | კვლ. XII.4.<br>მოსწავლეს<br>შეუძლია<br>მიზნების<br>ანალიზი და<br>შეფასება. | კვლ. XII.5.<br>მოსწავლეს<br>შეუძლია<br>მიზნების<br>კვლევითი<br>აღწერა. | კვლ. XII.6.<br>მოსწავლეს<br>შეუძლია<br>საგანის<br>განმარტების<br>განმარტების<br>მეცნიერული<br>თეორიების<br>აღწერა. | კვლ. XII.7.<br>მოსწავლეს შეუძლია<br>ელემენტარული<br>ნაწილაკების<br>კლასიფიკაცია<br>და მათი<br>ურთიერთქმედების<br>აღწერა. | კვლ. XII.8.<br>მოსწავლეს აფასებს<br>ფიზიკის როლს<br>თანამედროვე<br>საზოგადოების<br>განვითარებაში. | საათების<br>რაოდენობა |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| IV თაპი. მი-<br>კროსამყაროს<br>კვანძური<br>გუნება          |                                                                                            |                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                            |                                                                        |                                                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                                                   | 7                     |
| V თაპი. ან-<br>ტროფიკიკა<br>და კონსერვ-<br>ტიკა            |                                                                                            |                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                            |                                                                        |                                                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                                                   | 7                     |
| VI თაპი. ელ-<br>ემენტარული<br>ნაწილაკების<br>ფიზიკა        |                                                                                            |                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                            |                                                                        |                                                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                                                   | 10                    |
| VII თაპი.<br>ფიზიკის<br>განვითარ-<br>ების მნიშ-<br>ვნელობა |                                                                                            |                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                            |                                                                        |                                                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                                                   | 6<br>30               |

IV თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა  
აქადემიური საათების რაოდენობა 7

|                                                             | არჩ.ფიზ. XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიერისამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.                          |                                                                                                                  |                                                                                                                           |                       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                             | შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:                                                                  |                                                                                                                  |                                                                                                                           |                       |
| ინდიკატორები<br>შინაარსი                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>ახასიათებს პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>აღწერს წყალბადის ატომის მოდელს ზორის პოსტულატების გამოყენებით;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ახასიათებს გამოსხივების ნაწილაკოვან ბუნებას და მატერიის ტალღურ ბუნებას.</li> </ul> | საათების<br>რაოდენობა |
| 4.1. ატომის კლანთარული მოდელი                               |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 1                     |
| 4.2. ბორის პოსტულატები                                      |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 1                     |
| 4.3. ნაპლბადის ატომის მოდელი ბორის მიხედვით                 |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 1                     |
| 4.4. კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი. დე ბროილის ტალღის სიგრძე |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 1                     |
| 4.5. ამოცანის ამოხსნის ნიშნები                              |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 1                     |
| 4.6. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა                                 |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 2                     |
|                                                             |                                                                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                                           | 7                     |

V თავის პინაარსისა და მიზნების რუკა

აკადემიური საათების რაოდენობა 7

| არჩ.ფიზ.XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა |  | შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:                               |                                                                                                                                                           |                                               | საათების რაოდენობა |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|
|                                                                                                               |  | • ასახელებს და ახასიათებს ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლის ეტაპებს | • ასახელებს და აღწერს სამყაროს გაფართოების დამადასტურებელ ექსპერიმენტალურ ფაქტებს და იძლევა მათ ინტერპრეტაციას (წითელი წანაცვლება, რელიქტური გამოსხივება) | • აღწერს სამყაროს ევოლუციის შესაძლო სცენარებს |                    |
| ინდიკატორები<br>შინაარსი                                                                                      |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               |                    |
| 5.1. სამყარო                                                                                                  |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 1                  |
| 5.2. პარსკვლავების სიცოცხლის ციკლი                                                                            |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 1                  |
| 5.3. ზეახალი პარსკვლავი. კომპაქტური ობიექტები                                                                 |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 1                  |
| 5.4. ნარმოღვანები სამყაროს შესახებ                                                                            |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 1                  |
| 5.5. ისევე სამყაროს შესახებ                                                                                   |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 1                  |
| 5.6. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა                                                                                   |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 2                  |
|                                                                                                               |  |                                                                |                                                                                                                                                           |                                               | 7                  |

VI თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა

ბაკალავრის საბუთების რაოდენობა 10

| არჩ.ფიზ. XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა. |  | შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:                       |                                             |                                                                     | საათების რაოდენობა |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| ინდიკატორები<br>შინაარსი                                                                                  |  | ასახელებს ბუნებაში არსებულ ურთიერთქმედებების ოთხ ტიპს; | აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას; | აანალიზებს ინფორმაციას თანამედროვე ამოცანებების მოხერხების შესახებ. |                    |
| 6.1. ელემენტარული ნაწილაკები                                                                              |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.2. ბუნებაში არსებული ურთიერთქმედებები                                                                   |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.3. ლეპტონები, ადრონები, კვარკები, გლეუონები                                                             |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.4. ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ელემენტარული, ფოტონი, პროტონი                                     |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.5. ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ნეიტრონი, კოზმონი, ანტიპროტონი                                    |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.6. ნეიტრონის დაშლა. ნეიტრონის აღმოჩენა                                                                  |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.7. რა და როდის ისწავლება. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა                                                        |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.8. ამოცანების                                                                                           |  |                                                        |                                             |                                                                     | 1                  |
| 6.9. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა                                                                               |  |                                                        |                                             |                                                                     | 2                  |
|                                                                                                           |  |                                                        |                                             |                                                                     | 10                 |

VII თავის შინაარსისა და მიზნების რუკა  
აკადემიური საათების რაოდენობა 6

| არჩ.ფიზ.XII.8. მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში. |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:                                                     |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   |                    |
|                                                                                      | • აღწერს ლაზერის მოქმედების პრინციპს და მსჯელობს მისი გამოყენების შესახებ; | • აღწერს ინფორმაციის გადაცემის საშუალებების განვითარებას; | • განიხილავს ფიზიკის გამოყენებას მედიცინაში; | • მოიპოვებს ინფორმაციას ნანოტექნოლოგიის შესახებ და განიხილავს მის შესაძლებლობებს. | საათების რაოდენობა |
| ინდიკატორები<br>შინაარსი                                                             |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   |                    |
| 7.1. ინფორმაცია და კავშირი                                                           |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   | 1                  |
| 7.2. ლაზერის მაცნეოელი და პრაქტიკული მნიშვნელობა                                     |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   | 1                  |
| 7.3. ენერგიის წყაროები                                                               |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   | 1                  |
| 7.4. სამყაროს ერთიანი სურათი                                                         |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   | 1                  |
| 7.5. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა                                                          |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   | 2                  |
|                                                                                      |                                                                            |                                                           |                                              |                                                                                   | 6                  |

**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 შიგნითა 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

|                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>პრეზენტაცია</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— აზრის ჩამოყალიბების და მოწოდების უნარი</li> <li>— კომუნიკაციის (მონაცემების ორგანიზებისა და წარმოდგენის) უნარი</li> <li>— შემოქმედებითობის უნარი</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— აუდიტორიასთან ურთიერთობა</li> <li>— შესაბამისი ტერმინების ფლობა და ადეკვატური გამოყენება</li> <li>— მონაცემების სხვადასხვაგვარი საშუალებით (გრაფიკი სქემა ცხრილი დიაგრამა ჩამონათვალი ნახაზი ნახატი ფოტოსურათი) წარმოდგენა</li> <li>— კვლევის შედეგების პრეზენტაცია</li> <li>— პროექტის პრეზენტაცია</li> <li>— ინდივიდუალური/ჯგუფური ნამუშევრის პრეზენტაცია</li> <li>— საშინაო დავალების პრეზენტაცია</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>საშინაო დავალება</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— ინფორმაციის მოძიების უნარი</li> <li>— დაკვირვებისა და აღწერის უნარი</li> <li>— კლასიფიკაციის უნარი</li> <li>— მოდელირების უნარ-ჩვევა</li> <li>— წერიტი უნარ-ჩვევა</li> <li>— ნამუშევრის ორგანიზების უნარი</li> <li>— შემოქმედებითობის უნარი</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— სხვადასხვა საინფორმაციო წყაროს გამოყენება</li> <li>— შესაბამისი ინფორმაციის მოძიება და ანალიზი</li> <li>— საშინაო დავალებების შესრულების სისტემატურობა</li> <li>— წერიტი სამუშაო</li> <li>— მარტივი კვლევა</li> <li>— მოდელის შექმნა</li> <li>— პროექტი (მოკლევადიანი და გრძელვადიანი)</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## მასწავლებლის სარეკომენდაციო ნიშნი

| საგაკვეთილო<br>ჩართულობა                                                                                                                                                                              | პროცესში                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— ყურადღების მობილიზების უნარი</li> <li>— პრობლემის დასმისა და მისი გადაჭრის უნარი</li> <li>— კვლევითი უნარ-ჩვევები</li> <li>— თანამშრომლობის უნარი</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— განსახილველ საკითხებზე კითხვების დასმა, პასუხის გაცემა და დასაბუთება</li> <li>— შესასწავლი საკითხების თაობაზე ვარაუდის გამოთქმა</li> <li>— დასმული პრობლემის გადაჭრის გზის შეთავაზება</li> <li>— ექსპერიმენტების ჩატარება</li> <li>— ექსპერიმენტული მონაცემების ჩანერა</li> <li>— უსაფრთხოების წესების დაცვა</li> <li>— ჯგუფურ მუშაობაში მონაწილეობა</li> <li>— განხილული მოვლენებისა და პროცესებისადმი საკუთარი დამოკიდებულების გამოხატვა</li> <li>— საკლასო დისკუსია</li> <li>— ექსპერიმენტი</li> <li>— საველე სამუშაო</li> <li>— მოდელის შექმნა</li> <li>— პროექტი (მოკლევადიანი და გრძელვადიანი)</li> </ul> |  |

| შემაჯამებელი<br>(ინდივიდუალური)                                                                                                                                                                                                                                                                            | სამუშო                                                                                                                                                                                |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— მიღებული ცოდნის შეჯამების, ანალიზისა და დასკვნების გამოტანის უნარი.</li> <li>— მიღებული ცოდნის კონკრეტულ საკითხებთან დაკავშირების უნარი.</li> <li>— წერიითი უნარ-ჩვევები</li> <li>— დროის ლიმიტის დაცვის უნარი</li> <li>— ნამუშევრის ორგანიზების უნარი</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— ტესტური დავალებების შესრულება</li> <li>— დამოუკიდებელი წერიითი დავალებების შესრულება</li> <li>— თემის კონცეპტუალური რუკის შედგენა</li> </ul> |  |

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 დონეები                               | 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 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>პირობასთან სათანადოობა</b>                                                     |        |
| 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    |
| <b>საგნობრივი კომპეტენცია</b>                                                     |        |
| თემის გასაგებად წარმოდგენა (ლოგიკური ჯაჭვი)                                       | 0-2    |
| შინაარსის კორექტულობა, ფაქტობრივი საიმედოობა                                      | 0-2    |
| <b>შემოქმედებითი უნარ-ჩვევები</b>                                                 |        |
| პრობლემის გადაჭრის გზების შეთავაზება                                              | 0-2    |
| <b>ქულათა მაქსიმალური რაოდენობა</b>                                               | 10     |

კვლევითი და ექსპერიმენტული სამუშაოს შეფასების სქემა

| ფასდება შემდეგი აქტივობები                            | 1-3 არადამაკმაყოფილებელი                                     | 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                                                       | ქულა |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 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                        | ქულა |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 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 მასწავლებელის 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).

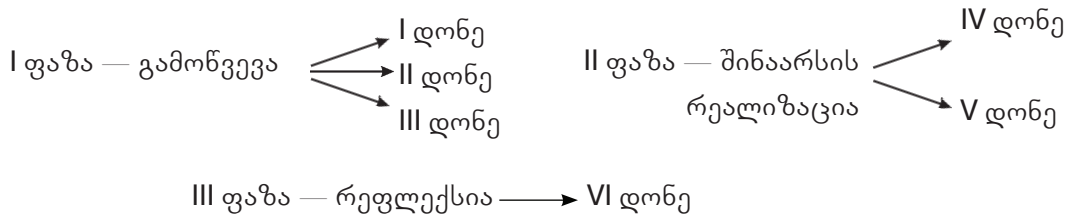
III დონე — ნასწავლი მასალის ახალ და კონკრეტულ სიტუაციებში გამოყენების უნარი.

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 სამივე 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 „ვიცი“. მოსწავლე პირველ გრაფაში აფიქსირებს რა იცოდა სანამ თემის შესწავლას დაიწყებდა, II გრაფაში — რა ისწავლა გზადაგზა და III გრაფაში ჩაწერს, კიდევ რისი შესწავლა უნდოდა ამ თემასთან დაკავშირებით.

ამ მეთოდით მიმდინარე გაკვეთილის ჩატარებისას მასწავლებელი ასახელებს კონკრეტულ 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 გაკვეთილის 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                |

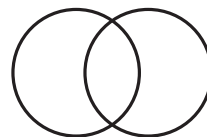
ცხრილში ჩამოიწერება პრობლემის გადასაწყვეტად გამოთქმული აზრის მომხრე და საწინააღმდეგო არგუმენტები. შემდეგ მოხდება ამ არგუმენტების განხილვა, გაანალიზება. T სქემით ადვილდება მოსწავლეთათვის ანალიზის ჩატარება და მოსწავლეები სწავლობენ ერთი და იმავე საკითხის ანალიზისას არგუმენტებისა და კონტრარგუმენტების მოყვანას, 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 ევალებათ 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, უფითარდება წარმოსახვის უნარი.                           |
| შემაჯამებელი   | მოსწავლე არკვევს, რამდენად სწორად გაიგო მასალა.                                               |
| განსჯითი       | მოსწავლე აზროვნებს დამოუკიდებლად, ფიქრობს, მსჯელობს. ახდენს ინფორმაციის ინტერპრეტაციას.       |
| კვლევითი       | მოსწავლეს უფითარდება 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](http://www.en.wikipedia.org), [www.google.com](http://www.google.com), [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yandex.ru](http://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, წერიტი 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<br>თქვი<br>ჩამოთვალე<br>დაასახელე<br>დაწერე<br>ჩამოწერე<br>აღწერე<br>მოძებნე                                                                              | ახსენი<br>საკუთარი<br>სიტყვებით<br>რას ნიშნავს<br>მოიყვანე<br>მაგალითი<br>გამოჰყავი<br>მოძებნე<br>განაზოგადე<br>დააკავშირე<br>შეუსაბამე<br>დააჯგუფე | გამოიყენე<br>გამოთვალე<br>შეამოწმე | გაანალიზე<br>ახსენი<br>ძირითადი<br>პრინციპი<br>გამოყავი<br>ფუნქციან-<br>ალური კავ-<br>შირები<br>შეადარე არ-<br>სებითი ნიშ-<br>ნებით | დაგეგმე<br>განჭვრიტე<br>ივარაუდე<br>შექმენი<br>მოდელი<br>მოიფიქრე | განსაჯე<br>დაასაბუთე<br>არჩევანი გაა-<br>კეთე<br>დასკვნა გამოი-<br>ტანე<br>გადაწყვიტე<br>შეაჯამე |



გიორგი ბაღენიძე

# შესავალი თანამედროვე ფიზიკაში

XII კლასი

II მოდული

გრიფი მიენიჭა 2012 წელს სსიპ განათლების ხარისხის განვითარების  
ეროვნული ცენტრის მიერ

თბილისი 2012

სახელმძღვანელო

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I თავი. მიკროსამყაროს კვანძური ბუნება.....</b>                                | <b>5</b>  |
| 1.1 ატომის პლანეტარული მოდელი.....                                               | 6         |
| 1.2 ბორის პოსტულატები.....                                                       | 8         |
| 1.3 წყალბადის ატომის მოდელი ბორის მიხედვით.....                                  | 10        |
| 1.4 კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი. დე ბროილის ტალღის სიგრძე.....                  | 12        |
| 1.5 ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....                                                | 14        |
| 1.6 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 16        |
| <b>II თავი. ასტროფიზიკა და კოსმოლოგია .....</b>                                  | <b>17</b> |
| 2.1 სამყარო .....                                                                | 18        |
| 2.2 ვარსკვლავების სიცოცხლის ციკლი.....                                           | 21        |
| 2.3 ზეახალი ვარსკვლავი. კომპაქტური ობიექტები.....                                | 24        |
| 2.4 წარმოდგენები სამყაროს შესახებ .....                                          | 26        |
| 2.5 ისევ სამყაროს შესახებ.....                                                   | 29        |
| 2.6 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 33        |
| <b>III თავი. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა .....</b>                           | <b>34</b> |
| 3.1 ელემენტარული ნაწილაკები .....                                                | 35        |
| 3.2 ბუნებაში არსებული ურთიერთქმედებები.....                                      | 38        |
| 3.3 ლეპტონები, ადრონები, კვარკები, გლუონები .....                                | 40        |
| 3.4 ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ელექტრონი, ფოტონი, პროტონი .....          | 43        |
| 3.5 ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ნეიტრონი, პოზიტრონი,<br>ანტიპროტონი ..... | 45        |
| 3.6 ნეიტრონის დაშლა. ნეიტრინოს აღმოჩენა .....                                    | 47        |
| 3.7 რა და როგორ ისწავლეთ. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....                            | 49        |
| 3.8 ამაჩქარებლები .....                                                          | 51        |
| 3.9 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 54        |
| <b>IV თავი. ფიზიკის განვითარების მნიშვნელობა .....</b>                           | <b>55</b> |
| 4.1 ინფორმაცია და კავშირი.....                                                   | 57        |
| 4.2 ლაზერის მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა .....                           | 60        |
| 4.3 ენერგიის წყაროები.....                                                       | 63        |
| 4.4 სამყაროს ერთიანი სურათი.....                                                 | 67        |
| 4.5 შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა .....                                                 | 70        |

## როგორ ვიხელმძღვანელოთ სახელმძღვანელოთი

პარაგრაფის ნომერი

2.4

### ნარმოდბენები სამყაროს შესახებ

პარაგრაფის სახელწოდება

ინდივიდუალური სამუშაო

წყვილებად მუშაობა

ჯგუფებად მუშაობა

უმნიშვნელოვანესი  
დასკვნები



4. ურთიერთ მიზიდულობის ძალა როგორ გავლენას ახდენს გალაქტიკების დაშორების სისწრაფეზე? პასუხი დაას-

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



3. როგორ ფიქრობთ, წინააღმდეგობაშია თუ არა ბორის პირველი პოსტულატი კლასიკურ მექანიკასთან?

**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. თქვენი ვარაუდით, თუ  $A$  ხვრელი ღია იქნება,  $B$  დახურული და დავინწყებთ  $B$  ხვრელის თანდათანობით ნელ-ნელა გაღებას,

**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?

**ატომი სტაციონარულ მდგომარეობაში არ ასხივებს. ატომის მიერ ენერგიის გამოსხივება ხდება, როდესაც ატომი მეტი ენერგიის მდგომარეობიდან ნაკლები ენერგიის მდგომარეობაში გადადის. შთანთქმა კი — როდესაც ნაკლები ენერგიის მდგომარეობიდან გადადის მეტი ენერგიის მდგომარეობაში.**

### საშინაო ცდა

საშინაო  
დავალება

შეუიარაღებელი თვალით ღამით დააკვირდით მოწმენდილ ცას.

ა. ვარსკვლავები ჩვენგან ერთნაირი მანძილითაა დაშორებული?

ბ. ყველა ვარსკვლავი ერთნაირი სიკაშკაშისაა?

გ. ვარსკვლავები ერთნაირი სიხშირითაა განაწილებული ცის სხვადასხვა მონაკვეთზე? დაახლოებით რამდენ ვარსკვლავს ხედავთ?

საშინაო ცდების ჩატარებამდე აუცილებლად დაკვირვებით წაიკითხეთ პარაგრაფი.

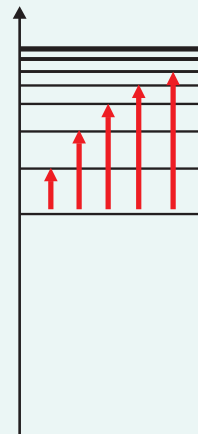
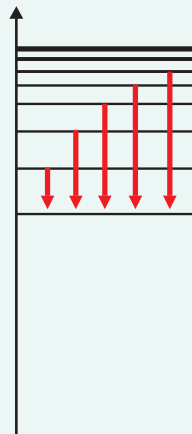
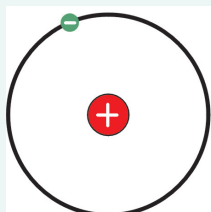
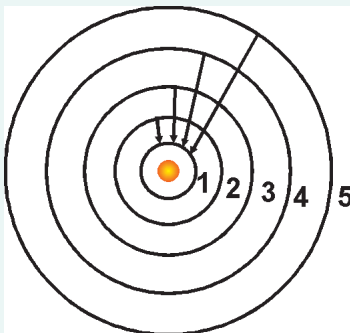
დამოუკიდებლად პასუხის გაცემით განიმტკიცეთ ცოდნა მასში მოცემულ კითხვებზე.

I თავი.

## მიკროსამყაროს კვანტური გუნება

### ამ თავში გაიხსენებთ და გააცნობით

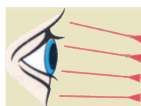
- ☞ ატომის პლანეტარულ მოდელს;
- ☞ პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს;
- ☞ ბორის პოსტულატებს;
- ☞ წყალბადის ატომის მოდელს;
- ☞ ელექტრონების დიფრაქციას;
- ☞ დე ბროილის ტალღის სიგრძეს.



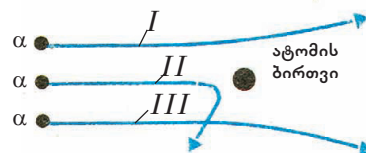
## 1.1

## ატომის პლანეტარული მოდელი

დააკვირდით 6.1 სურათს.



1. რა ინფორმაციას იღებთ სურათიდან?
2. რომელი  $\alpha$  ნაწილაკი მიუახლოვდა ოქროს ატომის ბირთვს ყველაზე მეტად?
3. რომელი  $\alpha$  ნაწილაკის მოძრაობის ტრაექტორიაა ყველაზე მეტად გამრუდებული?



სურ. 6.1. ატომის ბირთვიდან სხვადასხვა მანძილით დაშორებული  $\alpha$  ნაწილაკების მოძრაობის ტრაექტორიები.

რეზერფორდის ცდაში იშვიათად, მაგრამ მაინც, შეამჩნიეს ისეთი შემთხვევებიც, როდესაც ცალკეული  $\alpha$ -ნაწილაკების გაბნევის კუთხე მართ კუთხეს აღემატებოდა.

რეზერფორდისთვის ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგი მოულოდნელი აღმოჩნდა.

„ეს თითქმის ისევე წარმოუდგენელია, — ამბობდა რეზერფორდი, — როგორც ის, რომ ესროლოთ 15 დუმიანი ყუმბარა თხელი ქაღალდის ფურცელს, ყუმბარა კი დაბრუნდეს უკან და მოგაყენოთ დარტყმა“.

დუიმი — სიგრძის ერთეული. 1 დუიმი=25,40 მმ.

როგორ შეიძლება ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების ახსნა?

თუ ჩავთვლით, რომ ატომში დადებითი მუხტი განაწილებულია ისე, როგორც ტომსონი ვარაუდობდა, მაშინ ამ შედეგის წინასწარმეტყველება შეუძლებელი იყო. დადებითი მუხტის ასეთი განაწილების დროს შეუძლებელია შეიქმნას საკმარისად ძლიერი ელექტრული ველი, რომელსაც შეეძლება  $\alpha$ -ნაწილაკის უკუგდება. მართლაც, რადგან თანაბრად დამუხტული ბირთვის ელექტრული ველის დაძაბულობა განისაზღვრება  $E = k \frac{q}{R^2}$  ფორმულით, რაც ნაკლებია მისი რადიუსი მით უფრო ძლიერია ელექტრული ველი მის ზედაპირთან და მით მეტია  $\alpha$  ნაწილაკის განზიდვის ძალა.

რეზერფორდი მიხვდა, რომ  $\alpha$  ნაწილაკის უკუგდება შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ატომის დადებითი მუხტი და მასა მოთავსებულია სივრცის ძალიან მცირე არეში.

სხვადასხვა კუთხით გაბნეული  $\alpha$ -ნაწილაკების დათვლით რეზერფორდმა შეძლო ბირთვის ზომების შეფასება. მისი გაანგარიშებით ბირთვის დიამეტრი  $10^{-14}$ - $10^{-15}$  მ რიგისაა (სხვადასხვა ბირთვს სხვადასხვა დიამეტრი აქვს). თვით ატომის ზომა  $10^{-10}$  მ,  $10$ - $100$  ათასჯერ აღემატება ბირთვის ზომას. ასე მივიდა რეზერფორდი ატომის ბირთვის (მცირე ზომის სხეულის, რომელშიც კონცენტრირებულია ატომის თითქმის მთელი მასა და მთელი დადებითი მუხტი) არსებობის იდეამდე. შემდგომში მოხერხდა ბირთვის მუხტის განსაზღვრა. თუ ელექტრონის მუხტს ერთეულად მივიღებთ, მაშინ ბირთვის მუხტი ტოლია მოცემული ქიმიური ელემენტის რიგითი ნომრისა მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში.



4. როგორ განვსაზღვროთ ატომში ელექტრონების რაოდენობა?

### სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ახასიათებს პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს.

### სასწავლო მიზნები:

. რეზერვორდის ცდების ანალიზით ატომის პლანეტარული მოდელის სქემატური წარმოდგენა.

. ანალიზის, სინთეზის და შეფასების დონის უნარების განვითარება.

1. სურათზე გამოსახულია ატომის ბირთვისაკენ მოძრავი  $\alpha$  ნაწილაკების მოძრაობის ტრაექტორიები.

2,3. ოქროს ატომის ბირთვს ყველაზე მეტად მიუახლოვდა მეორე ნაწილაკი. მისი მოძრაობის ტრაექტორია ყველაზე მეტადაა გამრუდებული.

შეახსენეთ მოსწავლეებს: ჯოზეფ ტომსონმა (1856-1940) შექმნა ატომის აგებულების პირველი მოდელი. ტომსონის აზრით, ატომი სფეროა. დადებით მუხტს უკავია ატომის მთელი მოცულობა და ამ მოცულობაში განაწილებულია მუდმივი სიმკვრივით. სფეროს შიგნით კი ელექტრონებია მიმოფანტული. უმარტივესი ატომი – წყალბადის ატომი – არის  $10^{-10}$  მ რადიუსის დადებითად დამუხტული სფერო, რომლის შიგნით ელექტრონია. ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია.

4. რადგან ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია, ამიტომ მასში ელექტრონების რაოდენობა ისევე, როგორც ბირთვის მუხტი პერიოდულ სისტემაში, ელემენტის რიგითი ნომრის ტოლია.

რალაც მიზეზის გამო დედამიწის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე მოძრავი თანამგზავრის სიჩქარე ნულამდე შემცირდა.



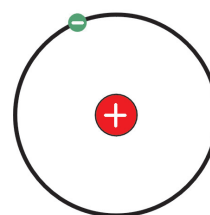
5. როგორია თქვენი აზრი, რა მოხდება შემდეგ? შეძლებს თანამგზავრი ორბიტაზე მდებარეობის შენარჩუნებას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

6. შეუძლიათ თუ არა ელექტრონებს ატომში უძრავად ყოფნა? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

წლების განმავლობაში ჩატარებული მრავალი ცდის ანალიზის შედეგად რეზერფორდმა 1911 წელს წამოაყენა ატომის შემდეგი მოდელი: **ატომი შედგება დადებითად დამუხტული ატომბირთვისაგან, რომელსაც უკავია ატომის მთელი მოცულობის უმნიშვნელოდ მცირე ნაწილი. ატომბირთვის გარშემო შედარებით დიდ მანძილზე, განსაზღვრულ ორბიტებზე მოძრაობენ ელექტრონები.** ამგვარად, ატომი წარმოდგენილი გვაქვს პატარა მასშტაბის პლანეტათა სისტემის სახით. ამიტომ ატომის ასეთ მოდელს **პლანეტარული მოდელი** ეწოდება (სურ. 7.1).



7. რომელი ელემენტის ატომის მოდელია გამოსახული 7.1 სურათზე? რისგან შედგება იგი?



სურ. 7.1

რამ „აიძულა“ რეზერფორდი ატომის აგებულების სწორედ პლანეტარული მოდელი შეექმნა და არა სხვა?

ატომის პლანეტარული მოდელის **პირდაპირი ექსპერიმენტული დასაბუთებაა**  $\alpha$ -ნაწილაკების გაბნევის ცდები.



8. აჩქარებულია ელექტრონების მოძრაობა ატომში? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

9. რა არის ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივების წყარო?

10. როგორ შეიცვლება მანძილი ელექტრონებსა და ბირთვს შორის, თუ ატომი ენერგიას ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივებაზე დაკარგავს?

ნიუტონის მექანიკასა და მაქსველის ელექტროდინამიკაზე დამყარებული სრულიად მკაცრი გამოთვლები აჩვენებს, რომ ელექტრონი მეტად მცირე, დაახლოებით  $10^{-8}$  ნმ-ში უნდა დაეცეს ბირთვს და ატომმა არსებობა უნდა შეწყვიტოს. სინამდვილეში მსგავსი არაფერი ხდება. ატომი მდგრადია და შეუძლია განუსაზღვრელად დიდხანს იარსებოს. მიღებული წინააღმდეგობა თეორიასა და ცდას შორის შედეგია კლასიკური ფიზიკის კანონების გამოყენებისა ატომის შიგნით მიმდინარე პროცესების მიმართ.

აქედან შეიძლება ერთადერთი დასკვნის გამოტანა: **ატომური მოვლენებისათვის კლასიკური ფიზიკის კანონები არ გამოდგება.**

**რეზერფორდის ცდების ანალიზით სქემატურად წარმოვადგინეთ ატომის პლანეტარული მოდელი.**

5. თანამგზავრი მდებარეობას ვერ შეინარჩუნებს. იგი დედამინის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით ჩამოვარდება.

6. ატომში ელექტრონებს უძრავად ყოფნა არ შეუძლიათ. ბირთვის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით ისინი დაეცემიან ბირთვს და ატომი შეწყვეტს არსებობას.

7. სურათზე გამოსახულია წყალბადის ატომის მოდელი. იგი შედგება ბირთვისაგან, რომლის დადებითი მუხტი ელექტრონის მუხტის ტოლია და მასა დაახლოებით 1836,1-ჯერ მეტია ელექტრონის მასაზე. ამ ბირთვს უწოდეს პროტონი. იგი განიხილება, როგორც ელემენტარული ნაწილაკი. ბირთვის გარშემო ბრუნავს ერთი ელექტრონი. ატომის ზომა არის ელექტრონის ორბიტის რადიუსი.

8. ელექტრონების მოძრაობა ატომში აჩქარებულია, რადგანაც ისინი მრუდწირულ ტრაექტორიაზე მოძრაობენ.

9. ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივების წყარო დამუხტული ნაწილაკების აჩქარებული მოძრაობაა.

10. თუ ატომი ელექტრონების აჩქარებული მოძრაობის გამო ენერგიას გამოასხივებს, მაშინ მანძილი ელექტრონებსა და ბირთვს შორის უნდა შემცირდეს.

**გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს რეზერფორდის ცდების შედეგების ახსნა. აგრეთვე, შეძლოს დაასაბუთოს, რატომ არ შეიძლება ატომში დადებითი მუხტის ისე განაწილება, როგორც ტომსონი ფიქრობდა. ცდების ანალიზის საფუძველზე უნდა შეძლოს ატომის პლანეტარული მოდელი წარმოადგინოს სქემატურად.**

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

1. რეზერფორდის მიერ ცდის შედეგების ახსნა;
2. ატომის პლანეტარული მოდელი;
3. ატომის პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობა ნიუტონის მექანიკასა და მაქსველის ელექტროდინამიკასთან.

## 1.2

## ბორის პოსტულატები



1. მდგრადია თუ არა ატომური სისტემა? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?
2. რამ განაპირობა ატომის პლანეტარული მოდელის შექმნა?

კლასიკური ფიზიკის კანონების მიხედვით შეუძლებელია ისეთი ატომის არსებობა, რომელსაც პლანეტარული აგებულება აქვს.

როგორ „გავამართლოთ“ ატომის პლანეტარული მოდელის არსებობა, თუ იგი აუცილებლად უნდა დაიღუპოს?

გამოსავალი მეტად მძიმე მდგომარეობიდან იპოვა დანიელმა ფიზიკოსმა ნილს ბორმა, კვანტური წარმოდგენების შემდგომი განვითარების გზაზე, 1913 წელს. ცდილულ ფაქტებზე დაყრდნობით, ბორმა პოსტულატების სახით ჩამოაყალიბა ახალი თეორიის ძირითადი დებულებები.

ბორის პირველი პოსტულატი: **ატომური სისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს მხოლოდ განსაკუთრებულ სტაციონარულ, კვანტურ მდგომარეობებში, რომელსაც შეესაბამება განსაზღვრული ენერგია  $E_n$ . სტაციონარულ მდგომარეობაში ატომი არ ასხივებს.**

კლასიკური მექანიკის თანახმად, მოძრავი ელექტრონის ენერგია შეიძლება იყოს ნებისმიერი.



3. როგორ ფიქრობთ, წინააღმდეგობაშია თუ არა ბორის პირველი პოსტულატი კლასიკურ მექანიკასთან? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

მაქსველის ელექტროდინამიკის თანახმად, აჩქარებულად მოძრავი მუხტი გამოასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს.



4. როგორ ფიქრობთ, წინააღმდეგობაშია თუ არა ბორის პირველი პოსტულატი მაქსველის ელექტროდინამიკასთან? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

ბორის მეორე პოსტულატის თანახმად, **ატომის გადასვლისას ერთი სტაციონარული მდგომარეობიდან მეორეში გამოსხივდება ან შთაინთქმება ელექტრომაგნიტური ენერგიის კვანტი.**

გამოსხივება ხდება ატომის მეტი ენერგიის მდგომარეობიდან ნაკლები ენერგიის მდგომარეობაში გადასვლისას.

ენერგიის შთანთქმისას ატომი გადადის ნაკლები ენერგიის მდგომარეობიდან მეტი ენერგიის მდგომარეობაში.

ფოტონის ენერგია ტოლია ატომის ორი სტაციონარული მდგომარეობის ენერგიათა სხვაობისა:  $h\nu_{mn} = E_m - E_n$  (1)  
სადაც  $m$  და  $n$  სტაციონარულ მდგომარეობათა ნომრებია.



5. გამოსხივდება თუ შთაინთქმება ფოტონი, როდესაც  
ა.  $E_m > E_n$ ;      ბ.  $E_m < E_n$ .      პასუხი დაასაბუთეთ.

### სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ახასიათებს პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს.

1. დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ ატომური სისტემა მდგრადია, არააღზნებულ მდგომარეობაში შეუძლია განუსაზღვრელად დიდხანს იარსებოს ისე, რომ არ გამოასხივოს ენერგია.

2. ატომის პლანეტარული მოდელის შექმნა განაპირობა  $\alpha$  ნაწილაკების გაბნევის ცდებმა. ეს ექსპერიმენტები ატომის პლანეტარული მოდელის პირდაპირი დასაბუთებაა.

3. ბორის პირველი პოსტულატი აშკარა წინააღმდეგობაშია კლასიკურ მექანიკასთან. პირველი პოსტულატის თანახმად, ატომს შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ განსაზღვრული ენერგია და არა ნებისმიერი, როგორც ეს კლასიკურ მექანიკაშია.

4. ბორის პირველი პოსტულატი აშკარა წინააღმდეგობაშია მაქსველის ელექტროდინამიკასთან. პირველი პოსტულატის თანახმად, სტაციონარულ მდგომარეობაში ელექტრონების აჩქარებული მოძრაობისას ატომი ენერგიას არ ასხივებს. მაშინ, როდესაც მაქსველის ელექტროდინამიკის თანახმად, აჩქარებულად მოძრავი მუხტი ყოველთვის ასხივებს ენერგიას.

5. ბორის მეორე პოსტულატის თანახმად, როდესაც  $E_m > E_n$  ფოტონი გამოსხივდება, ხოლო თუ  $E_m < E_n$  — შთაინთქმება.

გამოსხივებული (ან შთანთქმული) კვანტის რხევის სიხშირე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h} \Rightarrow \nu_{mn} = \frac{E_m}{h} - \frac{E_n}{h}. \quad (2) \text{ რომელიც შეიძლება ასეც დავწეროთ}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{hc} (E_m - E_n). \quad (3)$$

მაქსველის ელექტროდინამიკის თანახმად, აჩქარებულად მოძრავი მუხტის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე ტოლი უნდა იყოს ბირთვის გარშემო მუხტის ბრუნვის სიხშირის.



6. როგორ ფიქრობთ, წინააღმდეგობაშია თუ არა ბორის მეორე პოსტულატი მაქსველის ელექტროდინამიკასთან? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

კლასიკური მექანიკის თანახმად, ელექტრონმა შეიძლება იმოძრაოს ნებისმიერი რადიუსის წრეწირზე. ბორის პირველი პოსტულატის მიხედვით, რადგან ენერგიამ შეიძლება მიიღოს მხოლოდ განსაზღვრული მნიშვნელობა, ამიტომ ატომში ორბიტების რადიუსები არ შეიძლება იყოს ნებისმიერი. ამ შეუსაბამობის დასაძლევად ბორმა შემოიღო დაკვანტვის წესი. მან დაუშვა, რომ ელექტრონის იმპულსის ნამრავლი ორბიტის რადიუსზე პლანკის მუდმივას ჯერადია  $mvr = n\hbar$ , სადაც  $n=1, 2, 3, \dots$ ,  $m$  — ელექტრონის მასაა,  $v$  ორბიტაზე ელექტრონის სიჩქარის მოდული,  $r$  — ორბიტის რადიუსი,  $mv$  — ელექტრონის იმპულსის მოდული,  $mvr$  — ელექტრონის იმპულსის მომენტის მოდული,  $\hbar=1,05 \cdot 10^{-34}$  ჯ·წმ პლანკის მუდმივაა ( $\hbar$  — იკითხება ჰაზიანი).

დაკვანტვის წესის გამოყენებით ბორმა შეძლო ორბიტების შესაძლო რადიუსების განსაზღვრა.

ნივთიერების ატომებზე სინათლით, რენტგენის სხივებით,  $\alpha$ -ნაწილაკების ან ელექტრონების ნაკადის ზემოქმედებით შეიძლება გამოვიწვიოთ ატომის გადასვლა ერთი სტაციონარული მდგომარეობიდან მეორეში. ატომის მდგომარეობის ამ ცვლილებას ატომის **აღგზნება** ეწოდება.

აღგზნებულ მდგომარეობაში ატომი მეტად მცირე ხანს რჩება (წამის მე-მილიარდედი ნაწილი). აღგზნებული ატომი თავის ნორმალურ არააღგზნებულ მდგომარეობაში დაბრუნებისას გამოასხივებს ფოტონს, რომლის სიხშირე განისაზღვრება (2) ფორმულით.

**ატომი სტაციონარულ მდგომარეობაში არ ასხივებს. ატომის მიერ ენერგიის გამოსხივება ხდება, როდესაც ატომი მეტი ენერგიის მდგომარეობიდან ნაკლები ენერგიის მდგომარეობაში გადადის. შთანთქმა კი — როდესაც ნაკლები ენერგიის მდგომარეობიდან გადადის მეტი ენერგიის მდგომარეობაში.**

ამ საკითხებზე ინფორმაცია მოიპოვეთ ინტერნეტში მისამართზე:

<http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter6/section/paragraph2/theory.html>

<http://physics.ru/courses/op25part2/content/models/hydrogenatom.html>

### დავალება

$$\text{გადაწერეთ ფორმულები } E_{\text{კოტ}} = k \frac{q_1 q_2}{R}, \quad E_{\text{კინ}} = \frac{mv^2}{2},$$

განმარტეთ ფორმულებში შემავალი თითოეული ფიზიკური სიდიდე და მიუთითეთ მათი ერთეული SI-ში.

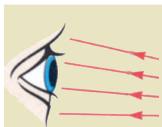
6. ბორის მეორე პოსტულატი წინააღმდეგობაშია მაქსველის ელექტროდინამიკასთან, რადგანაც მაქსველის თანახმად, გამოსხივებული ტალღის სიხშირე განისაზღვრება ელექტრონების მოძრაობის ხასიათით (აჩქარებით), ბორის მიხედვით კი ატომის ენერგიის ცვლილებით.

*ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს დაასაბუთოს, რომ კლასიკური მექანიკის მიხედვით ატომს არ შეიძლება ჰქონდეს პლანეტარული აგებულება. უნდა შეძლოს ბორის პოსტულატების ჩამოყალიბება და მათი მნიშვნელობის დასაბუთება.*

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

1. ბორის I პოსტულატი;
2. ბორის II პოსტულატი;
3. ბორის II პოსტულატის წინააღმდეგობა მაქსველის ელექტროდინამიკასთან;
4. დაკვანტვის წესი;
5. ატომის ძირითადი და აღგზნებული მდგომარეობები.

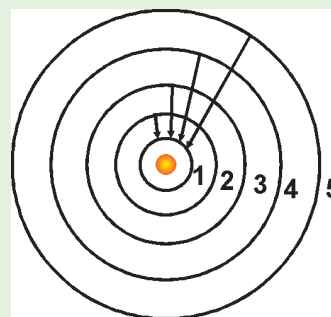
## 1.3

წყალბადის ატომის მოდელი  
ბორის მიხედვით

1. რა ინფორმაციას იღებთ 10.1 სურათიდან?



2. რა მოხდება, როდესაც ელექტრონი გადავა მაღალი ენერგეტიკული დონიდან დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე?



სურ. 10.1. სურათზე წყალბადის ატომში ელექტრონის ხუთი დასაშვები ორბიტაა გამოსახული. ისრებით ნაჩვენებია ელექტრონის შესაძლო გადასვლები ერთი ორბიტიდან მეორეზე.

გამოსხივებული ან შთანთქმული ფოტონის სიხშირე  $\nu_{mn} = \frac{E_m}{h} - \frac{E_n}{h}$ , (1)

სადაც  $E_m$  და  $E_n$ , შესაბამისად,  $m$  და  $n$  სტაციონარულ მდგომარეობებში ატომის ენერგიებია,  $h=6,63 \cdot 10^{-34}$  ჯ.წმ პლანკის მუდმივაა.



3. რა უნდა ვიცოდეთ, რომ განვსაზღვროთ გამოსხივებული ან შთანთქმული ფოტონის სიხშირე?

4. რა სახის ენერგიები აქვს ელექტრონს წყალბადის ატომში? დაწერეთ ამ ენერგიების განმსაზღვრელი ფორმულები.

წყალბადის ატომის სრული ენერგია კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამის ტოლია  $E = \frac{mv^2}{2} - k \frac{e^2}{r}$ . (2)

ორბიტაზე მოძრაობისას ელექტრონს ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს კულონური ძალა, რომლის მოდული  $F = k \frac{e^2}{r^2}$ . (3)

$$\text{ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად } k \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v^2 = \frac{ke^2}{mr}. \quad (4)$$

$$(4) \rightarrow (2) \Rightarrow E = \frac{ke^2}{2r} - \frac{ke^2}{r} \Rightarrow E = -\frac{ke^2}{2r}. \quad (5)$$

მივიღეთ წყალბადის ატომის სრული ენერგიის განმსაზღვრელი ფორმულა. ბორის დაკვანტვის წესის თანახმად ელექტრონის იმპულსის მომენტის მოდული

$$mvr_n = n\hbar \Rightarrow v = \frac{n\hbar}{mr_n}. \quad (6) \quad (6) \rightarrow (4) \Rightarrow \frac{n^2\hbar^2}{m^2r_n^2} = \frac{ke^2}{mr_n} \Rightarrow r_n = \frac{n^2\hbar^2}{kme^2}. \quad (7)$$



5. დაასახელეთ (7) ფორმულაში შემავალი ფიზიკური სიდიდეები და მათი რიცხვითი მნიშვნელობები.

6. როგორი მნიშვნელობები შეიძლება ჰქონდეს ბორის ორბიტების რადიუსს ნებისმიერი თუ დისკრეტული? პასუხი დაასაბუთეთ.

7. განსაზღვრეთ ბორის ატომში ელექტრონის ორბიტის უმცირესი რადიუსი.

### სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ. XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს წყალბადის ატომის მოდელს ბორის პოსტულატების გამოყენებით;

2. როდესაც ელექტრონი გადავა მაღალი ენერგეტიკული დონიდან დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე გამოსხივდება  $h\nu$  ენერგიის ფოტონი.

3. გამოსხივებული ან შთანთქმული ფოტონის სიხშირე რომ განვსაზღვროთ საჭიროა ვიცოდეთ ორბიტებზე ატომის ენერგიები.

4. ატომბირთვის გარშემო მოძრაობისას ელექტრონს გააჩნია ბირთვთან ურთიერთქმედების -  $k \frac{e^2}{r}$  პოტენციური და მოძრაობის  $\frac{mv^2}{2}$  ენერგიები, სადაც  $m$  არის ელექტრონის მასა,  $e$  — ელექტრონის მუხტის მოდული,  $r$  — ორბიტის რადიუსი,  $v$  — ორბიტაზე ელექტრონის სიჩქარის მოდული,  $k=9 \cdot 10^9 \text{ ნ}\cdot\text{მ}^2/\text{კ}^2$  მუდმივი სიდიდე.

5.  $\hbar=1,05 \cdot 10^{-34}$  ჯ. ნმ. არის პლანკის მუდმივა,  $k=9 \cdot 10^9 \text{ ნ}\cdot\text{მ}^2/\text{კ}^2$  — მუდმივი სიდიდეა,  $m=9,1 \cdot 10^{-31}$  კგ — ელექტრონის მასა,  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  კ — ელექტრონის მუხტის მოდული,  $n=1, 2, 3, \dots$  ნატურალური რიცხვია,  $r_n$  — ბორის ორბიტების რადიუსები.

6.  $r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{k m e^2}$ . ამ ფორმულაში რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მიიღება: ბორის ორბიტის რადიუსები იცვლება დისკრეტულად  $n$  რიცხვის ცვლასთან ერთად.

7.  $r_1=5 \cdot 10^{-11}$  მ.

ელექტრონის ორბიტის უმცირესი რადიუსი ატომის რადიუსია. იგი  $5 \cdot 10^{-11}$  მ-ია.

$$(7) \rightarrow (5) \Rightarrow E_n = - \frac{k^2 m e^4}{2 n^2 \hbar^2}. \quad (8)$$

მივიღეთ ატომის სტაციონარული მდგომარეობების ენერგიის მნიშვნელობების განმსაზღვრელი ფორმულა.



8. როგორი მნიშვნელობები შეიძლება ჰქონდეს ატომის სრულ ენერგიას ნებისმიერი თუ დისკრეტული?



9. განსაზღვრეთ უდაბლეს ენერგეტიკულ მდგომარეობაში ( $n=1$ ) წყალბადის ატომის ენერგია.

11.1 ა და ბ სურათებზე ენერგიის ეს მნიშვნელობები გადაზომილია ვერტიკალურ ღერძზე.

წყალბადის ატომის იონიზაციისთვის — ატომიდან ელექტრონის მოსაწყვეტად — საჭიროა, მას მივანიჭოთ 13,55 ევ ენერგია. ეს ის ენერგიაა, რომელიც ატომს გააჩნია უდაბლეს ენერგეტიკულ დონეზე. ამ ენერგიას იონიზაციის ენერგია ეწოდება. უდაბლეს ენერგეტიკულ მდგომარეობაში ატომს შეუძლია ყოფნა რაგინდ დიდხანს. ატომის ყველა მდგომარეობას, როცა  $n=2, 3, 4 \dots$  ატომის ალგზნებული მდგომარეობა შეესაბამება. ამ მდგომარეობებში ატომის სიცოცხლის ხანგრძლივობა  $10^{-8}$  წმ-ის რიგისა. ამ დროის განმავლობაში ელექტრონი ატომის ბირთვის გარშემო დაახლოებით ასი მილიონი ბრუნის გაკეთებას ასწრებს.

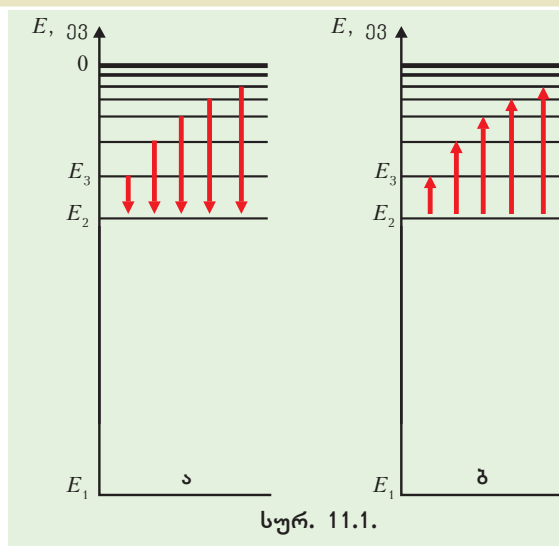


10. როგორ განსაზღვრავთ ერთი ორბიტიდან მეორეზე ელექტრონის გადასვლისას გამოსხივებულ, ან შთანთქმული ფოტონის ენერგიას? სიხშირეს? პასუხი დაასაბუთეთ.

ფიზიკაში კვანტური წარმოდგენების შემოტანამ განაპირობა ახალი თეორიების — კვანტური მექანიკისა და კვანტური ელექტროდინამიკის ჩამოყალიბება. ბორის პოსტულატები ამ ახალი თეორიების ძირითადი პრინციპების შედეგებია.

**ბორის პოსტულატებზე დაყრდნობით დავადგინეთ, რას უდრის წყალბადის ატომში ელექტრონის ორბიტის უმცირესი რადიუსი და ენერგია, რომელიც ატომს გააჩნია უდაბლეს ენერგეტიკულ დონეზე ე. წ. ძირითად მდგომარეობაში. გამოვიყვანეთ ფორმულები, რომელთა მიხედვითაც შევძლებთ წყალბადის ატომში ელექტრონის შესაძლო ორბიტების რადიუსების და შესაბამისი ენერგიების განსაზღვრას.**

ამ საკითხებზე ინფორმაცია მოიპოვეთ ინტერნეტში მისამართზე:  
<http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter6/section/paragraph3/theory.html>



სურ. 11.1.

8,9.  $E_n = -\frac{k^2 m e^4}{2n^2 \hbar^2}$ . (8) ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ატომის სრულ ენერგიას აქვს დისკრეტული მნიშვნელობები.  $\rightarrow$  (8):  $E_1 = -13,55$  ევ.

10. ბორის მეორე პოსტულატის თანახმად ატომის მიერ გამოსხივებული ან შთანთქმული ფოტონის ენერგია განისაზღვრება  $h\nu_{mn} = E_m - E_n$  (1) ფორმულით, ხოლო სიხშირე  $\nu_{mn} = \frac{E_m}{h} - \frac{E_n}{h}$  (2) ფორმულით. ვთქვათ, ელექტრონი მე-4 ენერგეტიკული დონიდან გადავიდა მე-2 ენერგეტიკულ დონეზე, მაშინ (8)-ს მეშვეობით განვსაზღვროთ  $E_m$ -სა და  $E_n$ -ის მნიშვნელობები, ჩავსვათ (2)-ში და განვსაზღვროთ გამოსხივებული ფოტონის სიხშირე.

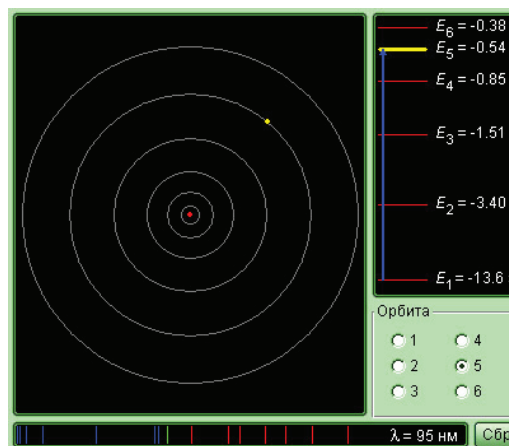
**ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ, მიღებული ცოდნის გამოყენებით და მათემატიკური გამოთვლებით უნდა შეძლოს დაადგინოს ელექტრონის მოძრაობის შესაძლო ორბიტების რადიუსების და ატომის სტაციონარული მდგომარეობების შესაბამისი ენერგიის მნიშვნელობების ფორმულები. გამოთვალოს, რას უდრის ელექტრონის ორბიტის უმცირესი რადიუსი და უდაბლეს ენერგეტიკულ მდგომარეობაში წყალბადის ატომის ენერგია.**

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

1. წყალბადის ატომში ელექტრონის შესაძლო ორბიტების რადიუსის განმსაზღვრელი ფორმულის დადგენა. უმცირესი რადიუსის განსაზღვრა.
2. ელექტრონის შესაძლო ორბიტების შესაბამისი ენერგიის განმსაზღვრელი ფორმულის დადგენა. უდაბლესი ენერგეტიკული მდგომარეობის შესაბამისი ენერგიის განსაზღვრა.
3. ატომის ენერგეტიკული დონეების და შესაძლო გადასვლების გრაფიკული გამოსახვა.
4. ბორის პოსტულატების გამოყენების მნიშვნელობა.

ამ მისამართზე თქვენ ნახავთ წყალბადის ატომის ენერგეტიკული დონეების ანიმაციურ მოდელს.

<http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter6/section/paragraph3/theory.html>



## 1.4

## კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი. დე ბროილის ტალღის სიბრძნე



1. სინათლე — ელექტრომაგნიტური ტალღა — ავლენს თუ არა ნაწილაკების თვისებას? მოიყვანეთ პასუხის დამადასტურებელი მაგალითი.

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

სინათლე — ელექტრომაგნიტური ტალღა — ავლენს ნაწილაკების თვისებებს. ლოგიკურია თუ არა ვივარაუდოთ, რომ ნაწილაკები ვთქვათ — ელექტრონები ავლენენ ტალღურ თვისებებს?



2. რას ფიქრობთ ამ საკითხზე? როგორ შევამოწმოთ ჰიპოთეზის მართებულობა?

განვიხილოთ აზრობრივი ექსპერიმენტი.

ელექტრონების ნაკადი მოძრაობს ეკრანისკენ, ეკრანს მცირე ზომის ორი  $A$  და  $B$  ხვრელი აქვს.

ეკრანის უკან გეიგერის მრიცხველი — ელექტრონების დამთვლელია მოთავსებული (სურ. 12.1).

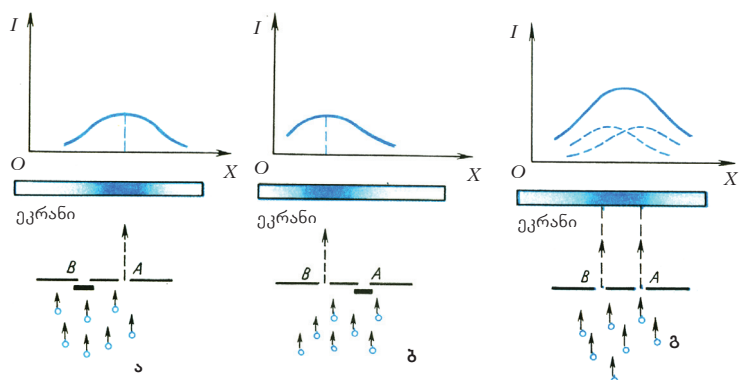
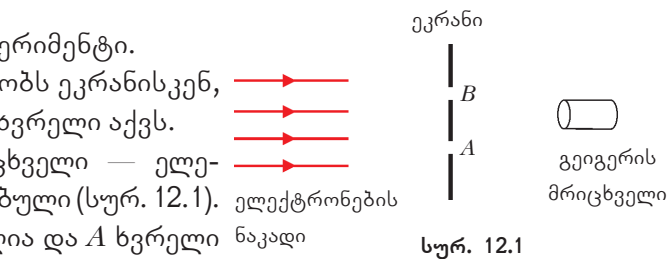
როდესაც  $B$  ხვრელი დახურულია და  $A$  ხვრელი ნაკადი ღია, მაშინ მრიცხველის დათვლის სისწრაფე ყოველ წუთში, ვთქვათ, 100 ელექტრონია (სურ. 12.2,ა). როდესაც  $A$  ხვრელი დახურულია და  $B$  ხვრელი ღია მრიცხველის დათვლის სისწრაფე მაშინაც 100 ელექტრონია (სურ. 12.2,ბ).



3. თქვენი ვარაუდით, თუ  $A$  ხვრელი ღია იქნება,  $B$  დახურული და დავიწყებთ  $B$  ხვრელის თანდათანობით ნელ-ნელა გაღებას, მაშინ 1 წთ-ში რა ფარგლებში შეიცვლება მრიცხველის დათვლის სისწრაფე? პასუხი დაასაბუთეთ.

ცდა გვიჩვენებს, მრიცხველის მდებარეობის მიხედვით ზოგიერთ ადგილას შეიძლება დაფიქსირდეს დათვლის სისწრაფის შემცირება 1 წთ-ში 100-დან ნულამდე. **საკვირ-**

**ველია**  $B$  ხვრელის თანდათან გაღებას როგორ უნდა გამოენჯია  $A$  ხვრელში გასული ელექტრონების რაოდენობის შემცირება? უფრო მეტიც შეიძლება მოინახოს მრიცხველის ისეთი მდებარეობა, სადაც  $B$  ხვრელის თანდათან გაღებისას დათვლის სისწრაფე 1 წთ-ში იზრდება 100-დან 400-მდე. (ე. ი. ორჯერ, მეტი, ვიდრე უშუალო ჯამი ცალკეული ეფექტისა ორივე ხვრელით).



სურ. 12.2. ელექტრონების განაწილება კლასიკური ფიზიკის შესაბამისად.

### სტანდარტთან კავშირი

**არჩ.ფიზ.XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ახასიათებს გამოსხივების ნაწილაკოვან ბუნებას და მატერიის ტალღურ ბუნებას.

1. ფოტოეფექტისა და აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების მოვლენებმა გვიჩვენა, რომ სინათლე — ელექტრომაგნიტური ტალღა — ავლენს ნაწილაკების თვისებებს.

2. ჰიპოთეზის მართებულობა აუცილებლად ექსპერიმენტით უნდა შემოწმდეს.

3. ალბათ მოსწავლეთა უმეტესობა იტყვის 1 ნთ-ში მრიცხველის დათვლის სისწრაფე, გაიზრდება 100-დან 200-მდე ეს გამომდინარეობს საღი გონებიდან და იმისგან რაც ადრე ვიცოდით.

### სტანდარტთან კავშირი

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

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- გამოთქვამს არგუმენტირებულ მოსაზრებას/ვარაუდს.

**კვლ. XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- 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.

12.2 სურათზე გამოსახულია კლასიკური მექანიკის მიხედვით ელექტრონების მოსალოდნელი განაწილების დამოკიდებულება მრიცხველის მდებარეობაზე — 13.1 სურათზე ექსპერიმენტით მიღებული შედეგი.



4. თქვენი ვარაუდით, ამ გრაფიკებიდან რომელია სწორი? ახსენით რატომ ფიქრობთ ასე?

შევნიშნოთ, რომ ექსპერიმენტით მიღებული, ინტენსიობის მიხედვით ელექტრონების განაწილების სურათი ისეთივეა, როგორიც ორი ხვრელიდან გამოსული სინათლის ინტერფერენციული სურათი. ტალღები ერთმანეთს აძლიერებენ იმ წერტილებში, სადამდეც სვლათა სხვაობა

$D_1 - D_2$  ტალღის სიგრძის ნახევრის ლუნი რიცხვია. ე. ი.  $D_1 - D_2 = \frac{\lambda}{2} 2N$  (სურ. 13.1), სადაც  $\lambda$  ტალღის სიგრძეა,  $N$  ნატურალური რიცხვი.

ტალღები ერთმანეთს ასუსტებენ იმ წერტილებში სადამდეც სვლათა სხვაობა ტალღის სიგრძის ნახევრის კენტი რიცხვია. ე. ი.

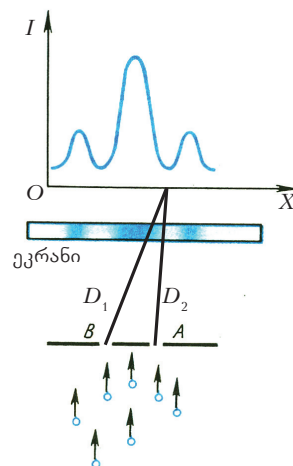
$$D_1 - D_2 = \frac{\lambda}{2} (2N + 1).$$

ელექტრონი ჩვენ წარმოგვიდგენია, როგორც გარკვეული მასისა და მუხტის ნაწილაკი, როგორ შეიძლება იგი იყოს ტალღა?

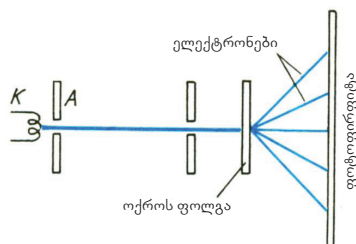
ეს, რომ შესაძლებელია პირველმა მიუთითა ლუი დებროლმა 1924 წელს. მისი ვარაუდით, ყველა ნაწილაკს, ისე, როგორც სინათლეს უნდა ჰქონდეს ტალღური თვისებები. მანვე შემოიტანა რაოდენობრივი დამოკიდებულება ნაწილაკის ტალღის სიგრძესა და მის იმპულს შორის  $\lambda = \frac{h}{p}$ , სადაც  $\lambda$  ტალღის სიგრძეა, რომელსაც **დე**

**ბროილის ტალღის სიგრძეს** უწოდებენ,  $p$  – ნაწილაკის იმპულსი,  $h$  პლანკის მუდმივა. დე ბროილის ჰიპოთეზის მართებულობა, პირველად შემთხვევით ექსპერიმენტულად აღმოაჩინეს 1927 წელს ელექტრონების დიფრაქციის შემჩნევისას. 13.2 სურათზე ცდის სქემაა გამოსახული. 93.3-ზე ფოტოფირზე მიღებული დიფრაქციული სურათი — ცენტრალური ლაქის ირგვლივ ბნელი და ნათელი ზოლების ერთობლიობა.

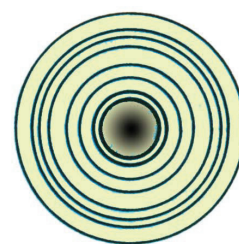
დადგენილია, რენტგენის სხივების და ელექტრონების დე ბროილის ტალღის სიგრძე თითქმის ერთნაირია. ამიტომ ელექტრონებისა და რენტგენის სხივების დიფრაქციისას მიღებული სურათები ერთნაირი უნდა ყოფილიყო, 1928 წელს ეს ვარაუდი ექსპერიმენტულად დადასტურდა.



სურ. 13.1. ელექტრონების განაწილება კვანტური თეორიის შესაბამისად



სურ. 13.2



სურ. 13.3

→ 4. ყოველთვის ის გრაფიკია სწორი რომელიც ექსპერიმენტიდან მიღებული.

## 1.5

## ამოცანის ამოხსნის ნიმუში

1. განვსაზღვროთ ბორის წყალბადის ატომში ელექტრონის ორბიტის უმცირესი რადიუსი, სიჩქარე და აჩქარება მე- $n$  ორბიტაზე.

ამოხსნა

?  $r_n, v_n, a_n$

მოც.:  $n=1$

$m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$  კგ

$e=1,6 \cdot 10^{-19}$  კ

$\hbar=1,05 \cdot 10^{-34}$  ჯ.წმ

$k=9 \cdot 10^9 \frac{\text{ვ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კ}^2}$

წყალბადის ატომში ბორის მე- $n$  ორბიტის რადიუსი

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{k m_e e^2}. \quad (*)$$

ბორის დაკვანტის წესის თანახმად

$$m_e v_n r_n = n \hbar \Rightarrow v_n = \frac{n \hbar}{m_e r_n}. \quad (1)$$

$$(*) \rightarrow (1) \Rightarrow v_n = \frac{n \hbar k m_e e^2}{m_e n^2 \hbar^2} \Rightarrow v_n = \frac{k e^2}{n \hbar}. \quad (**)$$

ასეთი სიჩქარე აქვს ელექტრონს მე- $n$  ორბიტაზე.

$$\text{აჩქარება მე-}n \text{ ორბიტაზე } a = \frac{v_n^2}{r_n}. \quad (2)$$

$$(*) \wedge (**) \rightarrow (2) \Rightarrow a = \frac{k^3 m_e e^6}{n^4 \hbar^4}. \quad (***) \quad \rightarrow (*): r_1 = 5 \cdot 10^{-11} \text{ მ.}$$

2. განვსაზღვროთ ელექტრული ველის დაძაბულობა წყალბადის ატომის მე-4 ორბიტაზე.

ამოხსნა

?  $E_6$

მოც.:  $n=4$

$e=1,6 \cdot 10^{-19}$  კგ

$\hbar=1,05 \cdot 10^{-34}$  ჯ.წმ

$k=9 \cdot 10^9 \frac{\text{ვ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კ}^2}$

ელექტრული ველის დაძაბულობა მე- $n$  ორბიტაზე

$$E = \frac{k e}{r_n^2}. \quad (1)$$

$$\text{მე-}n \text{ ორბიტის რადიუსი } r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{k m_e e^2}. \quad (2)$$

$$(2) \rightarrow (1) \Rightarrow E_n = \frac{k^3 m_e^2 e^5}{n^4 \hbar^4}. \quad (*)$$

$$\rightarrow (*): E_n = 2 \cdot 10^5 \text{ ვ/მ.}$$

**სტანდარტთან კავშირი**

**არჩ.ფიზ.XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ახასიათებს პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს;
- აღწერს წყალბადის ატომის მოდელს ბორის პოსტულატების გამოყენებით;
- ახასიათებს გამოსხივების ნაწილაკოვან ბუნებას და მატერიის ტალღურ ბუნებას.

3. განვსაზღვროთ ენერგია, რომელიც გამოიყოფა  $m$  მასის ელექტრონისა და  $m$  მასის პოზიტრონის ანიჰილაციისას.

#### ამოხსნა

სისტემის საწყისი ენერგია ელექტრონისა და პოზიტრონის ენერგიათა ჯამის ტოლია: ე. ი.  $E=2mc^2$ . ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად ელექტრონისა და პოზიტრონის ანიჰილაციისას — მოსპობისას — გამოსხივდება საწყისი ენერგიის ტოლი ენერგია ელექტრომაგნიტური კვანტის სახით.

4. განვსაზღვროთ რამდენჯერ განსხვავდება წითელი ფერის ფოტონების ენერგია იისფერი ფოტონების ენერგიისაგან, თუ  $\lambda_{\text{წით.}}=700$  ნმ,  $\lambda_{\text{იისფ.}}=400$  ნმ.

#### ამოხსნა

ნებისმიერი ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძესა და სიხშირეს შორის დამოკიდებულება გამოისახება ფორმულით  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ . (1)

$$\text{ფოტონის ენერგია } E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (3)$$

(3)  $\Rightarrow$  ფოტონის ენერგია უკუპროპორციული ტალღის სიგრძის. ე. ი.

$$\frac{E_{\text{იისფ.}}}{E_{\text{წით.}}} = \frac{\lambda_{\text{იისფ.}}}{\lambda_{\text{წით.}}}. \quad (*) \quad \mapsto (*) : \quad \frac{E_{\text{იისფ.}}}{E_{\text{წით.}}} = \frac{7}{4}.$$



## 1.6

## შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

## ამოხსენით ამოცანები

1. წყალბადის ატომში ელექტრონის მეოთხე ენერგეტიკული დონიდან მეორეზე გადასვლისას გამოსხივებული ფოტონის ენერგიაა  $4,04 \cdot 10^{-19}$  ჯ. განსაზღვრეთ ამ ტალღის სიგრძე.
2. წყალბადის ატომში ელექტრონის მეორე ენერგეტიკული დონიდან მეოთხეზე გადასვლისას შთანთქმული ფოტონის ტალღის სიგრძეა  $4,9 \cdot 10^{-7}$  მ. განსაზღვრეთ ფოტონის ენერგია.
3. ბორის თეორიით წყალბადის ატომში ელექტრონის მე- $n$  ორბიტის რადიუსი პირველი ორბიტის რადიუსთან დაკავშირებულია ფორმულით  $r_n = r_1 n^2$ , (1) სადაც  $n$  ნატურალური რიცხვია. განსაზღვრეთ, როგორ შეიცვლება ელექტრონის კინეტიკური ენერგია მეორე ენერგეტიკული დონიდან პირველზე გადასვლისას.
4. წყალბადის ატომში ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ოთხჯერ შემცირდა. რომელი ორბიტიდან რომელზე გადავიდა ელექტრონი? პასუხი დაასაბუთეთ.
5. ბორის თეორიის თანამად მე- $n$  ორბიტაზე ელექტრონის სრული ენერგია განისაზღვრება ფორმულით:  $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$  ევ. როგორი მინიმალური ენერგია უნდა გადაეცეს არა აღგზნებულ წყალბადის ატომს, რომ ასეთი ატომებისაგან შედგენილი აირის გამოსხივების სპექტრი შეიცავდეს ერთ სპექტრულ ხაზს?
6. დე ბროილის დამოკიდებულებიდან  $\lambda = \frac{h}{p}$ , (1) სადაც  $\lambda$  ნაწილაკის ტალღის სიგრძეა,  $h$  პლანკის მუდმივა,  $p$  ნაწილაკის იმპულსი, მიიღეთ  $E = h\nu$  (2) დამოკიდებულება, იმ ნაწილაკებისათვის, რომელთა უძრაობის მასა ნულია. (2)-ში  $E$  არის კვანტის ენერგია,  $\nu$  — სიხშირე.

## ტესტი

1. თერმობირთვული სინთეზისას წყალბადის ორი  ${}^2_1\text{H}$  და  ${}^3_1\text{H}$  იზოტოპისგან  ${}^4_2\text{He}$  ბირთვთან ერთად წარმოიქმნა

- ა. ელექტრონი; ბ. პროტონი; გ. ნეიტრონი;  
დ.  $\alpha$ -ნაწილაკი; ე.  $\gamma$ -კვანტი.

2. ელემენტის ბირთვიდან  $\beta$  ნაწილაკების გამოტყორცნისას ელემენტის რიგითი ნომერი

- ა. არ იცვლება; ბ. ერთით მცირდება; გ. ერთით იზრდება;  
დ. ორით იზრდება; ე. ორით მცირდება.

## სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.5. მოსწავლეს შეუძლია მიკროსამყაროს კვანტური ბუნების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ახასიათებს პლანეტარული მოდელის წინააღმდეგობებს;
- აღწერს წყალბადის ატომის მოდელს ბორის პოსტულატების გამოყენებით;
- ახასიათებს გამოსხივების ნაწილაკოვან ბუნებას და მატერიის ტალღურ ბუნებას.

$$\begin{array}{|l}
 \text{? } \lambda \\
 \text{1. მოც.: } E=4,04 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ} \\
 h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ} \\
 c=3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 \text{ფოტონის ენერგია } E=h\nu. \quad (1) \quad \nu = \frac{c}{\lambda}. \quad (2) \\
 (2) \rightarrow (1) \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}. \quad (*) \\
 \rightarrow (*): \lambda = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ მ.}
 \end{array} \right.$$

2. პასუხი:  $4,04 \cdot 10^{-19}$  ჯ (იხ. წინა ამოცანა)

3. ელექტრონს ორბიტაზე აკავებს კულონური ძალა, რომელიც ელექტრონს ანიჭებს ცენტრისკენულ აჩქარებას, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად

$$k \frac{e^2}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow mv^2 = k \frac{e^2}{R}. \quad (2)$$

$$\text{ელექტრონის კინეტიკური ენერგია } E = \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow E = \frac{ke^2}{2r_1 n^2}. \quad (*)$$

(\*)  $\Rightarrow$  ელექტრონის მეორე ენერგეტიკული დონედან პირველზე გადასვლისას მისი კინეტიკური ენერგია გაიზრდება ოთხჯერ.

4. ელექტრონი გადავიდა პირველი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორეზე (იხ. წინა ამოცანა).

5. იმისათვის რომ, სპექტრი შეიცავდეს ერთ სპექტრულ ხაზს საჭიროა ელექტრონი გადავიდეს პირველი ორბიტიდან. პირველი ორბიტიდან მეორე ორბიტაზე ელექტრონის გადასვლისას აუცილებელია ატომს გადაეცეს ენერგია:

$$\Delta E = \left[ -\frac{13,6}{4} - \left( -\frac{13,6}{1} \right) \right] \text{ ევ} = 10,2 \text{ ევ}.$$

$$6. \text{ ნაწილაკის იმპულსი } p=mv, (3) \text{ ხოლო ენერგია } E=mc^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2}. \quad (4)$$

$$(4) \rightarrow (3) \Rightarrow P = \frac{Ev}{c^2}. \quad (5) \text{ ნაწილაკებისათვის რომელთა მასა ნულია } v=c. \quad (6)$$

$$(6) \rightarrow (5) \Rightarrow P = \frac{E}{c}. \quad (7) \quad (7) \rightarrow (1) \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow E = h\nu. \quad (*)$$

## ტესტის სწორი პასუხებია

|   |   |
|---|---|
| 1 | 2 |
| ბ | ბ |

## II თავი.

### ასტროფიზიკა და კოსმოლოგია

ამ თავის შექმნაში აქტიურად მონაწილეობდა გიორგი გედენიძის მოსწავლე, ყოფილი კომაროველი, ასტროფიზიკოსი, თსუ-ს ასოცირებული პროფესორი **ალექსანდრე თევზაძე**

### ამ თავში გაიხსენებთ და გააცნობით

- ☞ ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლს;
- ☞ სამყაროს გაფართოების დამადასტურებელ ექსპერიმენტულ ფაქტებს;
- ☞ დიდი აფეთქების თეორიას;
- ☞ სამყაროს განვითარების შესაძლებლობებს.



**ასტროფიზიკა** შეისწავლის მნათობთა ფიზიკურ ბუნებას, რისთვისაც უმთავრესად ფიზიკურ მეთოდებს იყენებს

**კოსმოლოგია** — სამყაროს, როგორც მთლიანის შესწავლა.



## 2.1

## სამყარო

თანამედროვე ხელსაწყოებითა და მეთოდებით ხილვადი გალაქტიკების ერთობლიობას **მეტაგალაქტიკა** ეწოდება.

გალაქტიკები გაფანტულია სივრცეში. მათი საერთო რაოდენობა რამდენიმე მილიარდია. ჩვენი გალაქტიკის ერთ-ერთ უახლოეს — **ანდრომედას** — გალაქტიკამდე მანძილი ორ მილიონ სინათლის წელიწადს აღწევს. უშორესი გალაქტიკა კი, რომელსაც ამჟამად სწვდება ტელესკოპებით შეიარაღებული ადამიანის თვალი, რამდენიმე მილიარდი სინათლის წელიწადის მანძილზეა.

**სამყარო** ერთმანეთისგან უზარმაზარი მანძილით (მილიონობით სინათლის წელიწადი) დაშორებული უამრავი ვარსკვლავისაგან შექმნილი გალაქტიკებისაგან შედგება.

**სინათლის წელიწადი** — მანძილი, რომელსაც სინათლე გადის ვაკუუმში ერთი წლის განმავლობაში.



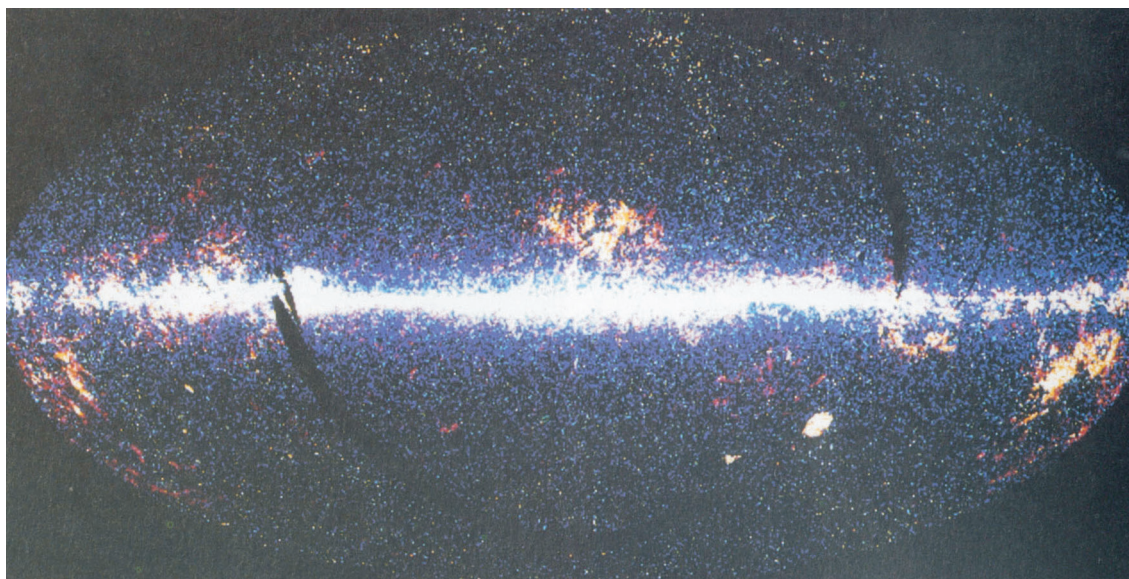
### 1. გამოსახეთ სინათლის წელიწადი კმ-ითა და მ-ით.

ჩვენ ვცხოვრობთ გალაქტიკაში, რომელიც ირმის ნახტომის ანუ რძის გზის სახელწოდებითაა ცნობილი.

ჩრდილო ნახევარსფეროში იგი განსაკუთრებით კარგად ჩანს ივლის-სექტემბერში სამხრეთის მიმართულებით.

უმთვარო ღამით მოწმენდილ ცას **დააკვირდით** და აუცილებლად შენიშნავთ მკრთალად მბრწყინავ ზოლს, რომელიც ცამრგვალზე გადაჭიმულია ჰორიზონტიდან ჰორიზონტამდე. 18.1 სურათზე ღამის ცის სრული რუკაა გამოსახული. იგი შედგენილია ასტრონომიული თანამგზავრის „ირასის“ მონაცემებით. სურათის შუაში, მთელ სიგრძეზე, თეთრი უბანი — ჩვენი გალაქტიკაა — ირმის ნახტომი.

**ირმის ნახტომი** — ღამით ცის თაღზე გადაჭიმული მკრთალად მოელვარე ზოლი. შედგება მილიარდობით ვარსკვლავისაგან.



სურ. 18.1

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა.

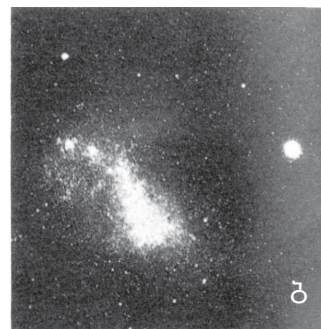
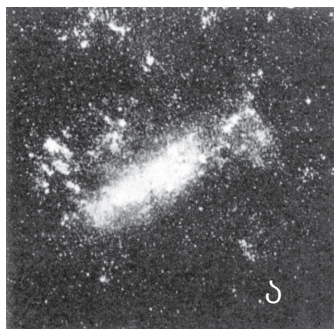
შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს და ახასიათებს ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლის ეტაპებს;

→ 1.  $l=ct$ . (\*)

→ (\*) :  $1\text{ ს.წ.} = 3 \cdot 10^5 \text{ კმ/წმ} \cdot 365 \text{ დღე-ღამე} = 1095 \cdot 10^5 \text{ კმ/წმ} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ წმ} =$   
 $= 9,46 \cdot 10^{12} \text{ კმ} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ მ.}$

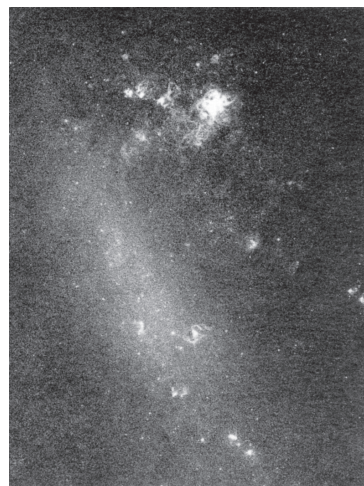
ზოგიერთ გალაქტიკას თანამგზავრი გალაქტიკები ახლავს. მათ შორისაა ჩვენი გალაქტიკაც. მას დიდი და მცირე, მაგელანის ღრუბლებად წოდებული, ორი თანამგზავრი გალაქტიკა ახლავს. 18.1 სურათზე, ქვევით, ორი თეთრი ნალენთი ჩვენთან უახლოესი გალაქტიკები — მაგელანის ღრუბლებია. ისინი ცის სამხრეთ ნახევარსფეროდან ჩანს. 19.1 ა და ბ სურათებზე მაგელანის დიდი და პატარა ღრუბლებია გამოსახული. 19.2 სურათზე გამოსახული მაგელანის დიდი ღრუბელი ასტრონომების მიერ მთვარის ზედაპირიდანაა გადაღებული.



სურ. 19.1

გალაქტიკებს შორის სივრცეში ძალიან მცირე სიმკვრივის ნივთიერებაა, მაგრამ მათი საერთო მასა შეიძლება გალაქტიკების საერთო მასას აღემატებოდეს.

თითოეულ გალაქტიკაში უამრავი ვარსკვლავია. თანამედროვე გაზომვისა და გამოთვლების მიხედვით 100-200 მილიარდი. ვარსკვლავთა ნაწილი ვარსკვლავთა გროვებს ქმნის. ეს გროვები ზოგჯერ რამდენიმე ათასი ვარსკვლავისაგან შედგება. ზოგიერთ გროვას შეუიარაღებელი თვალითაც ვხედავთ.

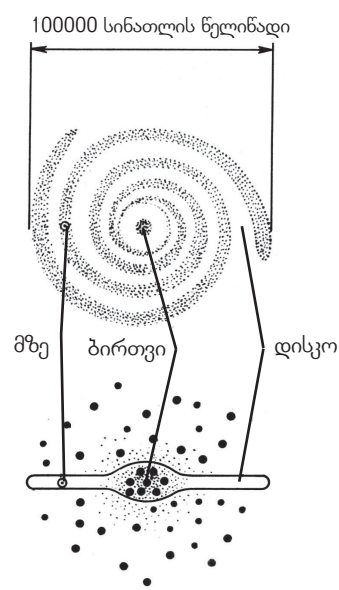


სურ. 19.2

**ვარსკვლავი** — გავარვარებული ციური სხეულია, რომელსაც სფეროს ფორმა აქვს და ანათებს ცენტრში მიმდინარე თერმობირთვული რეაქციის გამო.

ჩვენს გალაქტიკაში დაახლოებით 100 მილიარდი ვარსკვლავია. ვარსკვლავების განთავსების სივრცე ორმხრივ ამოზნექილ ლინზას წაგავს. ვარსკვლავთა 90%-ზე მეტი ამ ლინზის ერთ-ერთი სიბრტყის, ე. წ. გალაქტიკური ცენტრის სიახლოვეს განლაგებულია თხელ დისკოში, რომლის დიამეტრი 100 000 სინათლის წელიწადია. სიბრტყის მართობული მიმართულებით ვარსკვლავთა რაოდენობა შედარებით მცირეა. ლინზის ცენტრის მახლობლად კი ძალზე ბევრი. მზეც ამ დისკოშია და გალაქტიკის ცენტრიდან 30 000 სინათლის წელიწადითაა დაშორებული. 19.3 სურათზე სქემატურადაა გამოსახული ირმის ნახტომი და მზის მდებარეობა ამ ოჯახში.

გალაქტიკის სტრუქტურის ჩამოყალიბებასა და განვითარებაში დიდ როლს ასრულებს გალაქტიკის მაგნიტური ველი. მაგნიტური ველის წირები გალაქტიკური სიბრტყის პარალელურია და მის სიბრტყეში მრუდდება ე. წ. სპირალების გასწვრივ. სპირალი გალაქტიკისათვის დამახასიათებელი სტრუქტურული ელემენტებია. ძირითადად ეს არის ვარსკვლავების სივრცული შემკვრივებები, რომლებიც თითქოს რამდენიმე ხვეული ტოტის სახით გალაქტიკის ცენტრიდან პერიფერიი-



სურ. 19.3



საკენ მიემართებიან (სურ. 19.3). ბოლო მონაცემებით, ასეთივე სტრუქტურა აქვს გალაქტიკათა 60%-ს. ერთ-ერთი, ჩვენთან უახლოესი, ანდრომედას ნისლეულია (სურ. 20.1). ნისლეულიდან ჩვენამდე მანძილი 2,3 მილიონი სინათლის წელიწადია.

გალაქტიკათა 30-35% უფრო ერთგვაროვანია და სფერული ან ელიფსური ფორმისაა.

გალაქტიკების 10-5% მოუწესრიგებელი სტრუქტურისაა. ასეთებს მიეკუთვნება მაგელანის დიდი და პატარა ღრუბლები (სურ. 19.1).

გალაქტიკა, როგორც ერთიანი სისტემა, ერთი საერთო ღერძის გარშემო ბრუნავს. ბრუნვის პერიოდი ღერძიდან სხვადასხვა მანძილზე სხვადასხვაა. მზე და მისი მახლობელი ვარსკვლავები გალაქტიკის ცენტრის მიმართ მოძრაობენ 250 კმ/სთ სიჩქარით და ერთ გარეშემოვლას დაახლოებით 230 მილიონ წელიწადს ანდომებს. ვარაუდობენ, რომ გალაქტიკები ერთმანეთს შორდებიან, ე. ი. სამყარო ფართოვდება. თუ ეს მართლაც ასეა, მაშინ ძალიან დიდი ხნის წინათ, ალბათ, ყველა გალაქტიკა, მცირე მოცულობაში წარმოუდგენლად დიდი სიმკვრივისა და ტემპერატურის არეში



სურ. 20.1

უნდა ყოფილიყო. ვარაუდობენ, რომ გაფართოება დაახლოებით 13.7 მილიარდი წლის წინ დიდი აფეთქების შედეგად დაიწყო და დღესაც გრძელდება. რა მოხდება და როგორ განვითარდება მოვლენები? დასაბუთებული პასუხი ამ შეკითხვაზე მომავალმა თაობამ (ეგებ თქვენმა) უნდა გასცეს.



2. ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ განსაზღვრეთ, ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავებიდან რამდენი „გვეკუთნის“ თითოეულს? ჩათვალეთ დედამიწაზე დაახლოებით  $6,5 \cdot 10^9$  ადამიანი ცოცხლობს.

3. განსაზღვრეთ რამდენი ბრუნი გააკეთა მზის სისტემამ გალაქტიკის ცენტრის მიმართ, თუ მისი ასაკი დაახლოებით 5 მილიარდი წელიწადია.

### საშინაო ცდა

შეუიარაღებელი თვალით ღამით დააკვირდით მოწმენდილ ცას.

ა. ვარსკვლავები ჩვენგან ერთნაირი მანძილითაა დაშორებული?

ბ. ყველა ვარსკვლავი ერთნაირი სიკაშკაშისაა?

გ. ვარსკვლავები ერთნაირი სიხშირითაა განაწილებული ცის სხვადასხვა მონაკვეთზე? დაახლოებით რამდენ ვარსკვლავს ხედავთ?

2. ვარსკვლავთა რაოდენობა გალაქტიკაში » 100-200 მილიარდია, ამიტომ თითოეულს გვეყუთვნის » 15-30 ვარსკვლავი.

3. მზის სისტემა გალაქტიკის ცენტრის მიმართ ერთ შემობრუნებას » 230 მილიონ წელიწადს ანდომებს, ამიტომ ბრუნთა რაოდენობა

$$n = \frac{5 \cdot 10^9}{230 \cdot 10^6} \approx 22.$$

### სტანდარტთან კავშირი

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

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

კვლ. XII.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა. შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აწარმოებს დაკვირვებას და/ან გაზომვებს, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;

კვლ. 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;

## ვარსკვლავების სიცოცხლის ციკლი

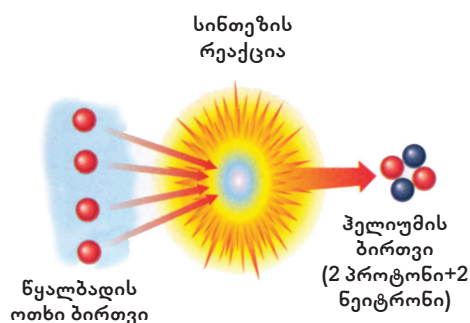


1. რომელი ვარსკვლავია დედამიწასთან ყველაზე ახლოს?
2. ივარაუდეთ, ღამით მოწმენდილ ცაზე შეუიარაღებელი თვალით რამდენი ვარსკვლავის დანახვას შეძლებთ?

ღამით მოწმენდილ ცაზე შეუიარაღებელი თვალით დაახლოებით 2500 ვარსკვლავის დანახვა შეიძლება. ერთი შეხედვით, მათი განაწილება მოკლებულია ყოველგვარ სიმეტრიასა და წესრიგს. მაგრამ, თუ ყურადღებით დავაკვირდებით, დავინახავთ, რომ ვარსკვლავები ცის სხვადასხვა მონაკვეთზე ქმნიან დაჯგუფებებს — გარკვეულ კონფიგურაციებს. ამასთან, ეს კონფიგურაციები ღამიდან-ღამემდე, წლიდან-წლამდე და საუკუნიდან-საუკუნემდე თითქმის უცვლელია. მათ დღესაც უძველეს დროში შერქმეული ცხოველებისა და მითოლოგიური პერსონაჟების სახელები ჰქვიათ.

არსებობენ სხვადასხვა მასის, ზომის და ფერის ვარსკვლავები. მზე ჩვენი სამყაროს ერთ-ერთი ტიპური ვარსკვლავია. მზეზე უფრო მასიური ვარსკვლავები მოლურჯო ფერისაა, ხოლო ნაკლებად მასიური — მოწითალო.

როგორც სხვა ვარსკვლავები, მზეც, ძირითადად, წყალბადისაგან შედგება. ეს არის სანვავი აირი. ტემპერატურა და წნევა მზის ბირთვში იმდენად მაღალია, რომ წყალბადის ბირთვების შეერთებით წარმოიქმნება ჰელიუმის ბირთვი და გამოსხივდება ენერგია (სურ. 21.1). ამ პროცესის — თერმობირთვული რეაქციის — დროს 1 წმ-ში ოთხი მილიონი ტონა წყალბადი გადამუშავდება. შედეგად, გამოიყოფა ენერგია, რომელიც უზრუნველყოფს მზის ნათებას. მზის წიაღში წარმოქმნილი ენერგია ამოდის ზედაპირზე და გამოსხივდება სივრცეში. წამში ყველა მიმართულებით გამოსხივებული ენერგია  $\approx 4,10^{26}$  ჯ-ია.



სურ. 21.1



3. რა არის საჭირო ვარსკვლავის ნათებისათვის?

ყველა ვარსკვლავს გააჩნია თავისი სიცოცხლის ციკლი, რომლის განმავლობაშიც იგი გადის სხვადასხვა ეტაპს. ვარსკვლავის ევოლუცია, ჩვეულებრივ, ხანგრძლივი პროცესია, რომლის პირდაპირი დაკვირვება ჩვენ არ შეგვიძლია დაკვირვების დროის შუალედის სიმცირის გამო (ასტრონომიული თვალსაზრისით). ნაცვლად ერთი ვარსკვლავის ევოლუციის შესწავლისა, ჩვენ ვაყალიბებთ მნათობების ევოლუციის თეორიას და შემდგომ ვცდილობთ სამყაროში აღმოვაჩინოთ ობიექტი, რომელიც არის ევოლუციის რომელიმე კონკრეტულ ეტაპზე.

**ევოლუცია** (ლათ.) — თანდათანობითი, უწყვეტი ცვლილების პროცესი, რომელსაც უნდა მოჰყვეს თვისებრივი ცვლილება.

**სტანდარტთან კავშირი**

**არჩ.ფიზ.XII.6.** მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს და ახასიათებს ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლის ეტაპებს;

1. დედამიწის უახლოესი ვარსკვლავი მზეა.

2. პასუხი სახემძღვანელოშია გაცემული

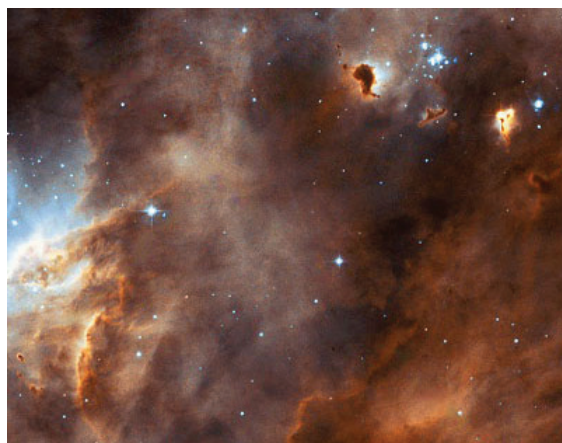
3. ვარსკვლავის ნათებისათვის საჭიროა თერმობირთვული სანეავი, მაღალი — მილიონობით გრადუსი ტემპერატურა და წნევა.

როგორ იბადება ვარსკვლავი?

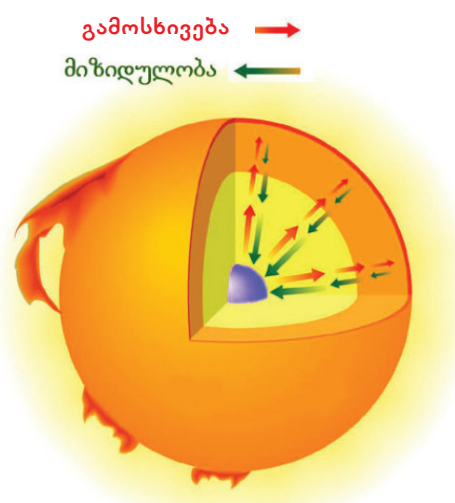
ვარსკვლავები იბადებიან სამყაროში არსებული გიგანტური მოლეკულური ღრუბლების შეკუმშვის, ე.წ. გრავიტაციული კოლაფსის შედეგად — ვარსკვლავის ბირთვი კატასტროფულად სწრაფად იკუმშება. ძლიერი შეკუმშვის შედეგად, ტემპერატურა ცენტრში 15,7 მილიონ გრადუსს აღწევს და იწყება თერმობირთვული რეაქციები — იბადება მნათობი.

22.1 სურათზე გამოსახულია მაგელანის დიდ ნისლეულში გიგანტური მოლეკულური ღრუბლები, ვარსკვლავთშორის მტვერი და ვარსკვლავების ჩამოყალიბების ორი უბანი, სადაც გრავიტაციული შეკუმშვის შედეგად უკვე ანათებენ ვარსკვლავები.

ვარსკვლავის შიდა ფენები განუწყვეტლივ განიცდიან ზედა ფენების დანოლას სიმძიმის ძალის მოქმედების გამო. ამიტომ ვარსკვლავი მუდმივად ცდილობს შეიკუმშოს. მაგრამ იგი აღარ იკუმშება, რადგან თერმობირთვული რეაქციის დაწყებასთან ერთად იწყება უზარმაზარი ენერგიის გამოსხივება, რომლის მოქმედება ანონასწორებს გრავიტაციული შეკუმშვის ძალას. ვარსკვლავის ასეთი მდგომარეობა ცნობილია ვარსკვლავური წონასწორობის სახელით (სურ. 22.2).



სურ. 22.1. ვარსკვლავთა წარმოშობის არეები მაგელანის დიდ ნისლეულში.



სურ. 22.2. ვარსკვლავური წონასწორობის მოდელი



4. როგორ ფიქრობთ, რამდენ ხანს გაგრძელდება ვარსკვლავის ნათება?

თავდაპირველად ახლადდაბადებული ვარსკვლავების უმრავლესობა ძალიან კაშკაშაა და ლურჯად ან თეთრად ანათებს. ეს მდგომარეობა მილიონობით წელიწადს გრძელდება. მაგალითად, მზის თერმობირთვული სანვავი — წყალბადი — დღეისათვის შეადგენს მზის საერთო მასის 73%, ხოლო ჰელიუმი — 25%. დროთა განმავლობაში ეს პროპორცია შეიცვლება.



5. თქვენი აზრით, როგორ შეიცვლება ეს პროპორცია? პასუხი დაასაბუთეთ.

მზე დაასრულებს არსებობას, როდესაც მასში გამოილევა სანვავი. მზის მასაა  $M_{\odot} \approx 2 \times 10^{30}$  კგ. შეფასებუ-

☉ — მზის  
სიმბოლური აღნიშვნაა.

→ 4. ვარსკლავის ნათება გაგრძელდება მანამ, სანამ მის ცენტრში მიმდინარეობს თერმობირთვული რეაქცია.

→ 5. წყალბადის რაოდენობა შემცირდება. ჰელიუმის გაიზრდება.

ლია, რომ ამ მასის ვარსკვლავები ანათებენ  $T_{\odot} \approx 10^4$  წლის განმავლობაში.

რაც უფრო მასიურია ვარსკვლავი, მით მეტია მის ცენტრში წნევა და ტემპერატურა. მაღალ ტემპერატურაზე თერმობირთვული რეაქციების მიმდინარეობის ტემპი მატულობს. შესაბამისად, ვარსკვლავში უფრო სწრაფად დამთავრდება თერმობირთვული საწვავი და იგი გაמודის წონასწორობიდან. ემპირიულად შეფასებულია, რომ ვარსკვლავის ნათობა იზრდება მასის ზრდისას შემდეგი კანონით:

$$L = L_{\odot} (M/M_{\odot})^{3.5}$$

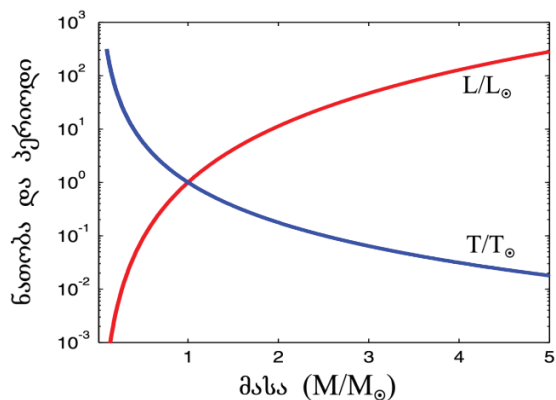
მაშინ, როცა მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა კლებულობს როგორც:

$$T = T_{\odot} (M/M_{\odot})^{-2.5},$$

ფორმულებში  $M_{\odot}$ ,  $L_{\odot}$  და  $T_{\odot}$  შესაბამისად მზის მასა, ნათობა და სიცოცხლის ხანგრძლივობაა, ხოლო  $M$ ,  $L$  და  $T$  სხვა ვარსკვლავის.

**ვარსკვლავის ნათობა არის სრული ენერგია, რომელსაც ვარსკვლავი 1 წამში ყველა მიმართულებით ასხივებს.**

23.1 სურათზე გამოსახულია სხვადასხვა მასის ვარსკვლავების ნათობისა და სიცოცხლის ხანგრძლივობის მრუდები.



სურ. 23.1. ვარსკვლავების ნათობის ( $L$ ) და სიცოცხლის ხანგრძლივობის ( $T$ ) მასაზე დამოკიდებულება.



6. რო კასიოპიას მასა 40-ჯერ აღემატება მზის მასას. განსაზღვრეთ ვარსკვლავის სიცოცხლის ხანგრძლივობა.

7. განსაზღვრეთ ვარსკვლავის სიცოცხლის ხანგრძლივობა, თუ მისი ნათობა 100-ჯერ აღემატება მზის ნათობას.

→ 6.  $M=40M_{\odot}$ .

$$T=T_{\odot}\left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{-2,5} = 10^{10}(40)^{-2,5}=9,88\cdot 10^5 \text{ წელი}=10^6 \text{ წელი.}$$

7.  $L=40L_{\odot}$ .

$$L=L_{\odot}\left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{3,5} \Rightarrow \frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{3,5} \Rightarrow \frac{M}{M_{\odot}} = \left(\frac{L}{L_{\odot}}\right)^{\frac{1}{3,5}} = 100^{0,28}=3,73.$$

$$T=T_{\odot}\left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{-2,5} = 10^{10}(3,73)^{-2,5}=3,72\cdot 10^8 \text{ წელი}=372 \text{ მილიონი წელი.}$$

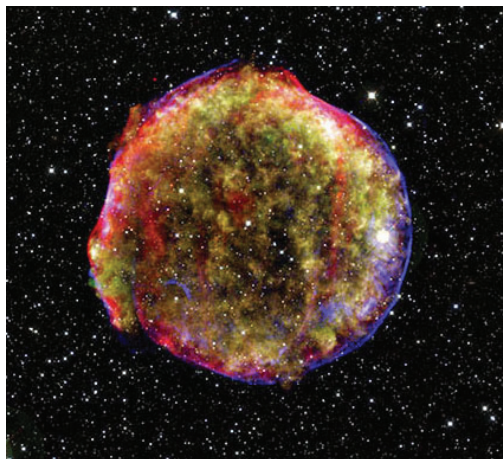
## 2.3

## ზეახალი ვარსკვლავი. კომპაქტური ობიექტები

როგორ ფქრობთ, რა მოხდება თუ ვარსკვლავს თერმობირთვული სანვავი გამოელევა? იგი უბრალოდ შეწყვეტს არსებობას?

თერმობირთვული სანვავის გამოლევის შემდეგ ვარსკვლავი კარგავს შეკუმშვის შემაკავებელ გამოსხივებას – ირლვევა მილიარდობით წლის განმავლობაში არსებული წონასწორობა. ხანდაზმული ვარსკვლავი იწყებს სწრაფ შეკუმშვას, შედეგად, მის ცენტრში კატასტროფულად იზრდება ტემპერატურა. გარკვეული ნიშნულის ზემოთ იწყება ჰელიუმის და სხვა მძიმე ქიმიური ელემენტების ბირთვული სინთეზი — სწრაფი თერმობირთვული პროცესი. ენერგიის სწრაფი გამოყოფა იწვევს ვარსკვლავის აფეთქებას. ამ აფეთქების გაელვებას **ზეახალი ვარსკვლავი** შეარქვეს. ვარსკვლავი ილუპება უზარმაზარი აფეთქებით, რომელიც ფანტავს გარე შრეებს და კუმშავს ცენტრალურ ნაწილს. ვარსკვლავის გარე ფენები იფანტებიან ნისლეულში, ხოლო ცენტრალური ნაწილი რჩება კომპაქტური ობიექტის სახით.

დანიელმა ასტრონომმა ტიხო ბრაგემ 1572 წელს აღმოაჩინა ზეახალი ვარსკვლავი. მასიური ვარსკვლავის აფეთქების შედეგად წარმოიქმნა სფერული დარტყმითი ტალღა, რომელიც ფართოვდება უკანასკნელი 5 საუკუნის განმავლობაში. დღეისათვის ნისლეულის დიამეტრია 550 ს.წ. 24.1 სურათზე გამოსახულია, თუ როგორ გამოიყურება ზეახალი ვარსკვლავი დღეს.



სურ. 24.1. SN1572 ზეახალი ვარსკვლავის მიერ წარმოქმნილი სფერული ნისლეული დღეს ასე გამოიყურება.

აფეთქების დროს ვარსკვლავის ბირთვისაგან წარმოიქმნება ანომალურად მკვრივი ციური სხეულები, რომლებსაც კომპაქტური ობიექტები ეწოდება.

დღეისათვის ცნობილია სამი ტიპის კომპაქტური ობიექტი: თეთრი ჯუჯა, ნეიტრონული ვარსკვლავი და შავი ხვრელი.

თეთრი ჯუჯა ყველაზე ნაკლებად მკვრივი კომპაქტური ობიექტია. მისი მასა არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულ მნიშვნელობას ( $M < 1,4M_{\odot}$ ). ობიექტი ძირითადად შედგება ნახშირბადისაგან, რის გამოც მას ხშირად ცის აღმასსაც უწოდებენ.

ნეიტრონული ვარსკვლავი უფრო მასიური ობიექტია ( $1,4M_{\odot} < M < 3M_{\odot}$ ). ვარსკვლავი შედგება ნეიტრონებისაგან, რის გამოც მისი სიმკვრივე ატომის ბირთვის სიმკვრივის შესადარია. თუკი ნეიტრონული ვარსკვლავის მასაა 2 მზის მასა, მისი რადიუსი მზის რადიუსზე 60 000-ჯერ ნაკლებია.

შავი ხვრელები წარმოიქმნება ყველაზე მასიური ვარსკვლავების ევოლუციის ბოლოს. მათი მასა და სიმკვრივე იმდენად დიდია, რომ გრავიტაციული მიზიდულობიდან თავის დაღწევა არ შეუძლია სინათლესაც კი.

არსებობს **ჰიპოთეზა**, რომ დაახლოებით  $3M_{\odot}$  მასის კომპაქტური ნარჩენებისაგან შესაძლებელია წარმოიქმნას კვარკებისაგან შედგენილი ე.წ. კვარკული ვარსკვლავი. კვარკული ვარსკვლავი ჯერჯერობით აღმოჩენილი არ არის.

**სტანდარტთან კავშირი**

**არჩ.ფიზ.XII.6.** მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს და ახასიათებს ვარსკვლავთა სიცოცხლის ციკლის ეტაპებს;

კომპაქტურ ობიექტებში თერმობირთვული რეაქციები აღარ მიმდინარეობს. შესაბამისად, ისინი ანათებენ ძალიან სუსტად ნარჩენი სითბოს ხარჯზე (თეთრი ჯუჯები და ნეიტრონული ვარსკვლავები) ან აბსოლუტურად ქვრებიან (შავი ხვრელები).

ჩინელი ასტრონომების ჩანაწერებში აღწერილია ბოლო ათასწლეულის ყველაზე კაშკაშა ზეახალი ვარსკვლავი, რომელიც აფეთქდა 1054 წელს. დღეს ამ ადგილას დაიკვირვება კიბორჩხალას ნისლეული – ნივთიერება, რომელიც გაიფანტა გიგანტური ვარსკვლავის აფეთქებისას (სურ. 25.1). ნისლეულის ცენტრალურ უბანში აღმოჩენილია პულსარი – სწრაფად მბრუნავი ნეიტრონული ვარსკვლავი, რომელიც ამ ზეახალი აფეთქების კომპაქტური ნარჩენია.



სურ. 25.1. კიბორჩხალას ნისლეული, რომლის ცენტრში აღმოჩენილია ნეიტრონული ვარსკვლავი.

ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქებისას წარმოქმნილმა ნისლეულმა, ვარსკვლავთშორისმა მტვერმა და მოლეკულურმა ღრუბლებმა შეიძლება დასაბამი მისცენ ახალი ვარსკვლავის წარმოშობას. ამ შემთხვევაში ნივთიერება კვლავ იკუმშება და იზადება ახალი ვარსკვლავი. ასეთი ქრონოლოგიით ვარსკვლავებს ვყოფთ თაობებად. მაგალითად, მზე არის მესამე თაობის ვარსკვლავი. ეს ნიშნავს, რომ მზემდე იარსება ორმა ვარსკვლავმა, რომლებმაც ამოწურეს საწვავი და აფეთქდნენ. სავარაუდოდ, ისინი იყვნენ მზეზე გაცილებით უფრო მასიური ვარსკვლავები, რომელთა სიცოცხლის ხანგრძლივობაც არ აღემატებოდა მილიარდ წელიწადს.



1. რომელი ტიპის ვარსკვლავებია გავრცელებული ყველაზე უფრო დიდი რაოდენობით სამყაროში? დაასაბუთეთ, რატომ ფიქრობთ ასე?.

მზის ცენტრში მიმდინარე თერმობირთვული რეაქციების პირდაპირი დაკვირვება შეუძლებელია. მაგრამ თერმობირთვული რეაქციების სიჩქარის დადგენა შესაძლებელია ამ რეაქციების დროს წარმოქმნილი ნეიტრინოების მეშვეობით. ესაა ნაწილაკები, რომლებიც თითქმის დაუბრკოლებლად გამოდიან მზის ზედა ფენებში და აღწევენ დედამიწამდე. ნეიტრინოს დეტექტირება ხდება სპეციალურ ობსერვატორიებში, რომლებიც ხშირად ღრმად მიწის ქვეშაა განლაგებული. 25.2 სურათზე გამოსახულია ერთ-ერთი ასეთი ობსერვატორიის სურათი, რომელიც სამხრეთ პოლუსთან არის განლაგებული.

ნეიტრინო — უმუხტო და უმასო ელემენტარული ნაწილაკი, რომელიც სუსტად მოქმედებს ნივთიერებაზე.



სურ. 25.2. ნეიტრინული ობსერვატორია სამხრეთ პოლუსზე: ყინულის კუბი. ნეიტრინოს დეტექტორი ჩაშვებულია 2.5 კმ სიღრმის ყინულის შახტაში.

→ 1. ყველაზე უფრო გავრცელებულია ჯუჯა ვარსკვლავები. თუკი დავუშვებთ, რომ სხვადასხვა ზომის ვარსკვლავები ჩნდებიან დაახლოებით ერთიდაიგივე ტემპით, მაშინ გასაგებია პასუხიც. მასიური ვარსკვლავები კი არსებობენ ათობით და ასობით უფრო ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. ჯუჯა ვარსკვლავების საერთო რაოდენობა იზრდება უბრალო დაგროვების პრინციპით.

## 2.4

## ნარმოდგენები სამყაროს შესახებ

ჯერ კიდევ ჩვენს ნელთალრიცხვამდე 340 წელს ბერძენმა ფილოსოფოსმა არისტოტელემ გამოთქვა მოსაზრება, რომ დედამიწა მრგვალი სფეროა. ამ მოსაზრების დასამტკიცებლად მან ორი არგუმენტი წარმოადგინა. არისტოტელე მიხვდა, რომ მთვარის დაბნელება გამოწვეული იყო დედამიწის გავლით მზესა და მთვარეს შორის. მან დააფიქსირა, რომ დედამიწის ჩრდილი მთვარეზე ყოველთვის მრგვალი იყო. ეს მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ დედამიწა სფერულია. დედამიწა ბრტყელი დისკი რომ იყოს, მაშინ მისი ჩრდილი წაგრძელებული და ელიფსის ფორმის იქნებოდა ერთი გამონაკლისის გარდა. თუ დაბნელება მაშინ მოხდებოდა, როცა მზე ზუსტად დისკის ცენტრის ზევით იყო, ჩრდილი მაშინაც მრგვალი იქნებოდა.

გარდა ამისა, ბერძენმა მეზღვაურებმა შეამჩნიეს, რომ პოლარული ვარსკვლავი სამხრეთში უფრო დაბლა ჩანს, ვიდრე ჩრდილოეთში. ასე იმიტომ ხდება, რომ პოლარული ვარსკვლავი ჩრდილოეთ პოლუსის თავზე მდებარეობს. შესაბამისად, ჩრდილოეთში მყოფი დამკვირვებლისთვის იგი ზუსტად დამკვირვებლის თავზე ჩანს, ეკვატორზე მყოფისთვის კი პორიზონტზე.

ბერძენებმა ისიც შეამჩნიეს, რომ ნაპირისკენ მომავალი გემის ჯერ აფრა გამოჩნდებოდა ხოლმე, შემდეგ კი კორპუსი. ეს ფაქტიც იმას მიუთითებს, რომ დედამიწა მრგვალია.

არისტოტელე ფიქრობდა, რომ დედამიწა იყო სამყაროს უძრავი ცენტრი, რომლის გარშემო წრიულად მოძრაობდნენ მზე, მთვარე, პლანეტები და ვარსკვლავები.

ჩვენს ნელთალრიცხვამდე, მეორე საუკუნეში არისტოტელეს მოსაზრებაზე დაყრდნობით პტოლემემ დაამუშავა კოსმოლოგიური მოდელი, რომლის მიხედვითაც დედამიწა იმყოფება სამყაროს ცენტრში და ის გარემოცულია რვა სფეროთი. ესენია: მთვარის, მერკურის, ვენერას, მზის, მარსის, იუპიტერის, სატურნის და ფიქსირებული ვარსკვლავების სფეროები. იგი ფიქრობდა, რომ რადგან ვარსკვლავები ფიქსირებულია, სამყაროს აქვს ბუნებრივი საზღვარი.

უფრო მარტივი მოდელი 1514 წელს შექმნა პოლონელმა მღვდელმა კოპერნიკმა. ის ფიქრობდა, რომ სამყაროს ცენტრში მოთავსებული იყო უძრავი მზე და მის გარშემო წრიულ ორბიტებზე მოძრაობდნენ დედამიწა და პლანეტები.

**ერთი საუკუნე** დასჭირდა ამ იდეის აღიარებას. გერმანელმა ასტრონომმა იოჰანეს კეპლერმა და იტალიელმა გალილეო გალილემ მხარი დაუჭირეს კოპერნიკის მოდელს. მიუხედავად იმისა, რომ ამ მოდელით განსაზღვრული ორბიტები არ ემთხვეოდა დაკვირვებით მიღებულს.

ტელესკოპის გამოგონებამ სერიოზული გარდატეხა შეიტანა სამყაროს შესახებ წარმოდგენებში. 1609 წელს გალილეო გალილემ ცაზე ტელესკოპით დაკვირვების შედეგად აღმოაჩინა, რომ მაშინ უცნობი პლანეტის გარშემო ბრუნავდა რამდენიმე თანამგზავრი. მაშასადამე, ყველაფერი დედამიწის გარშემო არ ბრუნავდა. იოჰანეს კეპლერმა კი იმით გააუმჯობესა კოპერნიკის თეორია, რომ ჩათვალა, პლანეტები წრიულ ორბიტებზე კი არა, ელიფსურზე მოძრაობენ. ეს მოსაზრება დაკვირვების შედეგებს ეთანადებოდა, რაც მას უკვირდა.

კოპერნიკის მოდელმა საბოლოოდ უარყო პტოლემეს იდეა ციური სფეროებისა და სამყაროს ბუნებრივი საზღვრის შესახებ.

1687 წელს ბევრ საკითხს მოეფინა ნათელი. ნიუტონმა შექმნა თეორია იმის შესახებ, როგორ მოძრაობენ სხეულები სივრცესა და დროში. მან შექმნა

**სტანდარტთან კავშირი**

**არჩ.ფიზ.XII.6. მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს და აღწერს სამყაროს გაფართოების დამადასტურებელ ექსპერიმენტალურ ფაქტებს და იძლევა მათ ინტერპრეტაციას (წითელი წანაცვლება, რელიქტური გამოსხივება);
- აღწერს სამყაროს ევოლუციის შესაძლო სცენარებს.

აგრეთვე უმაღლესი მათემატიკის აპარატი ამ მოძრაობის ანალიზისთვის. ნიუტონმა ჩამოაყალიბა უნივერსალური კანონი, რომლის მიხედვით სამყაროში ყოველი სხეული თავისკენ იზიდავს ყველა სხვა სხეულს და მით უფრო ძლიერად, რაც უფრო დიდი მასა აქვს ამ სხეულს და რაც უფრო მცირე მანძილია მათ შორის.

ნიუტონის თეორიის შესაბამისად, ვარსკვლავებმა უნდა მიიზიდონ ერთმანეთი, ამიტომ ისინი ვერ იქნებიან უძრავნი. ამის შემდეგ ნიუტონი იმის გარკვევას ცდილობდა ვარსკვლავების სასრული რაოდენობა არსებობდა თუ უსასრულო.

მე-20 საუკუნემდე არავის მოსვლია თავში აზრად, რომ სამყარო შეიძლება ფართოვდებოდეს ან იკუმშებოდეს.

ადამიანებს ყოველთვის სჯეროდათ, რომ სამყარო მუდამ უცვლელ მდგომარეობაში არსებობს. ზუსტად ისეთი, როგორც წარსულ დროში შეიქმნა.

ვინც ნიუტონის გრავიტაციის თეორიას იცნობდა და იზიარებდა, ხვდებოდა, რომ სამყარო არ შეიძლება სტატიკური ყოფილიყო. მიუხედავად ამისა, ვერ წარმოედგინათ, რომ სამყარო შეიძლება ფართოვდებოდეს.

მიუხედავად გარკვეული რევოლუციური იდეებისა, იმ დროს როცა ადამიანთა უმეტესობას სჯეროდა სტატიკური და უცვლელი სამყაროსი, კითხვას — ჰქონდა თუ არა სამყაროს დასაწყისი და, შესაბამისად, პასუხსაც თეოლოგიური ხასიათი ჰქონდა.

ვარსკვლავები ისე შორს არიან ჩვენგან, რომ წერტილოვან სინათლის წყაროდ გვეჩვენებიან.

**თეოლოგია** — მოძღვრება ღვთისა და რელიგიური დოგმატების შესახებ. ღვთისმეტყველება.



1. ივარაუდეთ, როგორია ამ ვარსკვლავთა ზომა და ფორმა? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

როგორ ვილაპარაკოთ სხვადასხვა ტიპის ვარსკვლავებზე, თუ მათ ზომით და ფორმით ერთმანეთისგან ვერ ვარჩევთ?

მათი სინათლის ფერით. ტელესკოპის მეშვეობით შესაძლებელია ცალკეული ვარსკვლავის ან გალაქტიკის სპექტრის გამოკვლევა, სინათლის სპექტრით ვიმსჯელოთ ვარსკვლავების ტემპერატურაზე.



2. გაიხსენეთ, რა არის დოპლერის ეფექტი? წითელი ნანაცვლება?

1924 წელს ამერიკელმა ასტრონომმა ედვინ ჰაბლმა (1889-1953) აჩვენა, რომ ჩვენი გალაქტიკის გარდა სხვა ბევრი გალაქტიკა არსებობს და გაზომა მანძილი ამ გალაქტიკებამდე. ეს წელი შეიძლება სამყაროს თანამედროვე სურათის დათარიღების წლად მივიჩნიოთ.

1929 წელს ჰაბლმა, ექსპერიმენტის შედეგებზე დაყრდნობით, გამოაქვეყნა შრომა, რომლის მიხედვით გალაქტიკების უმეტესობას წითელი ნანაცვლება ახასიათებს, ედვინ ჰაბლის დასკვნით **გალაქტიკები ერთმანეთსაც შორდებიან და ჩვენც გვშორდებიან სიჩქარით, რომელიც პირდაპირპროპორციულია ჩვენამდე მანძილის.**

ეს სენსაციური აღმოჩენა იყო. იმ დროს უმეტესობას ეგონა, რომ გალაქტიკები სამყაროში უწესრიგოდ მოძრაობდნენ.



3. როგორ ფიქრობთ, თუ მათი შეხედულება მართალია, მაშინ როგორი იქნებოდა ექსპერიმენტით მიღებული შედეგი გალაქტიკების სპექტრული ნანაცვლების შესახებ?

ჰაბლის ექსპერიმენტიდან გამომდინარეობს: სამყარო არ არის სტატიკური როგორც ამას აქამდე ფიქრობდნენ, იგი **ფართოვდება.**

→ 1. ვარსკვლავები კოლოსალურად დიდი ზომებისაა. მაგრამ, რადგან მათ ზომებს და ფორმას ვერ ვამჩნევთ, ამიტომ ისინი შეიძლება სინათლის ნერტილოვან წყაროდ მივიჩნიოთ.

→ 2. დამკვირვებლის მიერ აღქმული ტალღის სიგრძის ან სიხშირის ცვლილებას ტალღის წყაროსა და დამკვირვებლის ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის შედეგად დოპლერის ეფექტი ეწოდება.

დოპლერის ეფექტით გამოწვეული ჩვენგან მიმავალი ვარსკვლავების მიერ გამოსხივებული სინათლის განითლებას წითელი წანაცვლება უწოდეს.

→ 3. თუ გალაქტიკები უწესრიგოდ მოძრაობენ, მაშინ წითელ წანაცვლებიანი და იისფერ წანაცვლებიანი გალაქტიკების რაოდენობა დაახლოებით ერთმანეთის ტოლი იქნებოდა.

ეს იმას ნიშნავს, რომ ოდესღაც, ადრეულ ხანაში, ათი-თორმეტი ათასი მილიონი წლის წინ ისინი ერთმანეთთან ახლოს იყვნენ. იმ დროს სამყაროს სიმკვრივე უსასრულოდ დიდი იყო. თვით სამყარო კი — უსასრულოდ პატარა. სწორედ მაშინ, როგორც ამბობენ დიდი აფეთქება მოხდა. ამ აღმოჩენით შესაძლებელი გახდა სამყაროს დასაწყისის მეცნიერული ახსნა.

დიდი აფეთქების მომენტში იმის გარდა, რომ სამყაროს „ნულოვანი“ ზომა ჰქონდა, უსასრულოდ ცხელიც იყო. გაფართოებასთან ერთად ტემპერატურა თანდათან დაეცა. ეს მოსაზრება, რომ სამყარო დასაწყისში ძალიან ცხელი იყო და ცივდებოდა გაფართოებასთან ერთად, ეთანხმება დღევანდელი დაკვირვებების მონაცემებს. თუმცა მრავალი შეკითხვა კვლავ უპასუხოდ რჩება.

მაგალითად, რატომ იყო ადრეული სამყარო ასე ცხელი, რატომ არის სამყარო ერთგვაროვანი. მიუხედავად იმისა, რომ სამყარო დიდი მასშტაბით ერთგვაროვანია, არსებობს ვარსკვლავები და გალაქტიკები. რატომ? ვთქვათ, დავუშვით, რომ ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების გაჩენა დაკავშირებული იყო სხვადასხვა სიმკვრივის არეების არსებობასთან, მაშინ ისმის კითხვა — რატომ იყო სხვადასხვა სიმკვრივის არე? და ა. შ.

თუ სამყარო ფართოვდება, **მაშინ რა მოხდება მომავალში?** — დანამდვილებით არავინ იცის.

სხვადასხვა ჰიპოთეზებისა და თეორიებიდან მოვიყვანოთ რამოდენიმე.

ზოგიერთი კოსმოლოგი ფიქრობს: სამყარო გააგრძელებს გაფართოებას, ტემპერატურა კიდევ უფრო შემცირდება, ბოლოს და ბოლოს ყველა ვარსკვლავი ჩაქრება და სამყარო გახდება ბნელი და ცივი. მთელი სამყარო ერთ ნისლეულად იქცევა, ეს შენელების თეორიის სახელწოდებითაა ცნობილი.

ვიცით გალაქტიკები ერთმანეთს იზიდავს.



#### 4. ურთიერთ მიზიდულობის ძალა როგორ გავლენას ახდენს გალაქტიკების დაშორების სისწრაფეზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

ზოგიერთის აზრით, დაახლოებით ტრილიონ წელიწადში ურთიერთმიზიდულობის ძალა გალაქტიკებს გააჩერებს და იმავე ძალის მოქმედებით გალაქტიკები დაიწყებენ მოძრაობას შემხვედრი მიმართულებით და სამყარო დაიწყებს შეკუმშვას, ბოლოს და ბოლოს გალაქტიკები ერთმანეთს შეეჯახება, საბოლოოდ მოხდება დიდი შეჯახება — დიდი აფეთქების საპირისპირო მოვლენა. ეს თეორია **დიდი შეჯახების** სახელითაა ცნობილი.

შეჯახებისას სამყარო შეიკუმშება, შემჭიდროვდება, ნივთიერების სიმკვრივის გადიდებასთან ერთად ტემპერატურა დაიწყებს გადიდებას და შეიძლება მოხდეს **ახალი დიდი აფეთქება**. დაიბადება ახალი სამყარო, რომლის აგებულება და გარე სახე შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავებული იყოს ახლანდელისგან.

ზოგიერთი მეცნიერი იმასაც ფიქრობს, რომ სამყარო გულის მსგავსად ფართოვდება, შემდეგ იკუმშება, შემდეგ ისევ ფართოვდება და ა. შ. ასე რომ ყოველ დიდ აფეთქებას დიდი შეჯახება მოჰყვება, ეს იდეა სამყაროს **პულსირების** თეორიის სახელწოდებითაა ცნობილი.

2009 წელს ბირთვულ გამოკვლევათა ევროპულ ცენტრში (ჟენევა, შვეიცარია) ამუშავდა მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი ამაჩქარებელი. ამ მანქანით აჩქარებული ნაწილაკების დაჯახებისას მიღებულმა შედეგებმა შეიძლება შეცვალოს ჩვენი შეხედულება სამყაროზე. ამ ექსპერიმენტების შედეგებს განსაკუთრებით დიდი იმედით ელიან ქართველი ფიზიკოსებიც, რადგან მოწმდება ჩვენი თანამემამულის გიორგი დვალის ჰიპოთეზა სამყაროს ფარული განზომილებების შესახებ.

→ 4. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად ურთიერთმიზიდულობის ძალა გალაქტიკების დაშორების სისწრაფეს შეამცირებს.

## ისევ სამყაროს შესახებ

სამყაროს სტრუქტურისა და ევოლუციის შესასწავლად საჭიროა მისი თვისებების დადგენა დიდ მასშტაბებზე, ანუ მანძილებზე, რომლებიც აღემატებიან მილიონ სინათლის წელიწადს. ამ მანძილებზე ჩვენ შეგვიძლია დავაკვირდეთ მხოლოდ ძლიერად კაშკაშა ობიექტებს, მაგალითად ისეთებს, როგორებიც არიან გალაქტიკები. გალაქტიკების ჩვენგან დაშორების სიჩქარისა და მანძილის დასადგენად გამოიყენება მათი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრზე დაკვირვების მეთოდი (სურ. 29.1).

ელექტრომაგნიტური ტალღებისათვის მოქმედებს დოპლერის ეფექტი, რომლის მიხედვითაც დამზერილი ტალღის სიგრძე იზრდება, თუკი წყარო შორდება დამკვირვებელს, და მცირდება თუკი წყარო მას უახლოვდება (სურ. 29.2). ობიექტის დაშორების შემთხვევაში ტალღის სიგრძე იზრდება, რაც ნიშნავს რომ სინათლის სპექტრი წაინაცვლებს სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ. ამ ეფექტს **წითელ წაინაცვლებას** ვუწოდებთ.

ედვინ ჰაბლმა 20-ე საუკუნის დასაწყისში აღმოაჩინა მნიშვნელოვანი კანონზომიერება. აღმოჩნდა, რომ გალაქტიკების წითელი წაინაცვლება პირდაპირპროპორციულია გალაქტიკამდე მანძილის (სურ. 29.3). ამ დაკვირვების საფუძველზე ჰაბლმა დაადგინა სამყაროს გაფართოების კანონი:

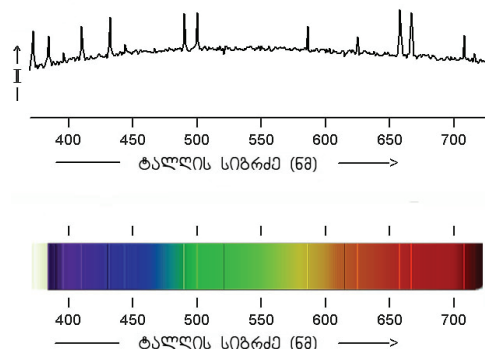
$$v = H_0 d,$$

სადაც  $v$  გალაქტიკის ჩვენგან დაშორების სიჩქარეა,  $d$  - მანძილი, ხოლო  $H_0$  - ჰაბლის მუდმივა. დღევანდელი გაზომვებით:

$$H_0 = 22 \pm 2 \text{ (კმ/წმ)/(მილიონ ს.წ.)}$$

ანუ გალაქტიკა, რომელიც ჩვენგან დაშორებულია 1 მილიონი სინათლის წელიწადით, გვშორდება დაახლოებით 22 კმ/წმ სიჩქარით.

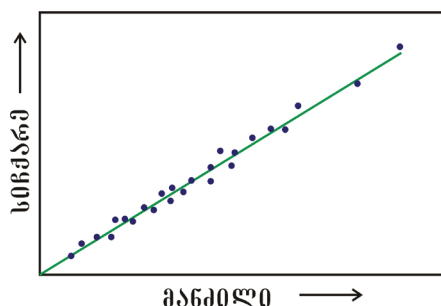
დღეისათვის ცნობილია, რომ სამყარო ფართოვდება და გალაქტიკები ერთმანეთს შორებიან ჰაბლის კანონის მიხედვით. იმის დაშვებით, რომ ეს პროცესი გრძელდება სამყაროს დასაბამიდან, შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ სამყარო წარმოიშვა მცირე ზომის მოცულობიდან მუდმივი გაფართოების შედეგად. ამ მოდელს **დიდი აფეთქების თეორია**ს უწოდებენ. დიდი აფეთქების თეორიით ნაწინასწარმეტყველები იქნა რამოდენიმე



სურ. 29.1. ტიპური სპირალური გალაქტიკის გამოსხივების ელექტრომაგნიტური სპექტრი. ნაჩვენებია 350–750 ნანო მეტრი ტალღის სიგრძის გამოსხივება. სპექტრალური ხაზები მიგვანიშნებენ გალაქტიკაში წყალბადისა და სხვა ქიმიური ელემენტების არსებობაზე.



სურ. 29.2. უძრავი და მოძრავი წყაროს ელექტრომაგნიტური გამოსხივება: თუკი წყარო შორდება დამკვირვებელს, მისი მიერ გამოსხივებული სინათლის ტალღის სიგრძე იზრდება, ანუ განიცდის წითელ წაინაცვლებას.



სურ. 29.3. სამყაროს გაფართოების ჰაბლის განონი. შორეული გალაქტიკები გვშორდებიან მანძილის პროპორციული სიჩქარით.

**სტანდარტთან კავშირი**

**არჩ.ფიზ.XII.6.** მოსწავლეს შეუძლია სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების თანამედროვე მეცნიერული თეორიების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს და აღწერს სამყაროს გაფართოების დამადასტურებელ ექსპერიმენტალურ ფაქტებს და იძლევა მათ ინტერპრეტაციას (წითელი წანაცვლება, რელიქტური გამოსხივება);
- აღწერს სამყაროს ევოლუციის შესაძლო სცენარებს.

დაკვირვებითი ფაქტი, რომელიც მოგვიანებით ექსპერიმენტულად დადასტურდა. დღეისათვის კვლევის საგანს წარმოადგენს დიდი აფეთქების თეორიის საწყისი ეტაპი, ის პირველადი მცირე მოცულობა საიდანაც წარმოიქმნა სამყარო.

რომელი წერტილის ირგვლივ ფართოვდება სამყარო?

შეკითხვა ბუნებრივად წარმოიქმნება სიტყვა აფეთქების გამოყენების შედეგად. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ დიდი აფეთქების მოდელში, სივრცის გაფართოება უფრო მეტად გვაგონებს რეზინის ზედაპირის გაფართოებას ბუმტის გაბერვისას, როდესაც ზედაპირი ფართოვდება ყოველ წერტილში (სურ. 30.1).

დიდი აფეთქების თეორია წინასწარმეტყველებს სამყაროს სხვადასხვა მდგომარეობას, როდესაც გაფართოების შედეგად სამყაროში ეცემა ნივთიერების საშუალო სიმკვრივე და ტემპერატურა. შესაბამისად სამყარო ევოლუციის განმავლობაში გაივლის სხვადასხვა ეპოქებს. პირობითად შესაძლებელია გამოიყოს რამოდენიმე ძირითადი ეპოქა.

### 1. პირველადი ეპოქა ( $10^{-44}$ – $10^{-12}$ წამი).

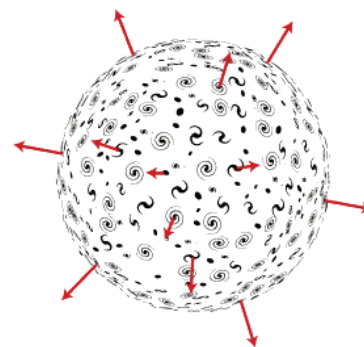
სამყაროს გაფართოება დაიწყო ე.წ. პლანკის მასშტაბებიდან, როდესაც სამყაროს ასაკი იყო  $T \sim 10^{-44}$  წამი და ზომა  $L \sim 10^{-35}$  მეტრი. ამაზე უფრო მცირე მანძილებზე და ადრეულ პერიოდში ირღვევა მიზეზ–შედეგობრიობა და აღარ მუშაობენ ჩვენთვის ცნობილი ფიზიკის კანონები. ამიტომ, დღევანდელი წარმოდგენებით, შეკითხვას რა იყო მანამდე ეკარგება აზრი. ხანმოკლე პირველადი სწრაფი გაფართოების შემდეგ სამყაროს ენერგიიდან გაჩნდა მატერია. დროის ამ მომენტს **ცხელი სამყაროს** დაბადებას ვუწოდებთ. შემდგომი გაფართოებისას სამყარომ გააგრძელა გაციება, რის შედეგადაც ეპოქის ბოლოს გაერთიანებული ურთიერთქმედების ძალიდან გამოიყო ოთხი ფუნდამენტური ურთიერთქმედება: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, სუსტი და ძლიერი.

### 2. ადრეული სამყარო ( $10^{-12}$ წამი – 380 000 წელი)

სამყაროს ტემპერატურა ეცემა და შესაძლებელი ხდება ჩვენთვის ცნობილი ელემენტარული ნაწილაკების დაბადება. შემდგომი გაციების პერიოდში წარმოიქმნებიან პროტონები და ნეიტრონები, რომლებიც მოგვიანებით ერთმანეთს უერთდებიან და ქმნიან მცირე რაოდენობით წყალბადზე მძიმე ქიმიური ელემენტების ბირთვებს. ეპოქა მთავრდება როდესაც სამყაროს ტემპერატურა ეცემა 4000 კელვინამდე, როდესაც იწყება წყალბადის იონების რეკომბინაცია და სამყარო ხდება გამჭვირვალე.

### 3. ბნელი ეპოქა (380 000 წელი – 150 მილიონი წელი)

ბნელ ეპოქაში ნივთიერება ნეიტრალური აირის სახითაა გავრცელებული სამყაროს მთელს მოცულობაში. ამ აირის ტემპერატურა იმდენად დაბალია, რომ ის აღარ ანათებს, ანუ სამყაროში არ გვაქვს მნათობები. ამ ფაქტის გამო სამყაროს განვითარების ამ ეტაპს ბნელი ეპოქა ეწოდება.



სურ. 30.1. სამყაროს გაფართოება სქემატურად შეგვიძლია შევადაროთ რეზინის ბუმტის ზედაპირის გაფართოებას მისი გაბერვისას. ზედაპირზე არსებული წერტილები (გალაქტიკები) თანაბრად შორდებიან ერთმანეთს. ამ შემთხვევაში რეზინის ზედაპირი ფართოვდება ყველა წერტილში.

რეკომბინაცია: პროცესი, როდესაც იონი ჩაიჭერს ელექტრონს და წარმოიქმნება ნეიტრალური ატომი. პროტონის რეკომბინაციის შედეგად მიიღება ნეიტრალური წყალბადის ატომი.



#### 4. პირველი სტრუქტურების ფორმირება (150 მილიონი – 1 მილიარდი)

თავდაპირველი დიფუზიური არიებიდან ხდება პირველი ვარსკვლავების კონდენსაცია და ანთება. სამყაროში ჩნდება მნათობები. პირველი ვარსკვლავები და ვარსკვლავთშორისი აირი განიცდის გრავიტაციულ ფრაგმენტაციას და წარმოიქმნებიან მატერიის კუნძულები – პირველი გალაქტიკები.

#### 5. თანამედროვე ეპოქა (1 – 13.7 მილიარდი წელიწადი)

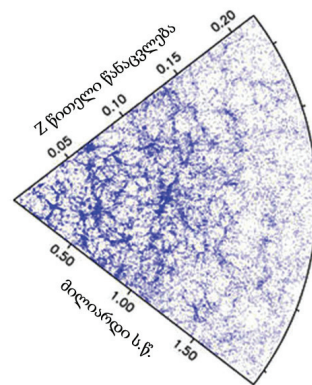
განვითარების ამ ეტაპზე ყალიბდება სამყაროს თანამედროვე სურათი. ვარსკვლავები განაწილებულია გალაქტიკებში, გალაქტიკები გროვებში, გროვები ერთგვაროვნად და ქაოსურად არიან გადანაწილებული სამყაროში (სურ. 31.1).

სამყარო გაფართოებისას გადის ე.წ. რეკომბინაციის პერიოდს, როდესაც წყალბადის იონები წარმოქმნიან ატომებს. რეკომბინაცია მოხდა როდესაც სამყაროს ასაკი იყო 380 000 წელიწადი. ამ პერიოდში შეიცვალა სამყაროს ერთ-ერთი ძირითადი დაკვირვებითი თვისება: გამჭვირვალობა. გაუმჭვირვალე სამყარო რეკომბინაციის შედეგად ხდება გამჭვირვალე. შედეგად, ადრეულ სამყაროს ნათებამ შეძლო ჩვენამდე მოღწევა.

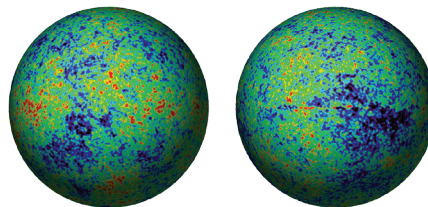
დღეს ეს გამოსხივება დაიკვირვება ყველა მიმართულებით 1,873 მილიმეტრ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ფორმით, რომელსაც **რელიქტური ფონის გამოსხივება** ეწოდება. რელიქტურ ფონში დაიმზირება უმცირესი შეშფოთებები, რომლებიც მიგვანიშნებენ ადრეულ სამყაროში გალაქტიკების ჩანასახების არსებობაზე (სურ. 31.2).

სამყაროს მომავალი დამოკიდებულია მრავალ, დღეისათვის ცნობილ, თუ ჯერ კიდევ დაუდგენელ ფაქტორზე. ამიტომაც სამყაროს მომავლის წინასწარმეტყველებისას ჩვენ მნიშვნელოვან წილად გვიხდება არსებულ თეორიულ მოდელებზე დაყრდნობა.

უკანასკნელი დაკვირვებები გვიჩვენებენ, რომ  $7,62 \cdot 10^9$  ს.წ.-ზე მეტ მანძილებზე სამყაროს გაფართოების ჰაბლის კანონი ირღვევა. 2011 წლის ნობელის პრემია ფიზიკაში გადაეცათ მეცნიერებს ს. პერლმუტერს, ბ. შმიდტს და ა. რიის, რომლებმაც შორეული ზეახალი ვარსკვლავების დაკვირვებით დაამტკიცეს, რომ სამყაროს გაფართოება მცირედად აჩქარებულია. არანულოვანი აჩქარება მიგვანიშნებს უცნობი ტიპის ძალის არსებობაზე. ამ ძალის აღსაწერად, რომელიც გრავიტაციის საწინააღმდეგოდ მოქმედებს და სივრცის გაფართოებას იწვევს, გამოიყენება **ფარული ენერგიის** ცნება. დღეისათვის ცნობილია, რომ ფარული ენერგია, რომელსაც პირობითად ლამბდა წევრით აღნიშნავენ ( $\lambda$ ) არ შეიძლება იყოს რაიმე უცნობი ტიპის ელემენტარული ნაწილაკების ერთობლიობა, არამედ არის თავად სივრცის (ვაკუუმის) თვისება.



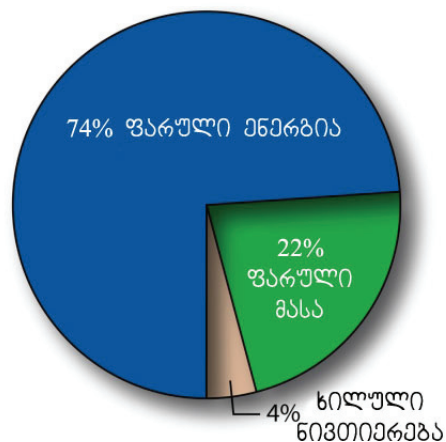
სურ. 31.1. გალაქტიკების განაწილების რუკა დედამიწიდან 2 მილიარდი ს.წ. მანძილზე. ქაოსურად განლაგებულ გალაქტიკებში შეიმჩნევა ე.წ. ბოჭკოვანი სტრუქტურა, სადაც კვანძების როლს ასრულებენ გალაქტიკების მასიური გროვები.



სურ. 31.2. რელიქტური ფონის გამოსხივების ორი ნახევარსფერო. სითბური გამოსხივების პიკი მოდის ელექტრომაგნიტურ ტალღებზე, რომლის სიხშირეა 160.2 გიგაჰერცი, ხოლო ტალღის სიგრძე 1.873 მილიმეტრი. წითელი და ლურჯი ლაქები შეესაბამებიან სიმკვრივის და ტემპერატურის მცირე შეშფოთებებს (0.0001%), რომლებიც გვიან ეპოქაში იწვევენ გალაქტიკების ფორმირებას.



უკვე რამოდენიმე ათწლეულია ცნობილია, რომ სამყაროში არსებობს **ფარული მასა**, რომელიც იზიდავს მის მახლობლად არსებულ ვარსკვლავებს, მაგრამ მისი პირდაპირი დაკვირვება ვერ ხერხდება. ფარული მასის მიერ გამოწვეული მიზიდულობის ძალა მკვეთრად გამოხატულია სპირალური გალაქტიკების პერიფერიაში და გალაქტიკების მჭიდრო გროვებში. დღეისათვის ითვლება, რომ ფარული მასა შეიძლება შედგებოდეს დღემდე აღმოუჩენელი მასიური ელემენტარული ნაწილაკებისაგან, რომლებიც არ ურთიერთქმედებენ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებასთან (CDM მოდელი).



დღეისათვის ყველა დაკვირვებით ფაქტს საუკეთესოდ ეთანხმება ე.წ.  $\Lambda$ CDM მოდელი (სურ. 32.1), რომელშიც სამყარო ძირითადად შედგება ფარული ენერგიისა ( $\Lambda$ ) და ფარული მასისაგან (CDM). ამ მოდელის მიხედვით სამყაროს გაფართოება გაგრძელდება მანამდე, სანამ მატერიის გაუხშოების შედეგად სამყარო არ განიცდის ე.წ. სითბურ სიკვდილს.

სურ 32.1. სამყაროში ენერგიის და მატერიის განაწილების დღევანდელი წარმოდგენა ( $\Lambda$ CDM მოდელი). ჩვეულებრივი ნივთიერება (ატომები, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, ნეიტრინოები და შავი ხვრელები) წარმოადგენს სამყაროს სრული ენერგიის მხოლოდ 4 პროცენტს.

ალტერნატიული თეორიები გულისხმობენ ანომალურად გაუხშოებულ სამყაროში დღეისათვის უცნობი ფაქტორების ამოქმედებას: მაგალითად ვაკუუმის ენერგიიდან ახალი ტიპის მატერიის დაბადებას, ისე როგორც მოხდა ჩვენი სამყაროს პირველად ეტაპზე ცხელი სამყაროს დაბადების დროს. ზუსტი პროგნოზის გასაკეთებლად საჭიროა დღეისათვის ფარული ფაქტორების ფიზიკური ბუნების და თვისებების დეტალური დადგენა, რაც ფიზიკოსების ახალი თაობების ამოცანაა.



## შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

### ტესტი

#### 1. რატომ ანათებენ ვარსკვლავები?

- ა. ვარსკვლავები ხვრელებია ცის თალში;
- ბ. ვარსკვლავები ციური სხეულებია, რომლებიც ირეკლავენ მზის გამოსხივებას;
- გ. ვარსკვლავები ციური სხეულებია, რომლებსაც გააჩნიათ ენერგიის წყარო;
- დ. ვარსკვლავების ნათება ატმოსფერული მოვლენაა.

#### 2. სად ხდება ვარსკვლავის ენერგიის გამომუშავება?

- ა. ზედაპირზე; ბ. ცენტრში; გ. შუალედურ ფენებში; დ. მთელს მოცულობაში.

#### 3. მზის ტიპის ვარსკვლავების გამოსხივების ენერგიის წყაროა:

- ა. მზეში მიმდინარე ქიმიური რეაქციები;
- ბ. მზეში მიმდინარე თერმობირთვული რეაქციები;
- გ. მზეში მიმდინარე რადიაქტიული დაშლის რეაქციები;
- დ. ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი.

#### 4. რა ტიპის ვარსკვლავი იარსებებს უფრო დიდი ხნის განმავლობაში: მასიური თუ ჯუჯა?

- ა. მასიური; ბ. ჯუჯა;
- გ. სიცოცხლის ხანგრძლივობა არ არის დამოკიდებული მასაზე;
- დ. სიცოცხლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ვარსკვლავის თაობაზე.

#### 5. რომელი ვარსკვლავია დედამიწასთან ყველაზე ახლოს?

- ა. პროქსიმა ცენტავრი; ბ. ალფა ცენტავრი; გ. მთვარე; დ. მზე.

#### 6. რამდენი გალაქტიკაა სამყაროში?

- ა. ერთი; ბ. რვა; გ. მილიარდობით; დ. უსასრულო რაოდენობა;

#### 7. როდის ჩამოყალიბდა რელიქტური ფონის გამოსხივება?

- ა. სამყაროში პირველი ვარსკვლავების ანთებისას;
- ბ. სამყაროში წყალბადის რეკომბინაციისას;
- გ. სამყაროში ელემენტარული ნაწილაკების გაჩენისას;
- დ. არსებობდა სამყაროს გაჩენისთანავე;

#### 8. შეფასებულია, რომ სამყაროს ასაკი 13.7 მილიარდი წელიწადია. როგორ შეიცვლება სამყაროს ასაკი, თუ აღმოჩნდება, რომ ჰაბლის მუდმივა დამზერილზე უფრო დიდია?

- ა. არ შეიცვლება; ბ. გაიზრდება; გ. შემცირდება;

#### 9. დაკვირვებისას აღმოჩნდა მნათობი, რომლის გამოსხივება წანაცვლებულია სპექტრის ლურჯი ბოლოსაკენ. როგორ მოძრაობს მნათობი?

- ა. გვიახლოვდება; ბ. გვშორდება;
- გ. მნათობის სიჩქარე დამოკიდებულია მხოლოდ დაშორებაზე;
- დ. მნათობის სიჩქარის დადგენა შეუძლებელია.

ტესტების სწორი პასუხები

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| გ | ბ | ბ | ბ | დ | გ | ა | ა | ა |

### III თავი.

## ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა



### ამ თავში გაიხსენებთ და გააცნობით

- ☞ ბუნებაში არსებული ურთიერთქმედების ოთხ ტიპს;
- ☞ ელემენტარულ ნაწილაკებს ლეპტონებსა და ადრონებს;
- ☞ კვარკებსა და გლუონებს;
- ☞ ელექტრონს, ფოტონს, პროტონსა და ნეიტრონს;
- ☞ ანტინაწილაკებს;
- ☞ ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას;
- ☞ ამაჩქარებლებს.





## ელემენტარული ნაწილაკები

რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმათ თქვენი ცოდნა

### 1. ნივთიერება შედგება

- ა. ფოტონებისგან; ბ. ელექტრონებისგან; გ. პროტონებისგან;  
დ. მოლეკულებისგან;  
ე. ელექტრონებისა და მის გარშემო მოძრავი ატომბირთვისგან.

### 2. მოლეკულა შედგება

- ა. ფოტონებისგან; ბ. ატომებისგან; გ. პროტონებისგან;  
დ. ელექტრონებისგან;  
ე. ელექტრონებისა და მის გარშემო მბრუნავი ატომბირთვისგან.

### 3. ატომი შედგება

- ა. ფოტონებისგან; ბ. ელექტრონებისგან; გ. პროტონებისგან;  
დ. მოლეკულებისგან;  
ე. ატომბირთვისა და მის გარშემო მბრუნავი ელექტრონებისგან.

### 4. ქვემოთ ჩამოთვლილთაგან ელემენტარული ნაწილაკია

- ა. ატომი; ბ. მოლეკულა; გ. უარყოფითი იონი; დ. ელექტრონი.

### 5. ქვემოთ ჩამოთვლილთაგან ელემენტარული ნაწილაკია

- ა. ატომი; ბ. პროტონი; გ. უარყოფითი იონი; დ. მოლეკულა.

### 6. ქვემოთ ჩამოთვლილთაგან ელემენტარული ნაწილაკია

- ა. ელექტრონი; ბ. პროტონი; გ. ფოტონი; დ. ყველა ჩამოთვლილი;  
ე. არც ერთი ჩამოთვლილთაგან.

თუ ტესტებზე პასუხის გაცემა გაგიჭირდათ, მაშინ გაიღრმავეთ ცოდნა ამ პარაგრაფის შესწავლით. მიღებული ინფორმაციით, ფიქრით და აზროვნებით აუცილებლად შეძლებთ ტესტებზე სწორი პასუხის გაცემას.

სიტყვა ელემენტარული ორმაგ აზრს შეიცავს. ერთი მხრივ — ელემენტარული თავისთავად ნიშნავს უმარტივესს, მეორე მხრივ ელემენტარულში იგულისხმება რაღაც ფუნდამენტური, რომელიც საგანთა საფუძველია (სწორედ ასეთი აზრით უწოდებენ ახლა სუბატომურ ნაწილაკებს ელემენტარულს); ნაწილაკი, რომელზედაც ფიქრობენ რომ განუყოფელია.

სუბატომური ნაწილაკები — ისეთი ნაწილაკებია რომლებისგანაც ატომები შედგებიან.



#### 1. დაასახელეთ ატომების შემადგენელი ნაწილაკები.

ნივთიერებათა შედგენილობის ძიებაში აღმოაჩინეს „ელემენტარული“ მოლეკულა. შემდეგ აღმოჩნდა, რომ მოლეკულა შედგება „ელემენტარული“ ატომებისაგან. საუკუნეების შემდეგ კი დაადგინეს, რომ ამ „ელემენტარულ“ ატომში არის

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას.

ტესტების სწორი პასუხები

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| დ | ბ | ე | დ | ბ | დ |

- ატომის შემადგენელი ნაწილაკებია პროტონი, ელექტრონი და ნეიტრონი.

„ელემენტარული“ ბირთვი და ორბიტაზე მბრუნავი ელექტრონები, არც ატომის ბირთვი აღმოჩნდა ელემენტარული იგი შედგება პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან.

თანამედროვე წარმოდგენებით პროტონი, ნეიტრონი, ელექტრონი და ფოტონი მიჩნეულია, ელემენტარულ ნაწილაკებად. ეს ნაწილაკები არ შეიძლება წარმოვიდგონოთ ისეთ სისტემად, რომელიც შედგება სხვა ელემენტარული ნაწილაკებისაგან.

თავდაპირველად ამ ნაწილაკებს ისევე უყურებდნენ, როგორც დემოკრიტოს ატომებს; მათ განუყოფელ და უცვლელ სამყაროს ძირითად აგურებად თვლიდნენ. მაგრამ გამოიკვია, **არც ერთი ნაწილაკი არ არის უკვდავი**. ნაწილაკების უმრავლესობა, რომლებსაც ახლა ელემენტარულს უწოდებენ, ცოცხლობს წამის ორ მემილიონედზე მეტ ხანს, გარედან რაიმე ზემოქმედების გარეშეც კი.

თავისუფალი ნეიტრონი საშუალოდ 15 წუთს ცოცხლობს.

**მხოლოდ ოთხი ნაწილაკი ფოტონი, ელექტრონი, პროტონი და ნეიტრინო შეიძლება თავისი უცვლელობის შენარჩუნებას, თითოეული მათგანი ერთადერთი რომ ყოფილიყო მთელ სამყაროში.**

**ნეიტრინო** — მატერიის ძალიან მსუბუქი (შეიძლება უმასო) ელემენტარული ნაწილაკი, რომელზეც მოქმედებს მარტო სუსტი ძალა და გრავიტაცია.



2. როგორია თქვენი აზრი, არსებობს თუ არა სამყაროში უცვლელი ნაწილაკი? პასუხი დაასაბუთეთ.

3. განსაზღვრეთ ნათურას მიერ გამოსხივებული იმ ფოტონების სიცოცხლის ხანგრძლიობა, რომელიც შთანთქა 3 მ-ით დაშორებულმა მაგიდის ზედაპირმა.

4. რამდენჯერ შეიცვლებოდა ფოტონის სიცოცხლის ხანგრძლიობა თუ დაბრკოლება მისგან 300 000 კმ-ით იქნებოდა დაშორებული?

პასუხი დაასაბუთეთ.

ნეიტრინოები სხვა ნაწილაკებს მათთან სუსტი ურთიერთქმედების გამო იშვიათად ეჯახებიან, ამიტომ იშვიათად ილუპებიან.

რატომ უნდა დაილუპოს ელექტრონი ან პროტონი სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედებისას?

გაეცანით ცხრილს რომელშიც მოცემულია ზოგიერთი ცნობა იმ ელემენტარულ ნაწილაკებზე, რომელთა სიცოცხლის ხანგრძლიობა  $10^{-20}$  წმ-ზე მეტია. ცხრილში ნაწილაკები განლაგებულია მასის ზრდის მიხედვით. ისინი დაყოფილია ჯგუფებად. პირველ ჯგუფში მხოლოდ ფოტონია, მეორე ჯგუფში მსუბუქი ნაწილაკები რომლებსაც ლეპტონებს უწოდებენ. შემდეგ შედარებით მასიური ნაწილაკები მეზონებია, კიდევ უფრო მასიურები ბარიონების სახელწოდებითაა ცნობილი. მეზონები და ბარიონები შედიან ჯგუფში რომელსაც ადრონები ჰქვია.

ქრონოლოგიურად ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენას და მათ თვისებებს შემდეგ პარაგრაფებში გაეცნობით.

→ 2. რადგან დღეისათვის ცნობილი ელემენტარული ნაწილაკები უკვდავი არ არიან, ამიტომ სამყაროში ყველა ნაწილაკი ცვლილებას განიცდის.

3. ფოტონი სიცოცხლის ხანგრძლიობა  $t = \frac{S}{c} = \frac{3 \text{ მ}}{3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}} = 10^{-8} \text{ წმ.}$

4. ფოტონის სიცოცხლის ხანგრძლიობა გაიზრდება 1 წმ-დე,  $10^8$ -ჯერ.

ცხრილი

| ნაწილაკების დასახელება |                        | სიმბოლო              |                                        | მასა<br>მეკე-ით               | ელექტრონული<br>მუხტი | სიცოცხლის<br>ხანგრძლივობა<br>(წმ)                                      |
|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                        |                        | ნაწილაკი             | ანტინაწილაკი                           |                               |                      |                                                                        |
| ფოტონი                 |                        | $\gamma$             | $\gamma$                               | 0                             | 0                    | სტაბილურია                                                             |
| ლექტონები              | ნეიტრონი ელექტრონული   | $\nu_e$              | $\bar{\nu}_e$                          | 0                             | 0                    | სტაბილურია                                                             |
|                        | ნეიტრონი მიუონური      | $\nu_\mu$            | $\bar{\nu}_\mu$                        | 0                             | 0                    | სტაბილურია                                                             |
|                        | ნეიტრონი ტაუ-ლექტონური | $\nu_\tau$           | $\bar{\nu}_\tau$                       | 0                             | 0                    | სტაბილურია                                                             |
|                        | ელექტრონი              | $e^-$                | $e^+$                                  | 0,51                          | -1                   | სტაბილურია                                                             |
|                        | მიუონი                 | $\mu^-$              | $\mu^+$                                | 105,66                        | -1                   | $2,2 \times 10^{-4}$                                                   |
|                        | ტაუ-ლექტონი            | $\tau^-$             | $\tau^+$                               | 1782                          | 0                    | $3,4 \times 10^{-13}$                                                  |
| ბარიონები              | პი-მეზონები (პიონები)  | $\pi^0$              | $\pi^0$                                | 134,96                        | 0                    | $8,3 \times 10^{-17}$                                                  |
|                        |                        | $\pi^+$              | $\pi^-$                                | 139,57                        | 1                    | $2,6 \times 10^{-8}$                                                   |
|                        |                        |                      |                                        |                               |                      |                                                                        |
|                        | კა-მეზონები (კაონები)  | $K^+$                | $K^-$                                  | 493,67                        | 1                    | $1,24 \times 10^{-8}$                                                  |
|                        |                        | $K^0$                | $\bar{K}^0$                            | 497,7                         | 0                    | $K_S^0 - 8,9 \times 10^{-11}$<br>$K_L^0 - 5,18 \times 10^{-8}$         |
|                        | ეტა-ნოლ მეზონი         | $\eta^0$             | $\eta^0$                               | 548,8                         | 0                    | $7 \times 10^{-10}$                                                    |
|                        | ნუკლონები              | პროტონი              | $p$                                    | 938,28                        | 1                    | სტაბილურია                                                             |
|                        |                        | ნეიტრონი             | $n$                                    | 939,57                        | 0                    | 1000                                                                   |
|                        |                        | ჰიპერონი ლამბადა     | $\Lambda^0$                            | 1115,1                        | 0                    | $2,63 \times 10^{-10}$                                                 |
|                        |                        | ჰიპერონი სიგმა       | $\Sigma^+$<br>$\Sigma^0$<br>$\Sigma^-$ | 1139,37<br>1192,48<br>1197,35 | 1<br>0<br>-1         | $8 \times 10^{-11}$<br>$5,8 \times 10^{-20}$<br>$1,48 \times 10^{-10}$ |
|                        | ჰიპერონები             | ჰიპერონი ქსი         | $\Xi^0$<br>$\Xi^-$                     | 1314,9<br>1321,3              | 0<br>-1              | $2,90 \times 10^{-10}$<br>$1,64 \times 10^{-10}$                       |
|                        |                        | ომეგა-მინუს-ჰიპერონი | $\Omega^-$                             | 1672,2                        | -1                   | $8,2 \times 10^{-11}$                                                  |

ანტინ (ბერძნ.) — თავსართი, ნიშნავს საწინააღმდეგოს, დაპირისპირებულს.

ანტინაწილაკები — მატერიის ნებისმიერი სახის ნაწილაკს აქვს შესაბამისი ანტინაწილაკი, როდესაც ნაწილაკი ეჯახება ანტინაწილაკს, ხდება მათი ანიჰილაცია – ორივე ნაწილაკი გაქრება და ფოტონების სახით რჩება მხოლოდ ენერგია.



## 3.2

ბუნებაში არსებული  
ურთიერთქმედებები

1. რა არის სხეულის აჩქარების გამომწვევი მიზეზი?
  2. შეიძლება თუ არა სხეულს აჩქარება მიაწოდოს ბიძგით? მოქაჩვით? ვარაუდის მართებულობა შეამოწმეთ ცდით.
  3. შეიძლება თუ არა სხეულს აჩქარება მიაწოდოს ქარმა? მოიყვანეთ ვარაუდის დამადასტურებელი მაგალითები და სუსტი ჰაერის ნაკადით ცდით შეამოწმეთ იგი.
  4. შეუძლია თუ არა ჰაერის ნაკადმა ამოძრავოს გემი? უზრუნველყოს თვით-მფრინავის ფრენა?
  5. რა ანიჭებს ისარს აჩქარებას? ქვემეხიდან გამოტყორცნილ ჭურვს?
- რა უზრუნველყოფს ავტომობილის დაძვრას და შემდეგ მოძრაობისას მისი სიჩქარის შენარჩუნებას? რა ძალა უშლის ხელს ავტომობილის სიჩქარის განუწყვეტლივ გადიდებას? რა ძალა ადუღაბებს სამშენებლო მასალებს სახლის აშენებისას? რა ძალა იწვევს ქალაქების წამებში განადგურებას? რა ძალა უზრუნველყოფს ხელ-ფეხის მოძრაობას?

არსებობს კი ბუნებაში ძალის ამდენი ნაირსახეობა? ირკვევა, რომ არა.



დავით ჭელიძე — საქართველოს 2010 წლის ჩემპიონი ახალგაზრდებს შორის



სურ. 38.1.

მეცნიერებაში დადგენილია, რომ არსებობს ოთხი ტიპის ურთიერთქმედება: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი (ბირთვული) და სუსტი.

გრავიტაციული ძალა უნივერსალურია, რადგან ყველა ნაწილაკზე მოქმედებს. გრავიტაცია უსუსტესია ოთხ ძალას შორის. მისი მნიშვნელოვანი თვისება: დიდ მანძილზე (მილიარდობით კმ-ზე) მოქმედებს და ყოველთვის მიზიდულობის ხასიათისაა.

მანძილი, რომელზეც მუდავნდება ძლიერი ურთიერთქმედება  $10^{-14}$  მ რიგისაა. სუსტი ურთიერთქმედება მუდავნდება უფრო მცირე მანძილზე, არა უმეტეს  $10^{-19}$ მ-სა.

ელექტრომაგნიტური ძალით ურთიერთქმედებს ელექტრული მუხტის მქონე ნაწილაკები და სხეულები, რომლებსაც ჭარბი ელექტრული მუხტი აქვთ. თანასახელიანი მუხტის ნაწილაკები განიზიდება, საპირისპირო მუხტის ნაწილაკები — მიიზიდება. ელექტრული ძალა გაცილებით აღემატება მსოფლიო მიზიდულობის (გრავიტაციული) ძალას. მაგ.: ორი ელექტრონი ერთმანეთს განიზიდავს ძალით, რომელიც  $\approx 10^{42}$ -ჯერ აღემატება მათი გრავიტაციული მიზიდულობის ძალას.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ასახელებს ბუნებაში არსებულ ურთიერთქმედებების ოთხ ტიპს;

1. სხეულის აჩქარების გამომწვევი მიზეზია მასზე მოქმედი ძალა.

2. შესაძლებელია ვუბიძგოთ წიგნს, სკამს, მაგიდას, შევამჩნივთ, რომ ისინი ამოძრავდება, ე. ი. შეიცვალეს სიჩქარე. მაგრამ დიდი სხეულების — კარადის ან ავტომობილის დაძვრა ბიძგით შეიძლება ვერ შევძლოთ. შეეკითხეთ მოსწავლეებს, რატომ? თუ შეკითხვაზე პასუხის გაცემა გაუჭირდებათ, ვუთხრათ, რომ იმ სხეულებზე, რომელთა დაძვრა ვერ შევძელით, მოქმედებას იწყებს ისეთი უძრავობის ხახუნის ძალა, რომლის დაძლევა არ ძალგვიძს.

3. ძლიერი ქარის მოქმედება აქცევს ხეებს, ანგრევს სახლებს, ზღვებსა და ოკეანეებში წარმოქმნის წყლის უზარმაზარ ტალღებს. სულის შებერვით ავამოძრაოთ ფურცლები.

4. იალქნიანი გემები სწორედ ქარის მოქმედებით მოძრაობენ.

5. ისარს აჩქარებას ანიჭებს ლარის დაჭიმულობის ძალა, ჭურვს — გავარვარებული აირი. ავტომობილის დაძვრას და მისი სიჩქარის შენარჩუნებას უზრუნველყოფს უძრავობის ხახუნის ძალა, ავტომობილის სიჩქარის გადიდებას ხელს უშლის ხახუნისა და ჰაერის წინააღმდეგობის ძალები. სამშენებლო მასალებს ადუღაბებს მოლეკულების შეჭიდულობის ძალები. ქალაქები წამებში შეიძლება გაანადგუროს მიწისძვრამ, ძლიერმა აფეთქებამ. ძალა, რომლითაც ხელფეხს ვამოძრავებთ, ელექტრომაგნიტური ბუნებისაა.

ყოველდღიურ ცხოვრებასა და ტექნიკაში ელექტრომაგნიტური ძალები ვლინდება ყველაზე ფართოდ და მრავალფეროვნად. ესაა, დრეკადობისა და ხახუნის ძალები, ჩვენი და სხვადასხვა ცხოველის კუნთების ძალები. ელექტრომაგნიტური ძალების მეშვეობით ვხედავთ საგნებს და თვით სიცოცხლეს წარმოუდგენელია ამ ძალების გარეშე. ელექტრომაგნიტურ ძალთა მოქმედება ერთი ნამითაც რომ შეწყდეს, მაშინვე შეწყდებოდა სიცოცხლეც. ძნელია, თითქმის შეუძლებელიც, ისეთი მოვლენის დასახელება, რომელიც დაკავშირებული არ არის ელექტრომაგნიტურ ძალთა მოქმედებასთან.



6. შეუძლია თუ არა გრავიტაციული მიზიდულობის ძალას ერთმანეთის მახლობლად პროტონების შეკავება? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

ატომის ბირთვები საკმაოდ მდგრადია. თუ ბირთვებს სფეროს ფორმისას წარმოვიდგენთ, მათი დიამეტრი  $10^{-14}$ – $10^{-15}$  მ რიგის იქნება. ასე მცირე ზომის ბირთვში პროტონები და ნეიტრონებია „ჩაჭედილი“.

რა აჩერებს თანასახელიანი ნიშნის პროტონებს ერთმანეთთან?

რადგან ატომბირთვი მდგრადი სისტემაა, ამიტომ ბირთვის შემადგენელი ნაწილაკები — პროტონები და ნეიტრონები (ხშირად მათ **ნუკლონებს** უწოდებენ) ურთიერთმიზიდება ძალებით, რომელსაც **ბირთვული ძალები უწოდეს**. ეს ძალები დაახლოებით 100-ჯერ აღემატება ელექტრომაგნიტურ ძალებს. ისინი ბუნებაში არსებულ დღეისათვის ცნობილ ძალებს შორის ყველაზე მძლავრია, ამიტომ ბირთვული ნაწილაკების ურთიერთქმედებას ხშირად ძლიერ ურთიერთქმედებას უწოდებენ. ბირთვული ძალების მნიშვნელოვანი თვისებაა ახლოქმედება. ეს ძალები მნიშვნელოვანად იჩენს თავს ისეთ მანძილებზე, რომლებიც ბირთვის ზომის  $10^{-14}$  მ რიგისაა. ბირთვული ძალების რაოდენობრივი თეორია ჯერჯერობით დადგენილი არ არის.

სუსტი ურთიერთქმედება, ძირითადად, ელემენტარულ ნაწილაკთა გარდაქმნას იწვევს. ეს ურთიერთქმედება  $10^{14}$ -ჯერ უფრო სუსტია ბირთვულთან შედარებით. ამ ძალებს რაიმე ნაწილაკების ერთმანეთთან შეკავების უნარი ბმული მდგომარეობის წარმოსაქმნელად არ გააჩნია. მისი მოქმედების არე ძალიან მცირე  $10^{-19}$  მ რიგისაა. მაგრამ სამყაროში მისი როლი უდიდესია. ძლიერ და სუსტ ურთიერთქმედებებს შემდეგ შევისწავლით.

ფიზიკოსების უმეტესობა იმედოვნებს, რომ შეიქმნება გაერთიანებული თეორია, რომელიც ამ ოთხ ძალას ახსნის როგორც ერთი ძალის განსხვავებულ ასპექტებს. დღეისათვის ცნობილი თეორია აერთიანებს ელექტრომაგნიტურ, ძლიერ და სუსტ ურთიერთქმედებებს.

→ 6. არ შეუძლიათ, რადგან ორი პროტონის ელექტრული განზიდვის ძალის მოდული გაც-  
ილებით აღემატება გრავიტაციული მიზიდულობის ძალის მოდულს.

## 3.3

ლეპტონები, ადრონები, კვარკები,  
გლუონები

**ლეპტონები** მცირე მასის ელემენტარული ნაწილაკებია, რომლებიც არ მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებაში.

**ლეპტონი** (ბერძნ.) — თხელი, მსუბუქი

ლეპტონებში შედის 12 ნაწილაკი. (ანტი-ნაწილაკების) ჩათვლით. გვაქვს სამი სახის ნეიტრინო: ელექტონული ნეიტრინო  $\nu_e$  ჩნდება ელექტრონთან ერთად  $e$ , მიონური ნეიტრინო  $\nu_\mu$  —  $\mu$  მიუონებთან ერთად;  $\tau$ -ლეპტონური ნეიტრინო  $\nu_\tau$  ჩნდება  $\tau$  — ლეპტონებთან ერთად.  $\tau$  ლეპტონს დიდი მასა აქვს, მაგრამ მაინც შეტანილია ლეპტონების ჯგუფში, რადგან, მთავარი თვისება, რომელიც მას დანარჩენ ლეპტონებთან აახლოებს ისაა რომ არ მონაწილეობს ძლიერ ურთიერთქმედებაში.

ლეპტონები მიჩნეულია ნამდვილ ელემენტარულ ნაწილაკებად. დღემდე ვერ დაადგინეს მათი ზომები: ექსპერიმენტული მონაცემებით ელექტრონის  $R < 2 \cdot 10^{-18}$  მ.

**ადრონები** აერთიანებს მეზონებისა და ბარიონების ჯგუფებს.

**მეზონების** ჯგუფი რვა ნაწილისაგან შედგება. ყველაზე მსუბუქი მათში  $\pi$ -მეზონებია: დადებითი, უარყოფითი და ნეიტრალური. პიონები ბირთვული ველის კვანტებია მსგავსად ფოტონებისა, რომლებშიც ელექტრომაგნიტური ველის კვანტებია. არის კიდევ ოთხი  $K$ -მეზონი და ერთი  $\eta$ -მეზონი.

**ბარიონების** ჯგუფში 18 ნაწილაკი შედის. ბარიონებიდან ყველაზე ნაკლები მასა აქვს პროტონსა და ნეიტრონს. ყველაზე მეტი ომეგა-მინუს-ჰიპერონს, მისი მასა 3273-ჯერ მეტია ელექტონის მასაზე.

ძლიერ ურთიერთქმედებაში მონაწილე ყველა ნაწილაკი შედგება უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკებისაგან — **კვარკებისაგან**.

ლეპტონის, ფოტონისა და შუალედური ბოზონის გარდა ყველა ნაწილაკი შედგენილი ნაწილაკია.

შუალედური ვექტორული ბოზონები არის სუსტ ურთიერთქმედებათა ველის კვანტები.

შუალედური ვექტორული ბოზონები არის სუსტ ურთიერთქმედებათა ველის კვანტები

რისგან შედგება ეს ნაწილაკები?

პირველებმა მ. გელ-მანმა და ჯ. ცვაიგმა გამოთქვეს ჰიპოთეზა: ძლიერ ურთიერთქმედებაში მონაწილე ყველა ნაწილაკი შედგება უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკებისაგან კვარკებისაგან. ლეპტონის, ფოტონისა და შუალედური ბოზონების გარდა ყველა უკვე აღმოჩენილი ნაწილაკი შედგენილი ნაწილაკია.

თავდაპირველად წამოყენებული იყო ჰიპოთეზა სამი კვარკის და შესაბამისად სამი ანტიკვარკის არსებობის შესახებ. ისინი აღინიშნებიან  $u$ ,  $d$ ,  $s$  ასოებით მათ უნდა ჰქონდეთ წილადი ელექტრონული მუხტი.  $u$  კვარკს  $+\frac{2}{3}e$  მუხტი აქვს, ხოლო  $d$  და  $s$  კვარკებს აქვთ ერთნაირი  $-\frac{1}{3}e$ -ს ტოლი მუხტი, სადაც  $e$  ელექტრონის მუხტის მოდულია. პროტონი შედგება ორი  $u$  კვარკისა და ერთი  $d$  კვარკისაგან.

ინინასწარმეტყველეს მეოთხე  $c$ -კვარკის არსებობა, რომელსაც „მოჯადოებუ-ლი“ უწოდეს. შემდეგ ინინასწარმეტყველეს და აღმოაჩინეს კიდევ  $b$  და  $t$ -კვარკები.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას.



1. გაიხსენეთ, როგორ აღმოაჩინა რეზერფორდმა ატომის ბირთვის არსებობა?



2. თქვენი აზრით, როგორ აღმოვაჩინოთ პროტონი ან ნეიტრონი შედგენილი ნაწილაკია თუ მარტივი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

ელექტრონების პროტონებზე და ნეიტრონებზე გაბნევით თავდაპირველად აღმოჩენილი იქნა ამ ნაწილაკებში ელექტრული მუხტის სივრცული განაწილება, შემდეგ კი გაბნეული ნაწილაკების (ელექტრონისა და ნეიტრონის) ენერგიის 50 მგეე-მდე გაზრდით შეძლეს დაედგინათ ნერტილოვანი წარმონაქმნების არსებობა პროტონებსა და ნეიტრონებში. ამგვარად დადასტურდა ნუკლონების კვარკული სტრუქტურა. ნეიტრონი შედგება ორი  $d$  და ერთი  $u$  კვარკისაგან.



3. კვარკების განაწილებით განსაზღვრეთ პროტონის და ნეიტრონის მუხტი.

მეზონი სხვაგვარადაა აგებული. ყოველი მეზონი შედგება ერთი კვარკისა და ერთი ანტიკვარკისაგან. მაგალითად,  $\pi^+$ -მეზონი შედგება  $u$ -კვარკისა და  $d$ -ანტიკვარკისაგან,  $\pi^-$ -მეზონი —  $d$ -კვარკისა და  $u$  — ანტიკვარკისაგან.

ყველა ადრონი კვარკებისაგან შედგება, მაგრამ მათი გახლეჩა კვარკებად ჯერ-ჯერობით ვერ მოახერხეს. თავისუფალი კვარკები აღმოჩენილი არ არის.

ატომბირთვი პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან შედგება (წყალბადის ატომის ბირთვის გარდა). ატომბირთვის გახლეჩა და ერთი ატომბირთვის სხვა ატომბირთვად გარდაქმნა მოახერხეს.



4. თქვენი აზრით, რატომ ვერ მოახერხეს ნუკლონების კვარკებად დაშლა?

ამჟამად, ასეთი მოსაზრებაც არსებობს — თავისუფალი კვარკები ბუნებაში არ არსებობს და არც შეიძლება არსებობდეს. კვარკს არ შეუძლია ადრონიდან გამოსვლა.

მაღალი ენერგიის ნაწილაკების, მაგალითად ელექტრონის პოზიტრონთან შეხლისას წარმოიქმნება კვარკ-ანტიკვარკის წყვილი. კვარკი და ანტიკვარკი გაიბნევა ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით და თითოეული წარმოქმნის მრავალ ადრონს (უპირატესად პიონებს), ადრონების წარმოქმნა კიდევ ერთი დადასტურებაა კვარკების რეალურობისა. არც ლეპტონს და არც კვარკს, არ გააჩნია შინაგანი სტრუქტურა. ამ გაგებით ლეპტონი და კვარკი ნამდვილად ელემენტარული ნაწილაკებია. ზოგიერთი თეორიული საკითხის ასახსნელად იძულებული გახდნენ შემოედოთ ახალი კვანტური რიცხვი „ფერი“ რამაც გაზარდა კვარკების რაოდენობა. მაგალითად, კვარკი შეიძლება იყოს წითელი, მწვანე და ლურჯი, მაგრამ ამ საკითხს ჩვენ არ განვიხილავთ.

ადრონში კვარკები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ.



5. როგორ ფიქრობთ, ეს ურთიერთქმედება ძლიერია თუ სუსტი? პასუხი დაასაბუთეთ.

→ 1. რეზერვორდმა ატომის ბირთვის არსებობა აღმოაჩინა  $\alpha$ -ნაწილაკების გაბნევის ცდებით.

2. უნდა მოვახდინოთ ამ ნაწილაკების ბომბარდირება დიდი ენერგიის სხვა ნაწილაკებით.

→ 3. პროტონის მუხტის  $e^+$ , ნეიტრონის ნული.

→ 4. შესაძლებელია, რომ კვარკის მასა და ნუკლონებში მისი ბმის ენერგია ძალიან დიდია. თანამედროვე, ამჟღავნების სიმძლავრე არ კმარა პროტონების და ნეიტრონების გასახლეჩად ცალკეულ კვარკებად.

→ 5. ეს ურთიერთქმედება ძლიერია, წინააღმდეგ შემთხვევაში ადრონი კვარკებად დაიშლებოდა.

## გლუონი (ინგლ.) — ნეპო

კვანტური თეორიის თანახმად კვარკების ურთიერთქმედება ხორციელდება განსაკუთრებული ნაწილაკების — გლუონების გაცვლით. გლუონები კვარკებს „აწებებს“.

ფოტონების მსგავსად არც გლუონებს აქვთ ელექტრული მუხტი და უძრაობის მასა. მათ გააჩნიათ ე.წ. „ფერადი“ მუხტი.

გლუონების ძლიერი ურთიერთქმედება ერთიმეორესთან და კვარკებთან, კვარკებს და გლუონებს აკავებს ადრონში.

ადრონები ძლიერთან ერთად სუსტ ურთიერთქმედებაშიც მონაწილეობენ.

ადრონების კვარკული მოდელის თვალსაზრისით ეს ნიშნავს, რომ სუსტ ურთიერთქმედებაში მონაწილეობენ კვარკები.

გლუონების გაცვლა, რომელიც აპირობებს ძლიერ ურთიერთქმედებას, ცვლის მხოლოდ კვარკის ფერს, ყველა სხვა თვისებას კი უცვლელად ტოვებს. კვარკების სუსტი ურთიერთქმედებისას ხდება მათ მიერ  $W^+$ ,  $W^-$  და  $Z^0$  ბოზონების ურთიერთგაცვლა.

როგორ ხდება კვარკულ მოდელში ნეიტრონების დაშლა სუსტი ურთიერთქმედებისას?

ეს ასე ხდება: ნეიტრონების ორი  $d$ -კვარკიდან ერთი აფრქვევს  $W^-$  — მეზონს და გარდაიქმნება  $u$ -კვარკად, რის შემდეგადაც წარმოიქმნება პროტონი, რომელიც შედგება ერთი  $d$ -კვარკისა და ორი  $u$  კვარკისაგან,  $W^-$  — მეზონი, იშლება ლეპტონებად: ელექტრონად და ანტინეიტრინოდ.

ამგვარად, სუსტი ურთიერთქმედება ახორციელებს გარკვეულ კავშირს კვარკებსა და ლეპტონებს შორის — იმ ნაწილეკებს შორის, რომლებიც პირველ რიგში ჯერჯერობით შეიძლება ჩაითვალოს ნამდვილ ელემენტარულ ნაწილაკებად.



## ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ელექტრონი, ფოტონი, პროტონი

3.4

1897 წელს პირველი ელემენტარული ნაწილაკი — ელექტრონი  $e^-$  — აღმოაჩინა ინგლისელმა ჯოზეფ ჯონ ტომსონმა (1856-1940).

პირველი ცდები რომლებსგანაც მიღებული შედეგებით შეიძლებოდა დასკვნის გამოტანა ატომის შიგნით ელექტრული მუხტის არსებობაზე 1833 წელს ჩაატარა ინგლისელმა მაიკლ ფარადეიმ (1791-1867).

ფარადეიმ დაადგინა, ელექტროლიტში ელექტრული დენი არის იონების მიმართული მოძრაობა. მოცემული ქიმიური ელემენტის ერთ ატომზე საშუალოდ ელექტრული მუხტის ერთი და იგივე რაოდენობა მოდის. იონის მინიმალურ მუხტს ელემენტარული ელექტრული მუხტი დაარქვეს, რომლის მნიშვნელობაა  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  კ. განსხვავებული ნივთიერების იონის მუხტი ელემენტარული მუხტის ჯერადი იქნება, ე. ი.  $2e$ ,  $3e$  და ა. შ.

ფარადეის ცდებში თითოეული იონის მუხტს არ ზომავდნენ. ამის გამო ატომის შიგნით დადებითი და უარყოფითი ელემენტარული მუხტის არსებობა 64 წლის განმავლობაში რჩებოდა ჰიპოთეზად.

1897 წელს ჯონ ტომსონი ატარებდა ცდებს გაიშვიათებულ აირებში ელექტრულ განმუხტვაზე, თერმოელექტრულ ემისიაზე და ფოტოეფექტზე. ცდების შედეგების ანალიზით ტომსონმა დაადგინა: აირებში დენის გატარებისას, ნივთიერების გახურებისას და ნებისმიერი ქიმიური ელემენტის ულტრაიისფერი სხივებით დასხივებისას ამ ნივთიერების ატომებიდან ამოიტყორცნება სავსებით ერთნაირი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები. ამ ნაწილაკს შემდგომში **ელექტრონი** უწოდეს.

ელექტრონის ელექტრული მუხტი პირველად 1909 წელს გაზომა ა. მაიკელსონმა (1852-1931). ელექტრონის მუხტის მოდული ტოლი აღმოჩნდა ელექტროლიზის ცდებში მიღებული ელემენტარული მუხტის. ელექტრონის მასა ბუნებაში არსებული ყველაზე მსუბუქი ელემენტის — წყალბადის ატომის მასაზე დაახლოებით 2000-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა, იგი ტოლია  $m_e=9,11 \cdot 10^{-31}$  კგ.

ელექტრონის აღმოჩენა და ყველა ატომში მისი არსებობის დასაბუთება, არის ატომის რთული აგებულების დამტკიცების პირველი ნიშანი.

**ელექტრონი (სიმბოლო  $e^-$ ) ელემენტარული ნაწილაკია.**

1900 წელს აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ასახსნელად მაქს პლანკმა ჩამოაყალიბა ჰიპოთეზა ატომების მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღის გამოსხივებაზე.



### 1. ჩამოაყალიბეთ პლანკის ჰიპოთეზა.

ალბერტ აინშტაინმა 1905 წელს ახსნა ფოტოეფექტის მოვლენა სინათლის წყვეტილი გამოსხივების შესახებ პლანკის იდეის განვითარების შედეგად. ფოტოეფექტის ექსპერიმენტულ კანონებში აინშტაინმა დაინახა დამაჯერებელი დადასტურება იმისა, რომ სინათლეს აქვს წყვეტილი სტრუქტურა და შთაინთქმება ცალკეული  $h\nu$  პორციებით.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას.

→ 1. ატომები ელექტომაგნიტური ენერგიას ასხივებენ ცალკეული პორციებით-კვანტებით. თითოეული პორციის  $E$  ენერგია გამოსხივების სიხშირის პროპორციულია:  $E=h\nu$ , სადაც  $h=6,63\cdot 10^{-34}$  ჯ. ნმ პროპორციულობის კოეფიციენტს პლანკის მუდმივა ეწოდება.

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 პორციის.

**ფოტონი (სიმბოლო  $\gamma$ ) ელემენტარული ნაწილაკია.**

1913 წელი. ერნესტ რეზერფორდმა (1871-1937) იწინასწარმეტყველა პროტონის არსებობა.

1919 წელი. რეზერფორდმა აღმოაჩინა პროტონი.

ატომური ბირთვების ხელოვნური გარდაქმნა პირველად განახორციელა რეზერფორდმა. ბირთვი საკმაოდ მდგრადია და არც მაღალი ტემპერატურა, არც წნევა, არც ელექტრომაგნიტური ველი ელემენტებს არ გარდაქმნის და არ ახდენს გავლენას რადიოაქტიური დაშლის სიჩქარეზე.

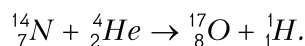
რეზერფორდმა ივარაუდა, რომ ბირთვის დაშლის ან გარდაქმნისათვის საჭიროა ძალიან დიდი ენერგია. იმ დროისათვის ენერგიის განსაკუთრებული კონცენტრირებული წყარო იყო რადიოაქტიური დაშლის დროს ბირთვებიდან გამოტყორცნილი  $\alpha$ -ნაწილაკების ენერგია.



2. თქვენი აზრით, რა მოხდება თუ  $\alpha$ -ნაწილაკი შეიჭრება სხვა ელემენტის ბირთვში?

პირველი ბირთვი, რომელიც ხელოვნურად იქნა გარდაქმნილი იყო აზოტის ბირთვი  ${}^{14}_7N$ .

რადიუმის მიერ გამოსხივებული დიდი ენერგიის  $\alpha$  ნაწილაკებით აზოტის ბომბარდირებისას რეზერფორდმა აღმოაჩინა წყალბადის ატომის ბირთვები — პროტონები. პრეპარატის მიერ გამოსხივებული 50 000  $\alpha$ -ნაწილაკიდან ერთი ჩაიჭირება აზოტის ბირთვით, რაც იწვევს აზოტის ბირთვის გარდაქმნას ჟანგბადის იზოტოპის ბირთვად და პროტონის გამოტყორცნას:



შემდეგ, სხვა მკვლევარებმა აღმოაჩინეს მსუბუქი ბირთვების — ფტორის, ნატრიუმის, ალუმინის და სხვა ბირთვების გარდაქმნები  $\alpha$ -ნაწილაკების მოქმედებით. მძიმე ბირთვები  $\alpha$ -ნაწილაკების ზემოქმედებით გარდაქმნას არ განიცდიან.



3. თქვენ როგორ ფიქრობთ, რატომ არ განიცდიდა დიდი მასური რიცხვის ელემენტების ბირთვები გარდაქმნას  $\alpha$ -ნაწილაკების მოქმედებით?

**პროტონი (სიმბოლო  $p$ ) ელემენტარული ნაწილაკია.**

შეახსენეთ მოსწავლეებს: ვთქვათ, გვაქვს ელემენტი  ${}^A_ZX$ , რომელიც აღნიშნულია საყოველთაოდ მიღებული სიმბოლოთი ისევე, როგორც ქიმიაში. ამ აღნიშვნაში  $Z$  პროტონების რაოდენობა – ატომური ნომერია, ხოლო  $A$  – მასური რიცხვი.

ბირთვული რეაქციების მიმდინარეობისას სრულდება ( $Z$ ) მუხტისა და ( $A$ ) ნუკლონების რაოდენობის მუდმივობის კანონები.

→ 2. მოუსმინეთ მოსწავლეებს. შემდეგ გააგრძელეთ გაკვეთილის მიხედვით.

→ 3. დიდი მასური რიცხვის ელემენტების ბირთვების დიდი ელექტრული მუხტი არ აძლევს  $\alpha$ -ნაწილაკებს ბირთვთან მჭიდროდ მიახლოების საშუალებას.

## ელემენტარული ნაწილაკების აღმოჩენა. ნეიტრონი, პოზიტრონი, ანტინეიტრონი

3.5

1920 წელს რეზერფორდმა იწინასწარმეტყველა ატომის ბირთვში ნეიტრალური ნაწილაკის არსებობა, რომლის მასა დაახლოებით პროტონის მასის ტოლი უნდა ყოფილიყო. ამ ჰიპოთეტურ ნაწილაკს რეზერფორდმა ნეიტრონი უწოდა.

1928 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა პოლ დირაკმა იწინასწარმეტყველა ელექტრონის ორეულის პოზიტრონის არსებობა.

1930 წელს პაულმა იწინასწარმეტყველა ნეიტრინოს (სიმბოლო  $\nu$ ) არსებობა.

1932 წელს რეზერფორდის მოწაფემ დ. ჩედვიკმა აღმოაჩინა ნეიტრონი (სიმბოლო  $n$ ).

ჩედვიკი ატარებდა ცდებს: **იკვლევდა ბერილიუმის გამოსხივების თვისებებს, რომელიც წარმოიშობოდა  $\alpha$ -ნაწილაკებით ბერილიუმის ბომბარდირებისას.**



1. გაიხსენეთ რა აღმოაჩინა რეზერფორდმა  $\alpha$ -ნაწილაკებით აზოტის ბომბარდირებისას.

ჩედვიკმა დაადგინა,  $\alpha$ -ნაწილაკებით ბერილიუმის ბომბარდირებისას ბერილიუმიდან გამოდის ელექტრულად ნეიტრალური ნაწილაკები, რომელთა მასა დაახლოებით პროტონის მასის ტოლია. ჩედვიკის ცდები ნეიტრონის არსებობის დამადასტურებელია.

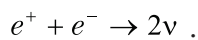
თანამედროვე გაზომვებით დადგენილია თავისუფალი ნეიტრონის მასაა

$$m_n = 1,6749286 \times 10^{-27} \text{ კგ} = 1,008664902 \text{ მ.ა.ე.} = 939,56563 \text{ მგევ.}$$

პროტონის მასა 0,2%-ით ნაკლებია ნეიტრონის მასაზე.

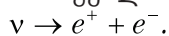
1932 წელს კ. ანდერსონმა კოსმოსურ სხივებში აღმოაჩინა პოზიტრონი, პოზიტრონის მასა ზუსტად დაემთხვა ელექტრონის მასას, მისი მუხტი ელექტრონის მუხტის მოდულს, აღმოჩენილი იქნა პირველი **ანტინაწილაკი — პოზიტრონი.**

დირაკმა ისიც ივარაუდა, რომ, ელექტრონისა და პოზიტრონის დაჯახებისას მოხდება ანიჰილაცია — ორივე ნაწილაკი გაქრება და დიდი ენერგიის ფოტონები გაჩნდება. პოზიტრონისა და ელექტრონის ანიჰილაცია შემდეგნაირად მიმდინარეობს



პოზიტრონი ან დადებითი ელექტრონი-ელექტრონის ანტინაწილაკია, მისი მასა ელექტრონის მასის ტოლია, მუხტი ელექტრონის მუხტის მოდულის ტოლი, მისი სიმბოლოა  $e^+$ .

ენერგიის მუდმივობის კანონის შესაბამისად, უმეტეს შემთხვევაში ორი ფოტონი წარმოიქმნება. თითოეული ფოტონის ენერგია უნდა იყოს 0,51 მგევ — ე. ი. ელექტრონის უძრაობის ენერგიის ტოლი. დიდი ენერგიის ფოტონის ბირთვთან დაჯახებისას პოზიტრონ-ელექტრონის წყვილი წარმოიქმნება:



ეს ენერგიის მასად გარდაქმნის ერთ-ერთი მაგალითია.

ელექტრონ-პოზიტრონის წყვილი შეიძლება  $\beta$  დაშლის დროსაც წარმოიქმნას. ამ დროს პოზიტრონთან ერთად ნეიტრინოც ჩნდება.

სტანდარტთან კავშირი

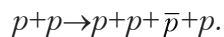
არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას.

→ 1. α-ნაწილაკებით აზოტის ბომბარდირებისას 1919 წელს რეზერფორდმა აღმოაჩინა პროტონი.

პოზიტრონის აღმოჩენისთანავე ბევრმა ფიზიკოსმა ჩათვალა, რომ უნდა არსებობდეს პროტონის ანტინაწილაკი ანტიპროტონი, ან უარყოფითი პროტონი (სიმბოლო  $\bar{p}$ ). ივარაუდეს, რომ ანტიპროტონი უნდა წარმოქმნილიყო ბირთვის ისეთი პროტონებით ბომბარდირებისას რომელთა კინეტიკური ენერგია  $6 \cdot 10^{10}$  ევ-ია. ანტიპროტონის წარმოქმნის ერთ-ერთ რეაქციას ასეთი სახე აქვს:



ამ შემთხვევაში ენერგია უშუალოდ გარდაიქმნება უძრაობის მასაში და წყვილის პროტონისა და ანტიპროტონის კინეტიკურ ენერგიად.

ჰიპოთეზის მართებულების შესამოწმებლად საჭირო ენერგიის მისაღებად აშშ-ი ააგეს იმ დროისათვის გიგანტური ამაჩქარებელი, რომლის მეშვეობით პროტონების მიანიჭეს საჭირო  $6,2 \cdot 10^{10}$  ევ კინეტიკური ენერგია და ამაჩქარებლის აგებიდან ერთი წლის შემდეგ 1955 წელს მიიღეს პროტონისა და ანტიპროტონის წყვილი.

აღმოჩენილია ანტინეიტრონი. ნებისმიერი ნაწილაკი და მისი ანტინაწილაკი დაჯახებისას ანიჰილაციას განიცდის.

იბადება შეკითხვა, რატომაა რომ წყალბადის ყველა ატომი შედგება დადებითი პროტონისა და უარყოფითი ელექტონისაგან და არა უარყოფითი ანტიპროტონისა და დადებითი პოზიტრონისაგან? წყალბადის ასეთ „შებრუნებულ“ ატომს ანტინწყალბადი ჰქვია, ხოლო ნივთიერებას, რომელიც აგებულია ანტინუკლონებისა და ორბიტული პოზიტრონებისაგან — ანტინივთიერება. სიმეტრიის პრინციპზე დაყრდნობით შეიძლება მოველოდეთ, რომ სამყაროში ყველა ატომის ნახევარი უნდა იყოს ანტინივთიერება. ამის გარეშე ძნელი გასაგებია, რატომ უნდა იყოს გაბატონებული დადებითი მუხტი უარყოფითზე.

არსებობს ჰიპოთეზა, იმის შესახებ, რომ ზოგიერთი გალაქტიკა შედგება ანტინივთიერებისაგან, მაგრამ ამის შესახებ დამაჯარებელი მტკიცებულებები ჯერ-ჯერობით არ არსებობს.

ნეიტრინოს ანტინაწილაკია ანტინეიტრინო, თეორიის თანახმად ფოტონი უნდა ემთხვეოდეს თავის ანტინაწილაკს.



## ნეიტრონის დაშლა. ნეიტრინოს აღმოჩენა



1. როგორ ნაწილაკს უწოდებენ ელემენტარულს?
2. რა არის ნეიტრონი?

3. არის თუ არა ნეიტრონი ელემენტარული ნაწილაკი? ახსენი, რატომ ფიქრობ ასე?

4. რა არის რადიოაქტიურობა?

5. რა ნაწილაკები გამოსხივდება რადიოაქტიური ნივთიერებიდან?

ბ დაშლის დროს ბირთვიდან ელექტრონი გამოიტყორცნება.



6. რისგან შედგება ატომბირთვი? არის ელექტრონი ატომბირთვში?

თუ ბირთვში ელექტრონი არ არის, საიდან გაჩნდა იგი?

ბირთვიდან ელექტრონის გამოტყორცნის შემდეგ ბირთვის მუხტი და, მაშასადამე პროტონების რაოდენობა, ერთით იზრდება. ბირთვის მასური რიცხვი არ იცვლება. ეს ნიშნავს ნეიტრონების რაოდენობის ერთით შემცირებას, ე. ი. β რადიოაქტიური ბირთვების შიგნით ნეიტრონი შეიძლება დაიშალოს პროტონად და ელექტრონად. პროტონი რჩება ბირთვში, ხოლო ელექტრონი გამოიტყორცნება გარეთ. მხოლოდ სტაბილურ ბირთვებშია ნეიტრონები მდგრადი.

ზუსტი ცდებით დადგენილია: ერთნაირი ბირთვების მიერ გამოტყორცნილი ელექტრონების კინეტიკური ენერგია განსხვავებულია. ახლად წარმოქმნილი ბირთვები კი ერთნაირი.



7. თქვენი აზრით, მართებულია თუ არა ფიზიკის ყველაზე ფუნდამენტური კანონი — ენერგიის მუდმივობის კანონი β-გამოსხივებისას? ახსენით რატომ ფიქრობთ ასე?

შექმნილი სიტუაციიდან გამოსავალი იპოვა შვეიცარიელმა ფიზიკოსმა ვ. პაულემ. მან დაუშვა, რომ ნეიტრონის დაშლისას, ელექტრონსა და პროტონთან ერთად ჩნდება კიდევ რაღაც ნაწილაკი — „უჩინარი“, რომელსაც მიაქვს ენერგიის დანაკლისი. ეს ნაწილაკი ძალიან სუსტად ურთიერთქმედებს ნივთიერებასთან და ამიტომ შეუძლია გაიაროს ნივთიერების დიდ სისქეში ისე, რომ არ გამოამჟღავნოს თავი.

ამ ნაწილაკს არა აქვს ელექტრული მუხტი. მაშასადამე, არ შეუძლია ატომის იონიზაცია, ბირთვების გახლეჩა, ე. ი. არ შეუძლია გამოიწვიოს ის ეფექტები, რომელთა მიხედვითაც შეიძლება მსჯელობა ნაწილაკების გაჩენის შესახებ, ამიტომ ხელსაწყოებით არ რეგისტრირდება.

ენრიკო ფერმიმ ამ ნაწილაკს ნეიტრინო უწოდა, რაც „პატარა ნეიტრონს“ ნიშნავს. სხვა ნაწილაკების მსგავსად, ნეიტრინოს (სიმბოლო  $\nu$ ) აქვს ანტინაწილაკი, რომელსაც ანტინეიტრინო (სიმბოლო  $\bar{\nu}$ ) ჰქვია.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას.

1. ელემენტარული ენოდება ნაწილაკს, რომელზედაც ფიქრობენ, რომ განუყოფადია.

2. ნეიტრონი ატომის ბირთვის შემადგენელი ნაწილაკია.

3. მოვუსმინოთ მოსწავლეებს. კომენტარი გაკვეთილის ბოლოს გავაკეთოთ.

4. რადიოაქტიურობა არის ქიმიური ელემენტის ატომგულის თვითნებური დაშლა, რასაც თან სდევს სხვადასხვა ნაწილაკების გამოსხივება.

5. რადიოაქტიული ნივთიერებიდან გამოსხივება  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $\gamma$  სხივები.

6. ატომბირთვი შედგება პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან, ბირთვში ელექტრონები არ არის?

7. რადგან ერთნაირი ბირთვები სხვადასხვა ენერგიის ნაწილაკებს გამოტყორცნიან და ისევ ერთნაირი ბირთვები მიიღება ეს იმას ნიშნავს რომ საწყისი ბირთვის ენერგია საბოლოო ბირთვისა და ელექტრონის ენერგიების ჯამის ტოლი არ არის. ეს ეწინააღმდეგება ენერგიის მუდმივობის კანონს, რაც შეუძლებელია.

თავისუფალი ნეიტრონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა საშუალოდ 15 ნუთია.

თავისუფალი ნეიტრონი თავისთავად იშლება პროტონად, ელექტრონად და გამოსხივდება ანტინეიტრინო:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ .

ნეიტრონის ენერგია ყოველთვის მეტია პროტონისა და ელექტრონის ენერგიათა ჯამზე.

ჭარბი ენერგია მიაქვს ანტინეიტრინოს.

თეორიამ იწინასწარმეტყველა, რომ პროტონში ანტინეიტრინოს მოხვედრისას წარმოიქმნება პოზიტრონი და ნეიტრონი:

$$p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+.$$

ასეთი პროცესის ალბათობა ძალიან მცირეა ანტინეიტრინოს უდიდესი შეღწევადობის გამო. მიუხედავად დიდი სიძნელეებისა ნეიტრინოს და ანტინეიტრინოს არსებობა ექსპერიმენტის მეშვეობით არაპირდაპირი გზით იქნა დასაბუთებული იმ სიცხადით, რომელიც საერთოდ შესაძლებელია ელემენტარული ნაწილაკების სამყაროში. დასაბუთებულია ნეიტრონი მხოლოდ ბირთვებშია სტაბილური. თავისუფალი ნეიტრონი იშლება: პროტონად, ელექტრონად და ანტინეიტრინოდ.



8. თქვენი აზრით: ელემენტარული ნაწილაკია თუ არა ნეიტრონი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

თავისუფალი ნეიტრონის მასა მეტია თავისუფალი პროტონისა და ელექტრონის მასათა ჯამზე. შესაბამისად ნეიტრონის სრული ენერგია მეტია პროტონისა და ელექტრონის ენერგიათა ჯამზე. ჭარბი ენერგიის გამო თავისუფალი ნეიტრონი არამდგრადია. ვინაიდან ანტინეიტრინო არსებობს მხოლოდ სინათლის სიჩქარით წრფივად მოძრაობისას, ამიტომ მას ნეიტრონის შიგნით ყოფნა არ შეუძლია. ნეიტრონის დაშლის დროს გამოყოფილ პროტონსა და ელექტრონს კი შეუძლია შექმნას მდგრადი სისტემა — წყალბადის ატომი.

მივიღეთ, ნეიტრონის დაშლა წარმოადგენს გარდაქმნას ელემენტარული ნაწილაკების სამყაროში და არა რთული სისტემის შემადგენელ ნაწილებად დაშლას. ნეიტრონის „შიგნით“ პროტონი, ელექტრონი და ანტინეიტრინო არ არის. ისინი იბადებიან დაშლის მომენტში. ამიტომ, ამ თვალსაზრისით ნეიტრონი ითვლება ელემენტარულ ნაწილაკად. ასეა საქმე სხვა ნაწილაკების შემთხვევაშიც, რომლებიც დროის განსაზღვრულ ინტერვალს ცოცხლობენ.

მაგალითად, მიუ-მეზონი, რომელიც იშლება ელექტრონად და ორ ნეიტრონად:

$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$ , არ შედგება ამ ნაწილაკებისაგან, ისინი იბადებიან დაშლის მომენტში. ამ თვალსაზრისით მიუ-მეზონი ითვლება ელემენტარულ ნაწილაკად.

### დავალება

მოიპოვეთ ინფორმაცია ნეიტრონისა და ნეიტრინოს აღმოჩენის შესახებ, ისაუბრეთ სირთულეებზე, რომელთა გადალახვა გახდა საჭირო მათ აღმოსაჩენად.

8. პასუხი სახელმძღვანელოშია გაცემული.

სტანდარტთან კავშირი

კვლ. 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;

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

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას;

## რა და როგორ ისწავლეთ. შეამოწმათ თქვენი ცოდნა

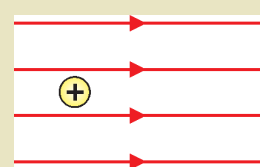
3.7

**ამაჩქარებელი** — მოწყობილობა, რომლის მეშვეობით შეიძლება დიდი ენერგიის ნაწილაკების მიღება



1. რა მოხდება თუ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში უძრავ პროტონს გაათავისუფლებთ (სურ. 49.1)?

2. ვთქვათ, პროტონის მასაა  $m$ , მუხტი  $q$ , ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული  $E$ . განსაზღვრეთ პროტონის აჩქარება.



სურ. 49.1

თუ თქვენ სწორად შეასრულეთ მოქმედებები მიიღებთ  $a = q \frac{E}{m}$ . (1)



3. ასრულებს თუ არა ელექტრული ველი მუშაობას პროტონის გადაადგილებაზე? პასუხები დაასაბუთეთ.

4. როგორ იცვლება პროტონის კინეტიკური ენერგია? პასუხი დაასაბუთეთ.

ელექტრული ველის მიერ პროტონის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობა  $A=qU$ , (2) პროტონის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია.

ე. ი.  $\frac{mv^2}{2} = qU$ , (3) სადაც  $U=Ed$  (4)  $d$  მანძილით დაშორებულ ორ წერტილს შორის დაბვაა.

$$(4) \rightarrow (3) \rightarrow \frac{mv^2}{2} = qEd. \quad (5)$$

(5)  $\Rightarrow$  დამუხტული ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიის გასადიდებლად საჭიროა ნაწილაკმა რაც შეიძლება მეტი მანძილი გაიაროს ძლიერ ელექტროსტატიკურ ველში.

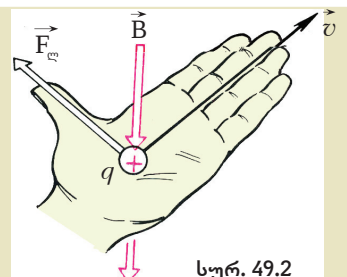
განასხვავებენ წრფივ და ციკლურ ამაჩქარებლებს. ორივეში დამუხტული ნაწილაკების აჩქარება გამოწვეულია ელექტრილი ველის მოქმედებით, ოღონდ პირველში ნაწილაკები მოძრაობენ წრფივ, მეორეში მრუდწირულ ტრაექტორიაზე.

მრუდწირულ ტრაექტორიაზე დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა განპირობებულია მაგნიტური ველში მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალით.



5. რა არის ლორენცის ძალა? როგორ განისაზღვრება მისი მოდული?

6. 49.2 სურათის მიხედვით ჩამოაყალიბეთ ლორენცის ძალის მიმართულების განსაზღვრის წესი.



სურ. 49.2

დავადგინოთ, როგორ იმოძრავენ  $q_0$  მუხტის ნაწილაკი, თუ იგი  $\vec{v}$  სიჩქარით

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.7. მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაციას.

ამ პარაგრაფში ვიხსენებთ ყველა იმ საკითხს, რომელიც გვეხმარება შემდეგი მასალის შეგნებულად შესწავლაში.

1. პროტონი დაინყებს აჩქარებულ მოძრაობას ველის მიმართულებით.

2. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად  $a = \frac{F}{m}$ . (1') სადაც  $F=qE$ . (2')

ელექტრულ ველში მოთავსებული მუხტზე მოქმედი ძალაა.  $(2') \rightarrow (1') \Rightarrow a = \frac{qE}{m}$ . (\*)

3,4. რადგან ელექტრული ველის მოქმედებით პროტონები ველის მიმართულებით გადაადგილდება, ამიტომ ელექტრული ველი ასრულებს დადებით მუშაობას. პროტონების კინეტიკური ენერგია იზრდება.

5. ლორენცის ძალა მაგნიტურ ველში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედი ძალაა. მისი მოდული განისაზღვრება ფორმულით  $F=qvB\sin\alpha$ , სადაც  $q$  არის ნაწილაკის მუხტი,  $v$  — ნაწილაკის სიჩქარის მოდული,  $B$  — მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული,  $\alpha$  — კუთხე,  $\vec{v}$ -სა და  $\vec{B}$ -ს შორის.

6. თუ მარცხენა ხელს ისე მოვათავსებთ, რომ,  $\vec{B}$  ვექტორის მუხტის სიჩქარისადმი მართობი მდგენელი ხელის გულში შედიოდეს, ოთხი თითი კი მიმართული იყოს დადებითი მუხტის მოძრაობის მიმართულებით, მაშინ  $90^\circ$ -ით გაშლილი ცერი გვიჩვენებს მუხტზე მოქმედი  $\vec{F}_L$  ლორენცის ძალის მიმართულებას.

შეიჭრა  $\vec{B}$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად.

მაგნიტური ველი ნაწილაკზე მოქმედებს  $F_{\text{ლ}} = |q_0|vB$  (1) ლორენცის ძალით.

ლორენცის ძალა მართობია  $\vec{v}$  და  $\vec{B}$  ვექტორებისა, ამიტომ არ ცვლის სიჩქარის მოდულს. (1)  $\Rightarrow$  უცვლელი რჩება ლორენცის ძალის მოდულიც.

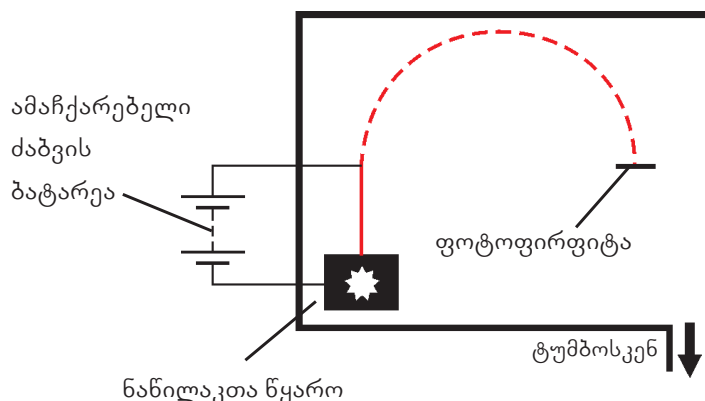
ძალა, რომლის მოდული არ იცვლება და სიჩქარის მართობულად მოქმედებს, ნაწილაკს ანიჭებს მოდულით მუდმივ ცენტრისკენულ  $a = \frac{v^2}{R}$  (2) აჩქარებას. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ნაწილაკი მოდულით მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს  $R$  რადიუსიან წრეწირზე. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად,  $F_{\text{ლ}} = ma$ . (3)

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow |q_0|vB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q_0|B}. \quad (4)$$

$$(4) \Rightarrow \frac{|q_0|}{m} = \frac{v}{RB}. \quad (5)$$

ნაწილაკის მუხტის შეფარდებას მის მასასთან ნაწილაკის კუთრი მუხტი ეწოდება. იგი ექსპერიმენტულად განისაზღვრება ხელსაწყოთი, რომელსაც **მას-სპექტროგრაფი** ჰქვია.

50.1 სურათზე გამოსახულია მას-სპექტროგრაფის პრინციპული სქემა. ხელსაწყოს ვაკუუმიანი კამერა მოთავსებულია  $\vec{B}$  ინდუქციის მაგნიტურ ველში, რომელიც სურათის სიბრტყის მართობია, ელექტრული ველით აჩქარებული დამუხტული ნაწილაკები შედიან მაგნიტურ ველში, მოძრაობენ წრეწირის რკალზე და ეცემიან ფოტოფირფიტაზე, სადაც ტოვებენ კვალს. კვალის მეშვეობით დიდი სიზუსტით ზომავენ ნაწილაკის მოძრაობის სიმრუდის  $R$  რადიუსს. შემდეგ კი ნაწილაკის კუთრი მუხტს.



სურ. 50.1

### დავალება

გაიხსენეთ, ატომში დადებითი მუხტის განაწილების შესახებ ტომსონის ჰიპოთეზის შესამოწმებლად ჩატარებული რეზერფორდის ცდები.



## ამაჩქარებლები

ელექტრონების ერთ-ერთ ამაჩქარებელს რომელიც ალბათ ყველა ოჯახშია, სისტემატურად ვიყენებთ.



1. შეეცადეთ დაასახელოთ ეს ამაჩქარებელი.

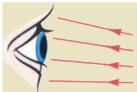
ეს ამაჩქარებელი ტელევიზორია. მასში აჩქარებული ელექტრონების კინეტიკური ენერგია 20კეV-ს აღწევს. ელექტრონების ეს ენერგია საკმარისია დაჯახებისას ტელევიზორის ეკრანის ასანთებად და გამოსახულების მისაღებად.



2. რა არის ელექტრონვოლტი? 1 კეV?

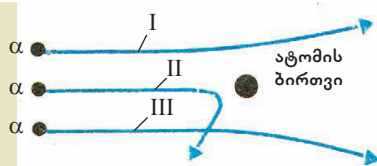
3. რომელ დამუხტულ ნაწილაკებს იყენებდა რეზერფორდი ატომის აგებულების დასადგენად? როგორ მოიპოვებდა ამ ნაწილაკებს?

რადიუმის მიერ გამოსხივებული  $\alpha$ -ნაწილაკების სიჩქარე დაახლოებით სინათლის სიჩქარის  $1/15$  ნაწილამდეა. 1 გ რადიუმი 1 წამში ასხივებს დაახლოებით  $3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -ნაწილაკს, თითოეულის ენერგია 2-დან 8 მეგეV-ა.



კიდევ ერთხელ დაუკვირდით 51.1 სურათს.

სურ. 51.1.



რეზერფორდის ცდაში იშვიათად, მაგრამ მაინც შეამჩნიეს ისეთი შემთხვევებიც, როდესაც ცალკეული  $\alpha$ -ნაწილაკების გაბნევის კუთხე მართ კუთხეს აღემატებოდა, მაგრამ არ დაფიქსირებულა  $\alpha$ -ნაწილაკის შეჭრა დიდი მასის ატომბირთვში.

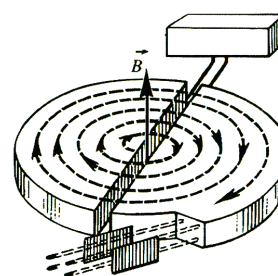


4. როგორ ფიქრობთ, რეზერფორდის ცდებში რატომ ვერ შეიჭრა  $\alpha$ -ნაწილაკი ატომბირთვში?

5. როგორ მოვიქცეთ დიდი მასის ატომბირთვის გამოსაკვლევად — ელემენტარული ნაწილაკია ატომბირთვი თუ არის მასში სხვა ნაწილაკები?

დიდი ენერგიის დამუხტული ნაწილაკების მისაღებად შეიქმნა ამაჩქარებლები. პირველ ამაჩქარებელში იყენებდნენ რამდენიმე მილიონი ვოლტის ელექტროსტატიკურ ველს. ამჟამად ძირითადად გამოყენებულია ცვლადი ელექტრული ველი. ნაწილაკების აჩქარებას ახორციელებენ სხვადასხვაგვარ ნრფივ და ციკლურ ამაჩქარებელში.

განვიხილოთ პროტონების,  $\alpha$ -ნაწილაკების და იონების ამაჩქარებლის-ციკლოტრონის მოქმედების პრინციპი. ამ დანადგარის მოქმედება დამყარებულია ნაწილაკების მრავალჯერად აჩქარებაზე, ნაწილაკები მოძრაობენ სპირალზე (სურ. 51.2)



სურ. 51.2

სტანდარტთან კავშირი

**არჩ.ფიზ.XII.7.** მოსწავლეს შეუძლია ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია და მათი ურთიერთქმედებების აღწერა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიპოვებს და აანალიზებს ინფორმაციას თანამედროვე ამაჩქარებლების მუშაობის პრინციპის შესახებ.

→ 2. ენერგია, რომელსაც შეიძენს ელექტრონი ელექტრულ ველში მოძრაობისას როდესაც გადავა, ერთი წერტილიდან მეორეში, რომლის პოტენციალი 1 ვ-ით უფრო მაღალია. ცნობილია, 1 ელექტრონ ვოლტის (1 ევ) სახელწოდებით,  $1 \text{ ევ} = 10^{-19} \text{ ევ}$ .

3. ატომის აგებულების დასადგენად რეზერფორდი იყენებდა რადიუმის დაშლის შედეგად გამოსხივებულ  $\alpha$ -ნაწილაკებს. იმ დროისათვის სხვა დამუხტულ ნაწილაკებს შორის  $\alpha$ -ნაწილაკების ენერგია იყო უდიდესი.

→ 4.5.  $\alpha$ -ნაწილაკების ენერგია არ არის საკმარისი ბირთვში შესაჭრელად. უნდა გამოვიყენოთ  $\alpha$ -ნაწილაკებზე დიდი ენერგიის ნაწილაკები.

აჩქარებული ნაწილაკები მოძრაობენ ოდნავ დაშორებული ორ ნახევარ-ცილინდრში. ნახევარცილინდრებს ლათინური  $D$  ასოს ფორმა აქვთ, ამიტომ მათ „დუანტები“ დაარქვეს (სურ. 131.2). ნაწილაკების სიჩქარის გადიდება ხდება დუანტებს შორის ღრეჩოში, რომელშიც მაღალი სიხშირის გენერატორის მეშვეობით იქმნება ცვლადი ძაბვა, რომლის ამპლიტუდა  $10^5$  ვ რიგისაა.

მაგნიტური ველის ინდუქცია იონის სიჩქარის მართობია.

დავუშვათ, დუანტების შუა წერტილის მახლობლად ღრეჩოში დადებითი იონები იმ დროს გამოჩნდნენ, როდესაც მარცხენა 1 დუანტს უარყოფითი მაქსიმალური პოტენციალი აქვს. მაშინ იონები ამ დუანტებისკენ გადაადგილდებიან და მასში შეიჭრებიან მაგნიტური ველის ინდუქციის მართობულად.



6. როგორ ტრაექტორიაზე დაიწყებს მოძრაობას დუანტში დამუხტული ნაწილაკები? შეიცვლება თუ არა მისი სიჩქარის მოდული? პასუხი დაასაბუთეთ.

დუანტის შიგნით ნაწილაკები ნახევარწრეწირს შემოწერენ და დროის  $T/2$  მომენტში ( $T$  დუანტებს შორის ძაბვის ცვლილების პერიოდია) ისევ დუანტებს შორის ღრეჩოსთან აღმოჩნდებიან. ამ მომენტში ღრეჩოში ძაბვა მოდულით ისეთივე გახდება, როგორიც პირველი აჩქარების დროს იყო, მაგრამ მიმართულებით საპირისპირო იქნება. ასეთ ველში ნაწილაკები ისევ აჩქარდებიან.  $D_2$  დუანტში მეტი სიჩქარით შეიჭრებიან, უფრო დიდი რადიუსის ნახევარ წრეწირს შემოწერენ და ღრეჩოსთან, მაშინ აღმოჩნდებიან როდესაც ძაბვა პირვანდელის ტოლი გახდება. ღრეჩოში ნაწილაკების ენერგია კვლავ გაიზრდება. ნაწილაკები მოძრაობენ სპირალზე (სურ. 131.2). დუანტის გამოსასვლელთან ათავსებენ მინის ფირფიტებს, რომელზედაც რამდენიმე ათეული ათასი ვოლტი მუდმივა ძაბვაა მოდებული, აჩქარებული ნაწილაკების კონა გადაიხრება და გადავა კამერაში, სადაც სამიზნეა მოთავსებული. ციკლოტრონის მეშვეობით 1 წამში დაახლოებით  $3 \cdot 10^{13}$  ნაწილაკს იღებენ. რომელთა ენერგია 100 მგევ-ის რიგისაა.



7. შეადარეთ ციკლოტრონში 1 წმ-ში მიღებული ნაწილაკების რაოდენობა და თითოეული ნაწილაკის ენერგია  $\alpha$ -ნაწილაკებისას, რომელსაც ბუნებრივად ასხივებდა რადიოაქტიური რადიუმი.

8. ივარაუდეთ,  $10^{10}$  ევ ენერგიის ნაწილაკის მისაღებად რამდენ ბრუნს ასრულებს და რა მანძილს გადის ნაწილაკები ციკლოტრონში.

ტექნოლოგიური პროცესების განვითარებამ შესაძლებელი გახადა შექმნილიყო ამაჩქარებლები სინქროტრონი, სინქროფაზოტრონი, ტევატრონი, რომელთა მეშვეობით მიღებული ნაწილაკების ენერგია ძალიან დიდია, ერთ-ერთ ყველაზე მძლავრ ამაჩქარებლებელში აშშ-ი — ტევატრონში — აჩქარებული პროტონების ენერგია 1 ტევ-ა ( $1 \text{ ტევ} = 1000 \text{ გევ} = 10^{12} \text{ ევ}$ ). ურთიერთქმედი ნაწილაკების ენერგიის გასადიდებლად შეიქმნა ამაჩქარებლები, რომლებშიც ურთიერთქმედი ნაწილაკების კონებს ერთმანეთის შესახვედრად ამოძრავებენ. მეცნიერთა აზრით ეს ამაჩქარებლების განვითარების საუკეთესო გზაა.

შვეიცარიაში, ჟენევისთან ევროპის ბირთვულ კვლევათა ცენტრში (CERN), ამუშავდა მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი ამაჩქარებელი — დიდი ადრონული კოლაიდერი (LHC).

→ 6. დუანტში დამუხტული ნაწილაკი შემოწერს წრეწირის რკალს, რომლის რადიუსი ნაწილაკის სიჩქარეზეა დამოკიდებული. დუანტში მოძრაობისას სიჩქარის მოდული არ იცვლება, რადგან მასზე მოქმედი ლორენცის ძალა მუშაობას არ ასრულებს.

→ 7. ციკლოტრონში 1 წმ-ში 240 ჯერ მეტი ნაწილაკი მიიღება, თითოეულის ენერგია 21-ჯერ მეტია.

8. ასეთი ენერგიის მისაღებად ნაწილაკი ასრულებს დაახლოებით 4,5 მილიონ ბრუნს და გადის ერთ მილიონ კილომეტრამდე მანძილს.

ურთიერთსაპირისპიროდ მოძრავი პროტონების ენერგია დღეისათვის  $4\text{ტეე} + 4\text{ტეე} = 8\text{ტეე}$  შეადგენს. დაგეგმილია ენერგიის გაზრდა  $7\text{ტეე} + 7\text{ტეე}$  სიდიდემდე. ამაჩქარებელი მიწისქვეშ  $\approx 27$  კმ სიგრძის გვირაბში მდებარეობს, პროტონების ნაკადის წრენიზე მოძრაობას და ფოკუსირებას უზრუნველყოფს ზეგამტარი მაგნიტები. ზეგამტარი მდგომარეობის შენარჩუნებას — ძალიან დაბალ  $1,9\text{K}$  ტემპერატურას უზრუნველყოფს »96ტონა თხევადი ჰელიუმი. პროტონების ორი ნაკადი ურთიერთსაპირისპიროდ მოძრაობს მაგნიტების შიგნით განლაგებულ ორ პარალელურ ვაკუუმურ მილში. დაჯახება ხდება ოთხ წერტილში. თითოეული წერტილის ირგვლივ განლაგებულია ოთხი დიდი ექსპერიმენტული დანადგარი *PP* ურთიერთქმედების შესასწავლად.

რისთვისაც გახდა საჭირო ასეთი დიდ ენერგიებამდე პროტონების აჩქარება?

ასეთი დიდი ენერგია საჭირო ხდება ე. წ. სტანდარტული მოდელით ნაწინასწარმეტყველები ჰიგსის ნაწილაკის აღმოსაჩენად. სტანდარტულ მოდელში, რომელიც ფუნდამენტური ნაწილაკების თანამედროვე თეორიაა, ჰიგსის ნაწილაკით ხდება ყველა დანარჩენი ელემენტარული ნაწილაკებისათვის მასის „მინიჭება“. თვითონ ჰიგსის ნაწილაკის მასა  $\approx 140$  გეე უნდა იყოს.

*LHC*-ზე პირველი *PP* დაჯახებებით განხორციელდა მარტში 2010 წელს.

2012 წელი ივლისი — ექპერიმენტატორებმა ერთობლივად განაცხადეს, რომ ჰიგსის ნაწილაკი აღმოჩენილია (8 ცალი).

დღეისათვის დაფიქსირებული რაოდენობა არ იძლევა საშუალებას ჰიგსის ნაწილაკის თვისებების დასადგენად. საჭიროა სტატისტიკის გაზრდა. ეს დაგეგმილია 2013 წლის ზაფხულში. ამის შემდეგ *LHC* გაჩერდება 2 წლით და მოხდება მისი განახლება ენერგიის და ინტენსივობის გასაზრდელად.



## 3.9

## შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

## ამოხსენით ამოცანები

- $^{27}_{13}\text{Al}$  ბირთვის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის დროს წარმოიქმნება რადიოაქტიური იზოტოპი  $^{24}_{11}\text{Na}$ . კიდევ რა ნაწილაკი გამოსხივდება? დაწერეთ ბირთვული რეაქცია.
- $^{24}_{11}\text{Na}$  რადიოაქტიურია ასხივებს ელექტონებს, რომელი ბირთვი წარმოიქმნება ნატრიუმის დაშლისას?
- სწრაფად მოძრავი პროტონებით ბორის იზოტოპის  $^{11}_5\text{B}$  დაბომბვისას მიიღეს სხვადასხვა მხარეს მიმართული სამი ერთნაირი ნაწილაკი, დაწერეთ რეაქცია. დაასახელეთ ეს ნაწილაკები.
- დიდი მასური რიცხვის ელემენტებში იწვევს თუ არა ბირთვულ რეაქციებს რადიოაქტიური პრეპარატების მიერ გამოსხივებული  $\alpha$ -ნაწილაკები. ახსენით, რატომ?
- ატომის ბირთვმა ელექტრონი შთანთქა. როგორ შეიცვლება ელემენტის რიგითი ნომერი და მასური რიცხვი?
- უმნიშვნელო კინეტიკური ენერგიის ელექტრონისა და პოზიტრონის ანიჰილაციისას ორი ერთნაირი ფოტონი წარმოიქმნა. განსაზღვრეთ ფოტონის ტალღის სიგრძე.

## ტესტი

- რეზერფორდის მიერ ჩატარებული პირველი ბირთვული რეაქციისას  $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + x$  ჟანგბადთან ერთად წარმოიქმნა  
ა. ფოტონი; ბ.  $\alpha$ -ნაწილაკი; გ. ელექტრონი; დ. პროტონი; ე. ნეიტრონი.
- აზოტის იზოტოპის  $^{14}_7\text{N}$  ნეიტრონებით დაბომბვისას წარმოიქმნა ბორის იზოტოპი  $^{11}_5\text{B}$  და  
ა. ელექტრონი; ბ. პროტონი; გ.  $\alpha$ -ნაწილაკი; დ. ნეიტრონი; ე. ორი პროტონი.
- ნელა მოძრავი ელექტრონისა და პოზიტრონის ანიჰილაციისას წარმოიქმნება  
ა. ორი ელექტრონი; ბ. ელექტრონი და ფოტონი; გ. ორი პოზიტრონი; დ. ერთი ფოტონი; ე. ორი ფოტონი.
- თერმობირთვული რეაქციისას წყალბადის ორი იზოტოპის  $^2_1\text{H}$  და  $^3_1\text{H}$  შეერთებისას წარმოიქმნა  $^4_2\text{He}$  ბირთვი და  
ა. ელექტრონი; ბ. პროტონი; გ. ნეიტრონი; დ.  $\alpha$ -ნაწილაკი; ე. ფოტონი.

1.  ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_0^1n \rightarrow {}_{11}^{24}\text{Na} + {}_2^4\text{He}$ ; გამოსხივდება  $\alpha$ -ნაწილაკი.

2. წარმოიქმნება  ${}_{12}^{24}\text{Mg}$  მაგნიუმის ბირთვი.

3.  ${}_{5}^{11}\text{B} + {}_1^1\text{H} \rightarrow 3 {}_2^4\text{He}$ ;  $\alpha$ -ნაწილაკები.

4. არა. რადიოაქტიური ნივთიერებების მიერ გამოსხივებული  $\alpha$ -ნაწილაკების ენერგია არ არის საკმარისი, რომ დაძლიოს დიდი მასური რიცხვის ელემენტის ბირთვის განზიდვის ძალა და შეაღწიოს შიგნით.

5. რიგითი ნომერი ერთით შემცირდება, მასური რიცხვი არ შეიცვლება.

6. ელექტრონისა და პოზიტრონი სრული ენერგია  $E_1 = 2m_e c^2$ . (1)

ანიჰილაციისას იგი გარდაიქმნება ფოტონების ენერგიად. ფოტონის ენერგია

$$E_{\text{ფოტ}} = h \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_{\text{ფოტ}}}. \quad (2) \quad E_{\text{ფოტ}} = \frac{E_1}{2}. \quad (3)$$

$$(1), (2) \wedge (3) \Rightarrow \lambda = \frac{h}{m_e c}. \quad \mapsto \gg (*): \quad \lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ.წმ}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ კგ} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}} = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ მ}.$$

ტესტის სწორი პასუხები

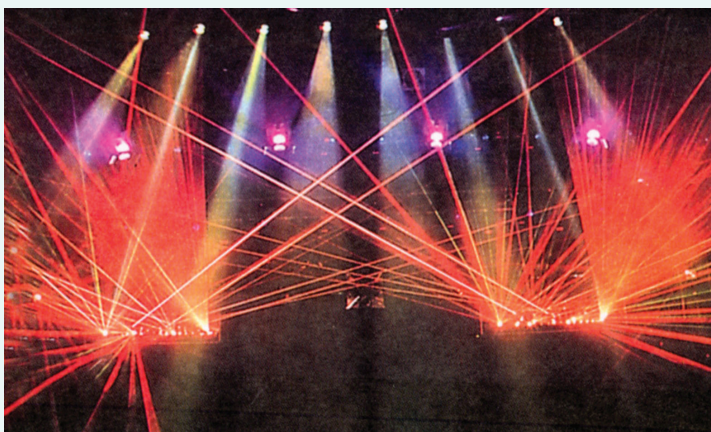
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| დ | ბ | ე | ბ |

## IV თავი.

### ფიზიკის ბანკითარების მნიშვნელობა

#### ამ თავში გაიხსენებთ და გაეცნობით

- ❖ მოიპოვოთ ინფორმაცია იმ ტექნოლოგიური პროცესების შესახებ, რომლებიც განიცადა მორზეს აპარატმა მობილურ ტელეფონამდე;
- ❖ გაეცნოთ ლაზერს. მის მეცნიერულ და პრაქტიკულ მნიშვნელობას;
- ❖ შეძლოთ ფიზიკის თანამედროვე მიღწევებზე დაყრდნობით მოამზადოთ რეფერატი სამყაროს ერთიანი სურათის შესახებ.



### გაეცანით

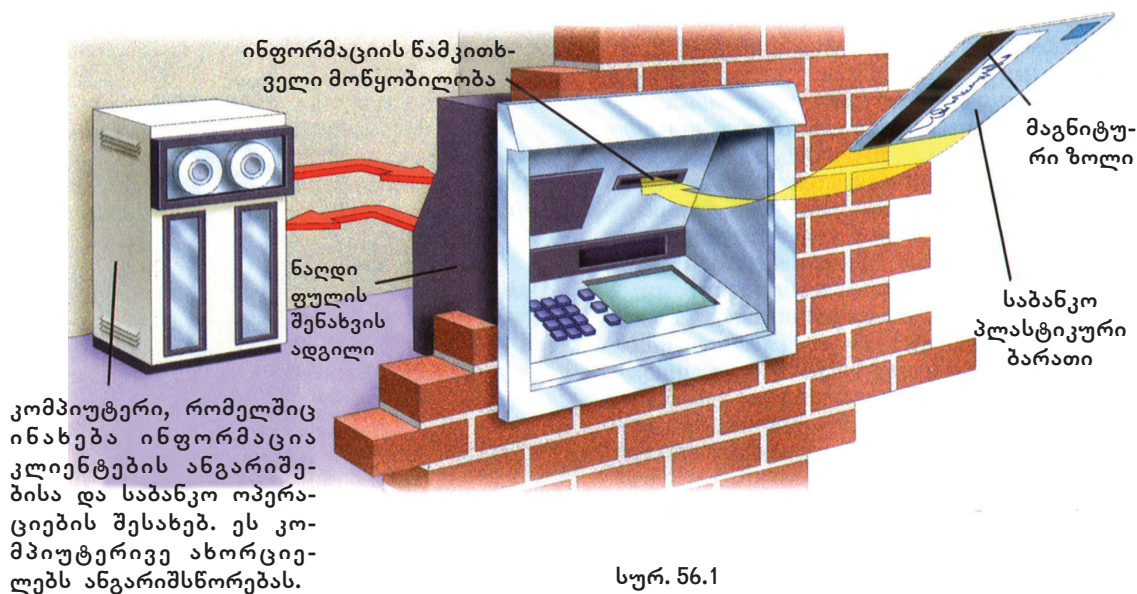
ტექნოლოგიური პროცესების განვითარებამ შესაძლებელი გახადა შექმნილიყო ეგრეთ წოდებული სმარტ-ტექნოლოგიები.

სმარტ-ტექნოლოგიები ეფუძნება მიკროპროცესორების გამოყენებას. ამ ტექნოლოგიის დახმარებით ინარმოება მოწყობილობები, რომლებსაც შეუძლიათ ინფორმაციის მიღება და დამუშავება, ხოლო ინფორმაციის დამუშავების საფუძველზე — გადაწყვეტილების მიღება და გარკვეული მოქმედების შესრულება.

სმარტ-ტექნოლოგიები უფრო და უფრო მკვიდრდება ჩვენს ყოველდღიურ ცხოვრებაში. თანდათან შესაძლებელი ხდება სახლიდან გაუსვლელად გადასახადების გადახდა ან ფულის კონვერტირება მომავალი მოგზაურობის წინ.

სმარტ-ტექნოლოგიები გამოყენებულია ბანკომატებში (სურ. 136.1). ბანკები თავიანთ კლიენტებზე გასცემენ პლასტიკურ ბარათებს მაგნიტური ზოლით, რომელზეც ჩანერილია ინფორმაცია მისი მფლობელის საბანკო ანგარიშის შესახებ. პლასტიკური ბარათის ბანკომატის ღრიჭოში ჩადებისას მანქანა მაგნიტური ზოლიდან კითხულობს ინფორმაციას და მოითხოვს კლიენტის საიდენტიფიკაციო ნომერს (ე.წ. PINკოდს). შემდეგ აკრეფილ კოდს ადარებს კომპიუტერში ჩანერილ კოდს. თუ რიცხვები ერთმანეთს დაემთხვევა, კლიენტი მსოფლიოს ნებისმიერ წერტილში აიღებს ნაღდ ფულს, გადაიხდის ნაყიდი საქონლის ღირებულებას, შეასრულებს ფულად გადარიცხვებს.

სამგზავრო პლასტიკური ბარათების მეშვეობით გამარტივდა მგზავრობის ფულის გადახდა ავტობუსებში.



სურ. 56.1

## ინფორმაცია და კავშირი

ინფორმაციის გადაცემას და ურთიერთკავშირს საზოგადოებისათვის ყოველთვის დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა. პირდაპირი ხედვის არეში სწრაფად მოკლე ინფორმაციის გადაცემისათვის ადრეულ ხანაში ხშირად ცეცხლს და კვამლს იყენებდნენ.



1. როგორია თქვენი ვარაუდი, რა მიზნით და როგორ იყენებდა ადამიანი ცეცხლს და კვამლს?

2. რომელ საშუალებას ცეცხლს თუ კვამლს მიანიჭებთ უპირატესობას დღისით? ღამით? ახსენით, რატომ?

შუა საუკუნეებში ფლოტში დაინყეს დროშების გამოყენება. დროშის ფორმას, ფერს და სურათს გარკვეული მნიშვნელობა ჰქონდა.

შემდეგ შექმნეს ოპტიკური ტელეგრაფი. ქალაქებს შორის პირდაპირი ხედვის არეში ააგეს კოშკები, რომლებსაც გაუკეთეს ორი დიდი სახსრებიანი ფრთა — სემაფორი. ტელეგრაფისტი მიღებულ ინფორმაციას ფრთების მდებარეობის ცვლილებით მაშინვე გადასცემდა. პირველი ოპტიკური ტელეგრაფი ააგეს 1794 წელს საფრანგეთში პარიზსა და ლილის შორის. ოპტიკური ტელეგრაფით სიგნალი პეტერბურგიდან ვარშავამდე 1200 კმ-ს 15 წთ-ში ფარავდა.

**ტელეგრაფი** (ბერძ.) – „ტელე“ – შორს, „გრაფო“ – ვწერ.

**სემაფორი** (ბერძ.) – სემა – ნიშანი, ფორი – მზიდი. ა. რკინიგზის სასიგნალო მოწყობილობა, რომლის ფრთების მდებარეობა (ან შუქი) უჩვენებს მემანქანეს – თავისუფალია თუ არა გზა; ბ. მხედველობითი სიგნალიზაცია, რომელიც ხორციელდება ხელების, ალმების (ღამით – ფარნებით) მდებარეობის შეცვლით.



3. განსაზღვრეთ პეტერბურგიდან ვარშავამდე ოპტიკური ტელეგრაფით ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე.

XIX საუკუნის ბოლოს ფართოდ გავრცელდა ინფორმაციის გადაცემა ელექტრული სიგნალებით. ელექტრული სიგნალები შეიძლება გადაეცეს სადენებით (კაბელებით) ან სადენების გარეშე.

ელექტროკავშირის ყველა საშუალება — ტელეფონი, ტელეგრაფი, ტელეფაქსი, ინტერნეტი, რადიო და ტელეხედვა სტრუქტურით ერთმანეთის მსგავსია. ხაზის დასაწყისში მოწყობილობაა, რომელიც ინფორმაციას (ბგერა, გამოსახულება, ტექსტი) გარდაქმნის ელექტრულ სიგნალებად. შემდეგ მათ ამუშავებენ ისე, რომ ვარგისი იყოს შორ მანძილზე გადასაცემად. აძლიერებენ საჭირო სიმძლავრემდე და „აგზავნიან“ სადენით ან ასხივებენ სივრცეში. გზაში შორ მანძილზე სიგნალი იმდენად სუსტდება, რომ საჭიროა შუალედური გაძლიერება. ხაზის ბოლოში სიგნალი შედის მიმღებში, სადაც აძლიერებენ და ისევ გარდაქმნიან ბგერად, გამოსახულებად, ტექსტად.

ერთი ხაზით ელექტრული სიგნალებით ინფორმაციის შორ მანძილზე გადაცემა და მიღება, რომელმაც უდიდესი პრაქტიკული გამოყენება ჰპოვა, 1837 წელს შეძლო ამერიკელმა სამუელ მორზემ (1791-1872). მორზეს კოდითა და ტელეგრაფით შესაძლებელი გახდა ნებისმიერი შეტყობინების გადაცემა.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.8. მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში. შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

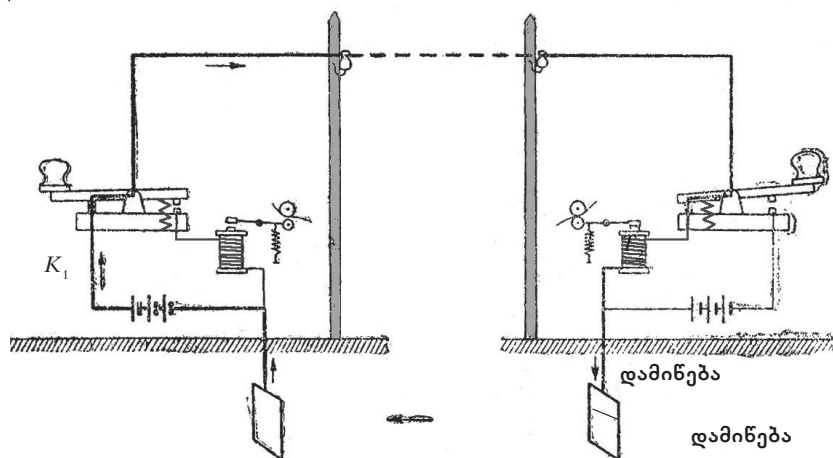
- აღწერს ინფორმაციის გადაცემის საშუალებების განვითარებას;

1. წინასწარი შეთანხმებით კოშკზე ცეცხლის დანთება მტრის შემოსევის მაუწყებელი იყო.

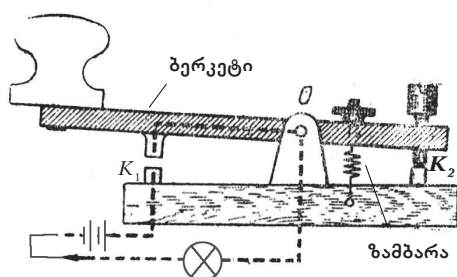
2. დღისით შორიდან კვამლი უკეთ ჩანს, ღამით — ცეცხლი.

3. ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე  $v = \frac{s}{t}$ , (\*) სადაც  $s=1200$  კმ,  $t=15$  წთ.  
 $\mapsto (*)$   $v=80$  კმ/წთ.

დააკვირდით 58.1 სურათს. სადგურებს შორის ტელეგრაფების გაცვლისათვის აუცილებელია, რომ თითოეულ მათგანზე გასაღებიც იყოს და საწერი მოწყობილობაც. ტელეგრაფი მაშინ იწყებს მუშაობას, როდესაც ერთ-ერთ გასაღებზე ხელს აჭირონ.

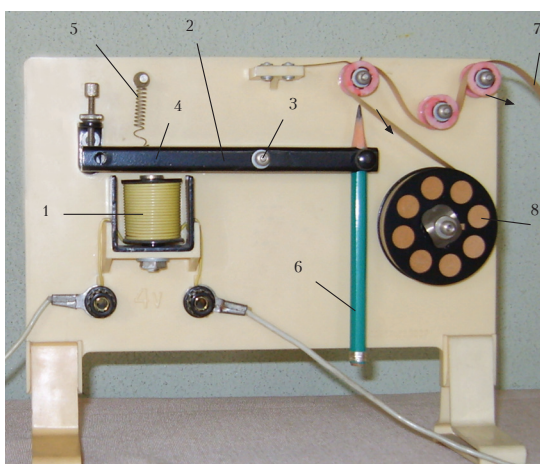


სურ. 58.1. ორმხრივი სატელეგრაფო კავშირის უმარტივესი სქემა



სურ. 58.2. გასაღები.

ლითონის ბერკეტს შეუძლია ბრუნვა  $O$  ღერძის ირგვლივ.  $K_1$  და  $K_2$  კონტაქტებია. ზამბარის მეშვეობით ჩვეულებრივ პირობებში  $K_1$  კონტაქტი განრთულია.



სურ. 58.3. საწერი მოწყობილობა.

1. ელექტრომაგნიტი; 2. ბერკეტი; 3. ბრუნვის ღერძი; 4. ღუზა — რკინის ფირფიტა; 5. ზამბარა; 6. საწერი მოწყობილობა; 7. ქაღალდის მოძრავი ზოლი; 8. კოჭაზე დახვეული ქაღალდი.



4. რა მოხდება ბერკეტის სახელურზე ხელის დაჭერით (სურ.58.1, 58.2)?

5. რა მოხდება, თუ ელექტრომაგნიტის გრაგნილში გაივლის დენი (სურ.58.1, 58.3)?

6. რა დაემართება ფანქარს, ქაღალდის ზოლს (სურ.58.3)?

7. რაზეა დამოკიდებული ქაღალდზე ხაზის სიგრძე?

8. რა ასრულებს მეორე სადენის როლს 58.1 სურათზე გამოსახულ სქემაზე?

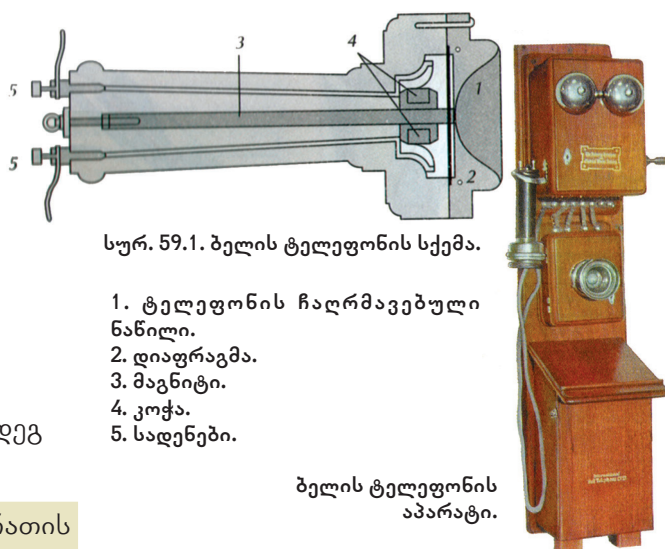
გასაღებზე ხელის მცირე ხნით დაჭერა ქაღალდზე წერტილს იძლევა, ხანგრძლივი — ტირეს. წერტილისა და ტირეს კომბინაციებით მორზემ შეადგინა პირობითი ნიშნების ცხრილი, რომელიც შეესატყვისება ანბანის ასოებს, ციფრებსა და სასვენ ნიშნებს.

4, 5, 6. ბერკეტის სახელურზე ხელის დაჭერით  $K_1$  კონტაქტით წრედი შეიკვრება, მეორე აპარატის კოჭაში დენი გაივლის. დენი შექმნის მაგნიტურ ველს. რის გამოც მიიზიდება  $T_2$  ღუზა, ბორბალი ან ფანქარი ზევით აიწევს და ქაღალდის ლენტზე გამოჩნდება პირობითი ნიშანი: წერტილი ან ტირე.

7. ქაღალდზე ხაზის სიგრძე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენ ხანს იყო სახელურზე ხელი დაჭერილი, ე. ი. რამდენ ხანს გადიოდა დენი წრედში.

8. მეორე სადენის როლს ასრულებს დედამიწა.

XIX საუკუნის შუა წლებში მორხეს აპარატი და მისი ანბანი გამოიყენებოდა მთელ მსოფლიოში. მაგრამ 1876 წლიდან, როდესაც წარმოშობით შოტლანდიელმა ამერიკელმა მასწავლებელმა ალექსანდრე გრეიმან ბელმა (1847-1922) დააპატენტა პირველი ტელეფონი, ბევრი რამ შეიცვალა. შესაძლებელი გახდა ერთმანეთთან ლაპარაკი ჯერ მცირე მანძილზე შემდეგ კი ათასეულ კოლომეტრებზე.



სურ. 59.1. ბელის ტელეფონის სქემა.

1. ტელეფონის ჩაღრმავებული ნაწილი.
2. დიაფრაგმა.
3. მაგნიტი.
4. კოჭა.
5. სადენები.

ბელის ტელეფონის აპარატი.



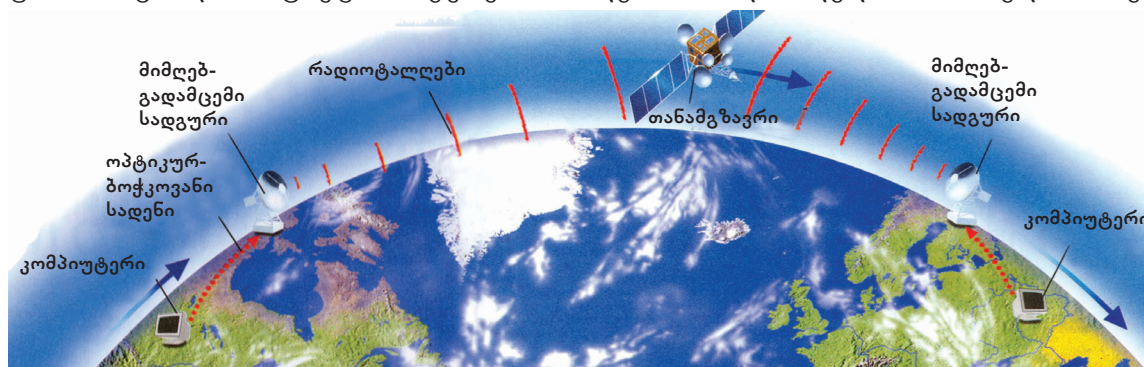
#### 9. 59.1 სურათის

მიხედვით აღწერეთ ბელის ტელეფონის მოქმედების პრინციპი.

თავდაპირველად ქალაქის ფარგლებში ყველა ტელეფონიდან გამოყვანილი ხაზები თავს იყრიდა სატელეფონო სადგურში, სადაც დასახელებული ნომრის მიხედვით

ტელეფონისტი ერთი ტელეფონის ხაზს მეორესთან სადენით აერთებდა. ტექნოლოგიური პროცესების განვითარებამ შესაძლებელი გახდა ხელით შესაერთებელი კომუტატორები შეეცვალათ ავტომატური სატელეფონო სადგურებით. ამჟამად თანამედროვე კომუტატორების უმრავლესობა იმართება კომპიუტერით. პრაქტიკულად შესაძლებელი გახდა ტელეფონით „მეყსეულად“ დაუკავშირდეთ დედამიწის თითქმის ყველა წერტილს.

კომპიუტერის მეშვეობით ელექტრონული ფოსტით აგზავნიან ინფორმაციას. სიგნალი ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სადენით მიდის დედამიწის ზედაპირზე



სურ. 59.2. თანამგზავრებით კავშირი

მიმღებ-გადამცემ სადგურზე, რომელიც მიღებულ ინფორმაციას გამოასხივებს ელექტრომაგნიტური ტალღების სახით. თანამგზავრი მიღებულ ინფორმაციას აძლიერებს და გამოასხივებს. სიგნალს იღებენ დედამიწაზე მიმღებ-გადამცემ სადგურზე, რომელიც შემდეგ ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სადენებით მიდის დანიშნულების ადგილამდე (სურ. 59.2).

### დავალება

მოიპოვეთ დაწვრილებითი ინფორმაცია თანამგზავრებით რადიოკავშირის შესახებ. მოამზადეთ რეფერატი გაკვეთილზე წარსადგენად.

9. ტელეფონის ჩაღრმავებულ ნაწილთან ლაპარაკისას ბგერითი ტალღების მოქმედებით დიაფრაგმა და მაგნიტი იწყებს რხევას. მაგნიტის რხევისას იცვლება კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ველი, ამიტომ კოჭაში აღიძვრება ბგერითი სიხშირის ცვლადი დენი, რომელიც სადენებით მიდის და გადის მეორე აბონენტის ტელეფონის კოჭაში. ამ კოჭაში გამავალი დენი ქმნის იმავე სიხშირის მაგნიტურ ველს, რომლის მოქმედებითაც მეორე ტელეფონის მაგნიტი და მემბრანა იწყებს იმავე სიხშირით რხევას, გამოსხივდება ბგერითი ტალღები, რომლებიც აღიქმება ყურის მიერ.

#### სტანდარტთან კავშირი

**კვლ. 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;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით, საველე სამუშაოს ჩატარებით, გამოკითხვით, საკითხის ირგვლივ ლიტერატურის მოძიებით);
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ცხრილები, გრაფიკები, სიები, ფოტოები, ჩანაწერები).

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

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და ანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას.

**კვლ. 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. XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას.

*ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ისაუბროს როგორ ვითარდებოდა ინფორმაციის გადაცემის საშუალებები თანდათან და რა მიღწევები გვაქვს დღეს.*

## 4.2

ლაზერის მეცნიერული და  
პრაქტიკული მნიშვნელობა

გაიხსენეთ ბორის პირველი პოსტულატი.

სიტყვა ლაზერი მიღებულია ინგლისურ გამონათქვამში — „ინდუცირებული გამოსხივების მეშვეობით სინათლის გაძლიერება“ — შემავალი სიტყვების პირველი ასოებისაგან.



1. ჩვეულებრივ, როგორ მდგომარეობაშია ატომი?
2. როგორ მდგომარეობაში გადადის ატომი ენერგიის შთანთქმისას (გამოსხივებისას)?
3. როგორ განისაზღვრება გამოსხივებული ან შთანთქმული ფოტონის ენერგია?

ჩვეულებრივ პირობებში ატომების უმრავლესობა უდაბლეს ენერგეტიკულ მდგომარეობაშია (ძირითადი მდგომარეობა). ამიტომ ამ მდგომარეობაში ნივთიერებები არ ასხივებენ.

ენერგიის შთანთქმისას ატომი გადადის ალგზნებულ მდგომარეობაში. ალგზნებულ მდგომარეობაში ატომი დროის მცირე, დაახლოებით  $10^{-8}$  წმ-ის განმავლობაში, რის შემდეგაც თავისთავად (სპონტანურად) გადადის ძირითად მდგომარეობაში და ასხივებს სინათლის კვანტს. გამოსხივება განპირობებულია იმით, რომ ატომის ალგზნებული მდგომარეობა არამდგრადია. გარე ზემოქმედებისას ატომის ალგზნებულ მდგომარეობაში ყოფნის დრო მცირდება და აღიძვრება გამოსხივება, რომელსაც იძულებითი ანუ ინდუცირებული გამოსხივება ეწოდება.

1917 წელს ალბერტ აინშტაინმა იზიარა ინტენსივობის მიერ სინათლის იძულებითი გამოსხივების შესახებ.

1960 წელს ამერიკელმა მეცნიერმა თეოდორ მაიმანმა იძულებითი გამოსხივების გამოყენებით პირველად მიიღო ლაზერის სხივი — ნითელი ფერის კაშკაშა სინათლის კონა. მან საფუძველი ჩაუყარა ლაზერული ტექნოლოგიის განვითარებას და მის გამოყენებას როგორც სამეცნიერო კვლევებისას, ისე მედიცინასა და ტექნიკაში. ტექნოლოგიური პროცესების განვითარებით ლაზერების გამოყენება მრავალმხრივი გახდა.

დღეისათვის ლაზერის ასობით ტიპი არსებობს, რომლებსაც იყენებენ სხვადასხვა მოწყობილობაში. ლაზერის სხივის მეშვეობით ხორციელდება სატელეფონო კავშირი, იკითხება კომპიუტერის დისკები, მღერის მუსიკალური კომპაქტ-დისკები. ქირურგიაში ლაზერული სკალპელით აკეთებენ ისეთ წვრილ ჭრილობებს, რომ ძალიან ამცირებენ სისხლის დენას. ლაზერს იყენებენ კბილის უმტკივნეულოდ მკურნალობისათვის .... მძლავრ ლაზერებს იყენებენ მრწველობაში ძალიან მტკიცე მასალის გაჭრისა და შედუღებისათვის. ლაზერის მეშვეობით შესაძლებელია გაზომვების უდიდესი სიზუსტით შესრულება ხიდების, რკინიგზისა და გვირაბების პროექტირებისას. ლაზერი გამოიყენება ოპტიკურ-ბოჭკოვან სადენებში ტელეკომუნიკაციისათვის, მათი მეშვეობით მართავენ რაკეტებს და ქმნიან ჰოლოგრამებს. განუწყვეტლივ ფართოვდება ლაზერების

**სკალპელი** (ლათინური) — პატარა ქირურგიული დანა.

**ჰოლოგრამა** (ბერძნული) — მოცულობითი გამოსახულება, სურათი.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.8. მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ინფორმაციის გადაცემის საშუალებების განვითარებას.

1. ატომური სისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს მხოლოდ განსაკუთრებულ სტაციონარულ ანუ კვანტურ მდგომარეობაში, რომელთაც შეესაბამება განსაზღვრული ენერგია  $E_n$ . სტაციონარულ მდგომარეობაში ატომი არ ასხივებს.

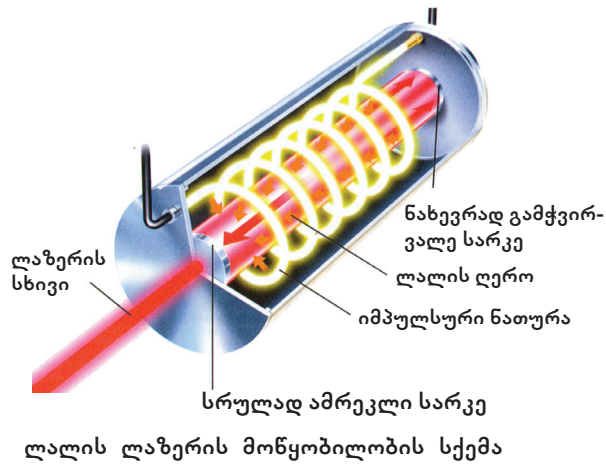
2. ენერგიის შთანთქმისას ატომი გადადის ნაკლები ენერგიის მქონე მდგომარეობიდან მეტი ენერგიის მქონე მდგომარეობაში (აღიგზნება). გამოსხივებისას პირიქით მეტი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან გადადის ნაკლებ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში.

3. გამოსხივებული ან შთანთქმული ფოტონის ენერგია, სტაციონარულ მდგომარეობათა ენერგიების სხვაობის ტოლია:  $h\nu_{kn} = E_k - E_n$ , სადაც  $k$  და  $n$  სტაციონარულ მდგომარეობათა ნომრებია. თუ  $E_k > E_n$ , ფოტონი გამოსხივდება, ხოლო თუ  $E_k < E_n$  — ფოტონი შთანთქმდება.

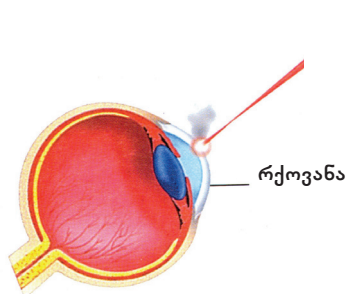
ლაზერის შესახებ ინფორმაცია ნახეთ ინტერნეტში მისამართებზე:

<http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter6/section/paragraph4/theory.html>

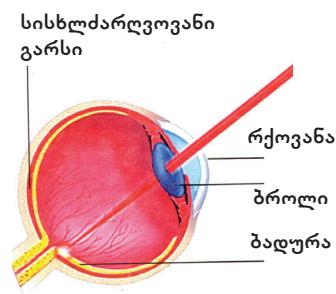
გამოყენების არე. ლაზერის სხივს იყენებენ ქსოვილის გასაჭრელად. ზუსტად გამოჭრილი დეტალებით შეკერილი ტანსაცმელი მაღალი ხარისხისაა. ლაზერის ზოგიერთი გამოყენება 61.1 სურათზეა გამოსახული.



ლაზერი — ზუსტი გამზომი ხელსაწყოა ისეთი გიგანტური მშენებლობისათვის, როგორც ხიდის აგებაა



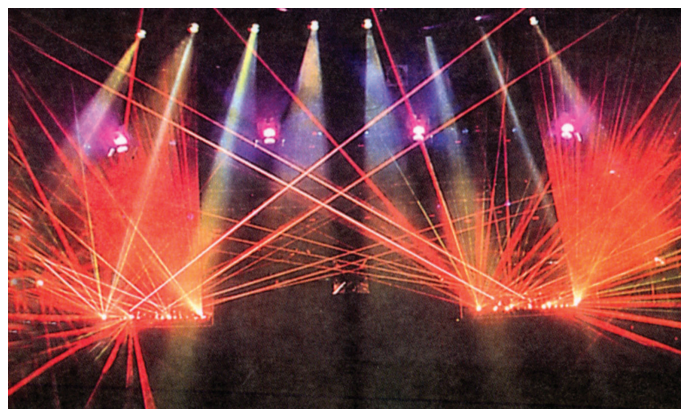
ლაზერის სხივი ცვლის რქოვანას ფორმას და აუმჯობესებს მხედველობას



ლაზერის სხივი გადის თვალში და ბადურას ამაგრებს ადგილზე



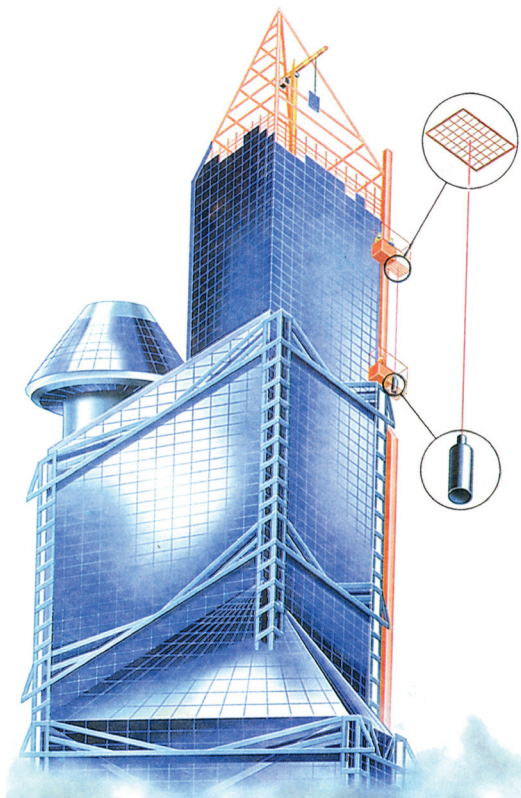
მძლავრი ლაზერი ხერხებს ალმასს და აძლევს მას საჭირო ფორმას



კონცერტზე ლაზერის სხივების გამოყენება აძლიერებს შთაბეჭდილებას

სურ. 61.1





სურ. 62.1. ცათამბჯენების აგებისას შვეულის განსასაზღვრად ლაზერის სხივი შეუცვლელია

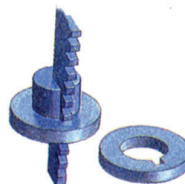
ფრეზა (ფრანგ.) — მრავალსაჭრისიანი საჭრელი იარაღი, რომელიც ბრუნავს და ისე ამუშავებს ლითონის ან სხვა მასალის ზედაპირს.



საჭრისი



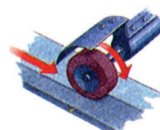
სახვერეტელა



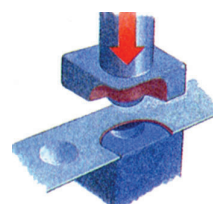
სალარავი



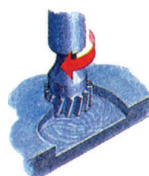
ხერხი



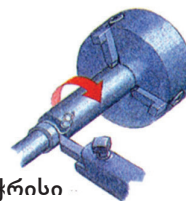
სახეხი



წნეხი



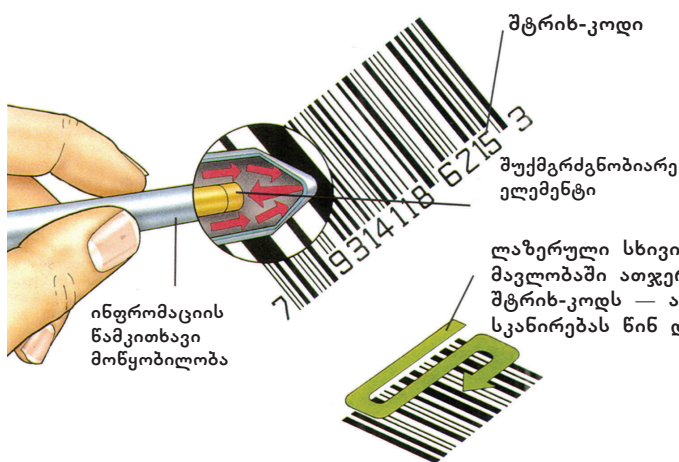
პორიზონტალური ფრეზა



საჭრისი

სურ. 62.2. დააკვირდით სურათებს. ყველა ამ მოწყობილობას შეცვლის ლარების სხივი, მაშინ როდესაც ტექნოლოგიური პროცესების განვითარების შედეგად შესაძლებელი იქნება მაღალი ხარისხის, მაგრამ იაფფასიანი ლაზერების შექმნა.

შტრიხ-კოდში დაშიფრულია ინფორმაცია საქონლის შესახებ. მისი ამოკითხვა შესაძლებელია სპეციალური სკანერის მეშვეობით ლაზერის სხივის გამოყენებით. სუპერმარკეტებსა და მაღაზიებში მოლარე სკანერს შეახებს შტრიხ-კოდს. კომპიუტერის ეკრანზე ინერება საქონლის ფასი და მოლარის მითითებით აღირიცხება გაყიდული საქონლის რაოდენობა.



ლაზერული სხივი წამის განმავლობაში ათჯერ ამოწმებს შტრიხ-კოდს — ახდენს მის სკანირებას წინ და უკან.

სურ. 62.3



## ენერგიის წყაროები

ენერგიის მოხმარების დონე საზოგადოების საწარმოო ძალების განვითარების ძირითადი მაჩვენებელია. ამასთან, წამყვან როლს ასრულებს ელექტროენერგია — ყველაზე უნივერსალური და გამოსაყენებლად ყველაზე ხელსაყრელი ენერგიის ფორმა.

არსებობს ელექტროსადგურების ორი ძირითადი ტიპი: სითბური და ჰიდროელექტრული.

სითბურ ელექტროსადგურებში ენერგიის წყაროა: ქვანახშირი, ტორფი და სხვა სათბობენერგეტიკული ნედლეული.

ჰიდროელექტრულ სადგურში ძირითადად გამოიყენება კაშხლით აწეული წყლის პოტენციური ენერგია.

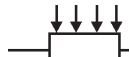
ჰიდროელექტროსადგურებში ენერგიის გამომუშავებას უდავოდ დიდი უპირატესობა აქვს, რადგან მასში გამოიყენება ენერგიის განახლებადი წყარო — წყლის პოტენციური ენერგია. მნიშვნელოვანია ისიც, რომ ჰეს-ში ენერგიის გამომუშავებისას გარემო არ ბინძურდება და ეს ენერგია ყველაზე უფრო იაფია სხვა ტიპის ელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებულ ენერგიაზე.

ენერგეტიკაში დიდ როლს ასრულებს ატომური ელექტროსადგურები (აესი). ამჟამად ატომურ რეაქტორებში ენერგია ძირითადად მიიღება წელი ნეიტრონების მეშვეობით ურან-235-ის დაშლით. ასეთი ურანის მოპოვება კი საკმაოდ რთულია, რადგან 1 ტ ბუნებრივ ურანში მისი შემცველობა მხოლოდ 7,14 კგ-ია. დადგენილია, რომ  $4 \cdot 10^6$  კვტ სიმძლავრის თბოელექტროსადგურს წელიწადში 20 მლნ ტ ქვანახშირი სჭირდება, ხოლო იმავე სიმძლავრის ატომურ ელექტროსადგურს 60 ტ ურანი.

დიდი პერსპექტივა აქვს მსუბუქი ბირთვების შეერთებით გამოყოფილი ენერგიის მშვიდობიანი მიზნებისათვის გამოყენებას. თანამედროვე წარმოდგენებით, სწორედ მსუბუქი ბირთვების შეერთებით გამოყოფილი ენერგია უზრუნველყოფს ვარსკვლავების მიერ სინათლის გამოსხივებას მილიარდი წლების განმავლობაში. ჯერჯერობით ვერ მოხერხდა მართვადი თერმობირთვული რეაქციების განხორციელება, რომელიც კაცობრიობას ენერგიის ახალ, პრაქტიკულად, უმრეტ წყაროს ჰპირდება.

მზის ენერგიის ეფექტურად გამოყენების მიზნით ადამიანმა შექმნა მზის ბატარეა, რომელიც სინათლის ენერგიას უშუალოდ ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის. სინათლის ენერგიის უშუალოდ ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნისათვის იყენებენ ნახევარგამტარულ მონოკრისტალებს — ფოტოელემენტებს.

სქემაზე ფოტოელემენტი შემდეგნაირად

აღნიშნება . ისინი დამონტაჟებულია ყველა კოსმოსურ ხომალდზე და უზრუნველყოფენ

**საწარმოო ძალები** — მატერიალური დოვლათის წარმოების პროცესში ჩაბმული სამუშაო ძალები და წარმოების იარაღების ერთობლიობა.

**სამუშაო ძალა** — ადამიანის ფიზიკურ და სულიერ შესაძლებლობათა ერთობლიობა, რომელსაც ის იყენებს რაიმე სახმარი ღირებულების შესაქმნელად.



სურ. 63.1

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.8. მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში.

**სასწავლო მიზნები:**

. ენერგიის თანამედროვე წყაროების გაცნობა.

ხომალდის ელექტრული ენერგიით მომარაგებას (სურ. 63.1). ხომალდის მზის ბატარეის სასარგებლო ფართობი რამოდენიმე ათეულ კვადრატულ მეტრს აღწევს. მზის ბატარეას წარმატებით იყენებენ ავტომატურ მეტეოსადგურებში, გადასატან რადიოსადგურებში, რადიომიმღებებში და სხვაგან. მზის ბატარეის გამოყენების ზოგიერთი მაგალითი გამოსახულია 64.1, 64.2 და 64.3 სურათებზე.



სურ. 64.1



სურ. 64.2



სურ. 64.3

მზის უზარმაზარი „ნაჩუქარი“ ენერგიის მცირე ნაწილის გამოყენებაც კი მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს კაცობრიობის ეკონომიკური და ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტას. მაგრამ მზის ენერგიის ფართო მასშტაბით გამოყენებამდე, ალბათ, ჯერ კიდევ შორსაა, ამის ძირითადი მიზეზი ისაა, რომ მზის ენერგიის სიმკვრივე დედამიწის ზედაპირზე დიდი არ არის. იგი გაფანტულია.



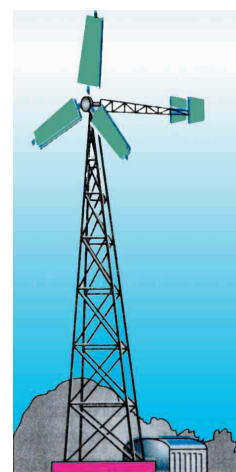
1. აბინძურებს თუ არა ჰელიოენერგეტიკული დანადგარი გარემოს?
2. შესაძლებელი რომ იყოს ისეთი ელექტროსადგურის აგება, რომელიც მზის ენერგიას სრულად გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად, მაშინ რა ფართობი დასჭირდება 1000 მგვტ სიმძლავრის ელექტროსადგურს? ჩათვალით, რომ იმ განედზე, სადაც ელექტროსადგურებს აგებენ, მზის სიმძლავრე 250-300 ვტ/მ<sup>2</sup>-ია.

არსებული მეთოდებით ელექტრული ენერგიის მიღებისას ეფექტურობა მხოლოდ  $\approx 15\%$ -ია. ამიტომ 1000 მგვტ სიმძლავრის ელექტროსადგურის ფართობი გაცილებით მეტი,  $\approx 23-28$  კმ<sup>2</sup> მაინც უნდა იყოს. ეს კი საკმაოდ დიდი ფართობია.

სინათლის ენერგიის უშუალოდ ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნა მეცნიერების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ამოცანაა.

ელექტრულ ენერგიად ქარის ენერგიასაც გარდაქმნიან. ქარის ენერგიის მიმღებ მოწყობილობას ჩვეულებრივ დგამენ იქ, სადაც წლის განმავლობაში ქარის საშუალო სიჩქარე 4-5 მ/წმ-ს აღემატება.

ქარის ენერგიის არსებით ნაკლს წარმოადგენს ქარის ძალის უთანაბრობა, თანაც ფართობის ერთეულზე გამოყოფილი ენერგია შედარებით მცირეა. რის გამოც, ქარის



სურ. 64.4. ელექტრულ ენერგიად ქარის ენერგიასაც გარდაქმნიან.

→ 1. ჰელიოენერგეტიკული დანადგარები გარემოს არ აბინძურებს.

2. მონყობილობას, რომელიც მზის ენერგიას „სრულად“ გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად და  $10^9$  ვტ სიმძლავრის მიღებას უზრუნველყოფს, დასჭირდება  $\frac{10^9 \text{ ვტ}}{250 \text{ ვტ/მ}^2} = 4 \cdot 10^6 \text{ მ}^2 = 4 \text{ კმ}^2$ . ფართობი.



სურ. 65.1. იმ ადგილებში, სადაც ხშირად სიცხე და პაპანაქებაა, მზის ბატარეას სახლის სახურავზე ამონტაჟებენ.

ტურბინის ფრთების ზომა, თუ კი მას საქარბ-  
ნო მასშტაბით ენერგიის საწარმოებლად დავამ-  
ზადებთ, პრაქტიკულად, განუხორციელებელი  
სიდიდისაა. ამიტომ ქარის ენერგიას იყენებენ  
მხოლოდ მცირე ძრავებში — „ქარძრავებში“  
(სურ. 64.4). მათგან მიღებულ ელექტროენერ-  
გიას მხოლოდ დამხმარე როლის შესრულება  
შეუძლია და მასზე დაყრდნობა არ შეიძლება.



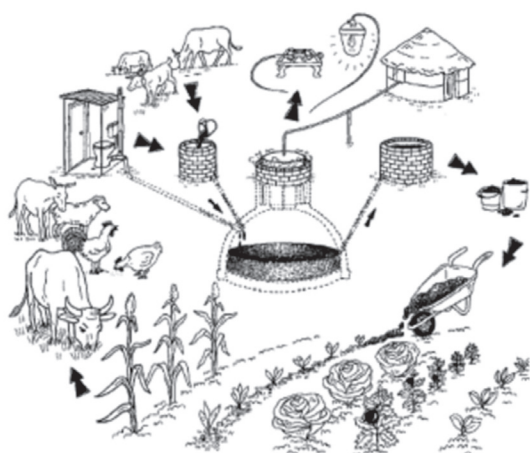
### 3. 65.2 სურათების მიხედვით იმსჯელეთ ქარის ენერგიის გამოყენებაზე.



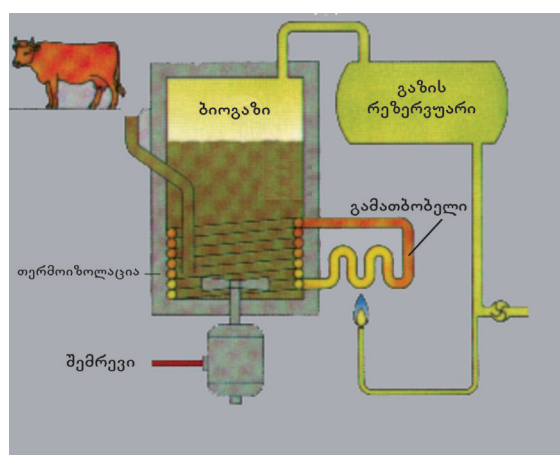
სურ. 65.2

უკანასკნელ წლებში ინტენსიურად დაიწყო განვითარება ბიოენერგეტიკამ. მისი წყარო ბიომასაა, რომელიც შეიცავს მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ყველა სახის ნივთიერებას და ორგანული ნივთიერებების წარჩენებს. ბიომასა შეიძლება გამოიყენონ როგორც საწვავი ან მისი გადამუშავებით მიიღონ სპირტი და ბიოგაზი.

ბიოგაზი წარმოიქმნება ჟანგბადის მიწოდების გარეშე ორგანული ნივთიერე-  
ბების გახრწნისას. ბიოგაზად გარდაიქმნება ნაგვის ორგანული მასის 20%.  
ენერგეტიკაში ბიოგაზის გამოყენება დიდ ინტერესს იწვევს, რადგან მისი 60%  
მეთანია. ბიოგაზის მიღება შესაძლებელია ქალაქის კანალიზაციის ჩამონადენის  
გადამუშავებითაც.



სურ. 65.3



სურ. 65.4



დაიწყეს ნაკელისგან გამოყოფილი ბიოგაზის აქტიური გამოყენება. 2-3 მსხვილ-ფეხა საქონლის ნაკელისგან გამოყოფილი გაზი სავსებით საკმარისია ერთი ოჯახისათვის.



4. აღწერეთ 65.3 და 65.4 სურათებზე ბიოგაზის მიღების და გამოყენების სქემატურად გამოსახული პროცესები.

„უფასო“ ბიოგაზის გამოყენებით შესაძლებელია ენერგეტიკული რესურსების დიდი რაოდენობით დაზოგვა.

მიმდინარეობს ინტენსიური მუშაობა ავტომობილებში წყალბადის, როგორც ალტერნატიული საწვავის, გამოსაყენებლად. წყალბადი თეორიულად იდეალურ საწვავს წარმოადგენს. ჯერ ერთი მისი თბოუნარიანობა სამჯერ მეტია ბუნებრივი აირის თბოუნარიანობაზე, მეორეც, წყალბადის წვის ერთადერთი პროდუქტი სუფთა წყალია, რომელიც არ აბინძურებს გარემოს. მაგრამ



სურ. 66.1 წყალბადზე მომუშავე ექსპერიმენტული ავტომობილი

ჯერ-ჯერობით წყალბადი ყოველდღიურ საწვავად ვერ გამოიყენება, რადგან მისი უსაფრთხოდ შენახვა და ტრანსპორტირება ძნელია. აირადი წყალბადი დიდ მოცულობას იკავებს, თხევადი კი იზოლირებულ კონტეინერში ინახება, რომელშიც ტემპერატურა  $-253^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბალია.

გავეცანით ენერგიის როგორც ტრადიციულ, ისე არატრადიციულ წყაროებს.

### დავალება

1. მოიპოვეთ ინფორმაცია ბიოგაზის მიღებისა და გამოყენების შესახებ მოამზადეთ საკითხი სემინარზე წარსადგენად.

2. მოიპოვეთ ინფორმაცია ენერგიის თანამედროვე წყაროების შესახებ. შეაფასეთ მათი გავლენა ეკოლოგიურ სიტუაციაზე.

მოამზადეთ მასალა სემინარზე წარსადგენად.

4. მარცხენა სურათზე გამოსახულია სქემა, სადაც სპეციალურ მონყობილობაში ბიოგაზი მიიღება, როგორც საქონლის ნაკელი, ისე კანალიზაციის ჩამონადენის მეშვეობით. მონყობილობა ჰერმეტიკულად არის დახურული და მიმდინარეობს უჟანგბადო წვა. მიღებული ბიოგაზი გამოიყენება სხვადასხვა საჭიროებისათვის (გათბობა, ნათურა სამზარეულო), ხოლო დანარჩენები შეიძლება გამოვიყენოთ სასუქად ბალბოსტანში. მიღებული მოსავლით იკვებებიან ცხოველები. მათი ნაკელი კვლავ გამოიყენება და ა. შ. გამუდმებით ხდება წრებრუნვა.

მარჯვენა სურათზე საქონლის ნაკელი იყრება სპეციალურ კონტეინერში, რომელშიც ჩამაგრებულია შემრევი და გამათბობელი. კონტეინერს გარშემო აქვს თბოიზოლაცია გარკვეული ტემპერატურის შენარჩუნების მიზნით. კონტეინერში ნაკელი იმ ზომამდე იყრება, რომ მის თავზე რჩება თავისუფალი სივრცე, სადაც ბიოგაზი გამოიყოფა. ეს გაზი მილის მეშვეობით გადადის რეზერვუარში და მოიხმარება საჭიროებისამებრ. ნაწილი უბრუნდება კონტეინერს გასათბობად.

ასეთი ტიპის მონყობილობების დანერგვა საქართველოშიც დაიწყო.

#### სტანდარტთან კავშირი

**კვლ. 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;
- განსაზღვრავს მონაცემების მოპოვების გზებს (მაგ., ცდით, სხვაზე სამუშაოს ჩატარებით, გამოკითხვით, საკითხის ირგვლივ ლიტერატურის მოძიებით);
- განსაზღვრავს მონაცემების აღრიცხვის ფორმებს (ცხრილები, გრაფიკები, სიები, ფოტოები, ჩანაწერები).

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

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიძიებს და აანალიზებს შესაბამის ინფორმაციას.

**კვლ. 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. XII.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემების ანალიზი და შეფასება.**

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- საჭიროების შემთხვევაში გეგმავს მომავალ ცდას.

ამ გაკვეთილის შესწავლის შემდეგ მოსწავლემ უნდა შეძლოს განასხვაოს ენერგიის ტრადიციული და არატრადიციული წყაროები. აგრეთვე განახლებადი და არაგანახლებადი წყაროები.

## სამყაროს ერთიანი სურათი

ფიზიკის კურსის შესწავლისას ჩვენ გავეცანით ბუნების უზოგადეს კანონებს, რომლებიც მართავენ პროცესების მიმდინარეობას არა მარტო დედამიწაზე, არამედ მთელ სამყაროში.

ფიზიკის შესწავლის პროცესში შევეცადეთ „აღმოგვეჩინა“ კანონები, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებს ბუნებაში მიმდინარე სხვადასხვა ფიზიკურ მოვლენას, ადგენს ამ მოვლენათა მიზეზებს და მათ შორის კავშირს.

ბუნების შესწავლა მოითხოვდა და მოითხოვს სხვადასხვა ქვეყნის მრავალი მეცნიერის დაუღალავ შრომას. მათი ერთობლივი საქმიანობა უზრუნველყოფს წარმატებებს სამყაროს კანონებისა და მოვლენების კვლევაში.

გავიხსენოთ ძველი წარმოდგენები სამყაროს ერთიანი სურათის შესახებ.

მეცნიერების უდიდეს ნაწილს დიდხანს მიაჩნდა, რომ ბუნების ერთადერთ ფუნდამენტურ კანონებს მხოლოდ ნიუტონის მექანიკის კანონები წარმოადგენდა.



### 1. ისაუბრეთ, თქვენი აზრით, რატომ ფიქრობდნენ ასე?

ნიუტონის მიერ აღმოჩენილი სხეულთა მოძრაობის კანონების საყოველთაო ხასიათი დაედო საფუძვლად სამყაროს ერთიან მექანიკურ სურათს.

სამყაროს მარტივი მექანიკური სურათი უძლური აღმოჩნდა ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევის დროს. გამოირკვა, რომ ისინი ნიუტონის მექანიკას არ ემორჩილებოდნენ.

მას შემდეგ, რაც მაქსველმა აღმოაჩინა ელექტრომაგნიტური ველის „ქცევის“ კანონები, მეცნიერები შეეცადნენ შეექმნათ სამყაროს ერთიანი ელექტრომაგნიტური სურათი, რომლის მიხედვითაც ყველა მოვლენის მართვა ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების კანონებით იქნებოდა შესაძლებელი.



### 2. ისაუბრეთ, როგორ ხორციელდება ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება.

ფარდობითობის თეორიის შექმნამ კიდევ უფრო განამტკიცა აზრი სამყაროს ელექტრომაგნიტური სურათის შესახებ. გაირკვა ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებათა გავრცელების სიჩქარის სასრულობა. შეიქმნა ახალი მოძღვრება სივრცესა და დროზე. მოინახა მოძრაობის რელატივისტური განტოლებები, რომლებიც დიდი სიჩქარეების შემთხვევაში ნიუტონის განტოლებებს ცვლიან. მცირე სიჩქარეების დროს კი მათგან ნიუტონის კანონები მიიღება.

მაგრამ მეცნიერებმა ვერ შეძლეს ნაწილაკების მოძრაობის განტოლებების და გრავიტაციული ურთიერთქმედების კანონის გამოყვანა ელექტრომაგნიტური ველის თეორიიდან და იმ დასკვნამდე მივიდნენ, რომ ბუნების ყველა პროცესი არ შეიძლება რომელიმე ერთი თეორიით აიხსნას.

XX საუკუნის პირველ ნახევარში აღმოაჩინეს ელექტრულად ნეიტრალური ნაწილაკები და ახალი ტიპის ურთიერთქმედებები, სხვადასხვა სახის ელემენტარული ნაწილაკები და მათი ურთიერთგარდაქმნა.

სტანდარტთან კავშირი

არჩ.ფიზ.XII.8. მოსწავლე აფასებს ფიზიკის როლს თანამედროვე საზოგადოების განვითარებაში. შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ლაზერის მოქმედების პრინციპს და მსჯელობს მისი გამოყენების შესახებ;
- აღწერს ინფორმაციის გადაცემის საშუალებების განვითარებას;
- განიხილავს ფიზიკის გამოყენებას მედიცინაში;
- მოიპოვებს ინფორმაციას ნანოტექნოლოგიის შესახებ და განიხილავს მის შესაძლებლობებს.

1. მეცნიერები ასე იმიტომ ფიქრობდნენ, რომ ნიუტონის კანონებს გასაოცარი სიზუსტით ემორჩილებოდა როგორც ციური სხეულები, ისე დედამიწაზე ნებისმიერი პატარა, თუნდაც ქვიშის ნაწილაკის მოძრაობა.

2. მაგნიტური ველის ყოველი ცვლილება გარემომცველ სივრცეში იწვევს ცვლადი ელექტრული ველის გაჩენას. ცვლადი ელექტრული ველის ყოველი ცვლილება კი იწვევს ცვლადი მაგნიტური ველის გაჩენას.

ცვლადი ელექტრული ველის და მასთან დაკავშირებული ცვლადი მაგნიტური ველის ერთობლიობას ელექტრომაგნიტური ველი ეწოდება.

ელექტრომაგნიტური ველის მეშვეობით ხორციელდება ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება.

მეცნიერებს არც კი უფიქრიათ, სამყარო წარმოედგინათ ერთი ტიპის ნაწილაკები-საგან აგებული. სინამდვილეში . . .



### 3. ისაუბრეთ, რა იცით ამ საკითხის შესახებ.

ამ ფაქტის შემდეგ სამყაროს ერთიანობას მატერიის აღნაგობის ერთიანობაში ხედავდნენ. დადგინდა, რომ სხვადასხვა ელემენტარული ნაწილაკი მატერიის არსებობის სხვადასხვა ფორმით გამოვლინება იყო.

მაგრამ სამყაროს ერთიანობისათვის მატერიის აღნაგობის ერთიანობა არ იყო საკმარისი. იგი ნაწილაკების მოძრაობისა და ურთიერთქმედების კანონებშიც უნდა გამომჟღავნებულიყო.

მიუხედავად იმისა, რომ სხეულებს შორის ურთიერთქმედებათა გასაოცარი სხვადასხვაობაა, არსებობს სულ ოთხი ტიპის ურთიერთქმედება: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ბირთვული და სუსტი.



### 4. ისაუბრეთ, როდის მჟღავნდება თითოეული მათგანი. მოიყვანეთ მაგალითები.

სამყაროს ფიზიკური სურათის შესახებ კლასიკური წარმოდგენების ცვლილება მოხდა მატერიის კვანტური თვისებების აღმოჩენის შემდეგ — შეიქმნა სამყაროს თანამედროვე ფიზიკური სურათი.

კვანტური თეორიის პრინციპები სრულიად ზოგადია. იგი გამოიყენება ყველა ნაწილაკის მოძრაობის, მათი ურთიერთქმედებისა და ურთიერთგარდაქმნის აღსაწერად.

აღმოაჩინეს, რომ ყველა ნაწილაკს ტალღური თვისებებიც გააჩნია.



### 5. ისაუბრეთ მატერიის კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმის შესახებ.

თანამედროვე ფიზიკამ შესაძლებელი გახადა ბუნების ერთიანობისათვის დამახასიათებელი თვისებების ახსნა.

თუმცა ჯერ კიდევ ბევრი რამ არის ამოუცნობი. სამყაროს ერთიანი სურათის დასადგენად ინტენსიური კვლევა გრძელდება.

ფიზიკის განვითარება უდიდეს გავლენას ახდენს მეცნიერებების, ტექნიკისა და წარმოების სხვადასხვა დარგზე.

გასული საუკუნის მეორე ნახევრიდან ღრმა, თვისებრივი ცვლილებები განიცადა ტექნიკის ყველა ძირითადმა დარგმა. გარდაიქმნა ენერგეტიკა, შეიქმნა ატომური ელექტროსადგურები, შეიქმნა მრავალი ხელოვნური მასალა, სოფლის მეურნეობაში დამკვიდრდა მექანიზაცია და ავტომატიზაცია, გაუმჯობესდა ტრანსპორტი, უფრო მექანიზებული გახდა მშენებლობა. შეიცვალა კავშირგაბმულობა.

შეიქმნა გამოთვლითი ტექნიკა, რომელიც ყოველდღიურად უმჯობესდება. შეიქმნა კომპიუტერი, მობილური ტელეფონი.

სამედიცინო აპარატურის გამოგონებისა და გაუმჯობესების წყალობით წინ ნავიდა მედიცინა.

3. სინამდვილეში მთელი სამყაროს შემადგენელი ნაწილაკები სრულიად ერთნაირია. რაოდენ გასაკვირიც უნდა იყოს, ვარსკვლავებიც ზუსტად იმავე ნივთიერებებისაგან შედგება, რომლისგანაც დედამიწა. ცოცხალი ორგანიზმები იმავე ატომებისაგან შედგება, რისგანაც ყველა დანარჩენი.

4. გრავიტაციული ურთიერთქმედება მჟღავნდება ძალიან დიდი მასის სხეულებს შორის (ციური სხეულები) ან ერთი სხეული მაინც უნდა იყოს ძალიან დიდი მასის. მაგალითად, დედამიწა იზიდავს ნებისმიერ სხეულს.

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება მჟღავნდება დამუხტულ და დამაგნიტებულ სხეულებს შორის.

ბირთვული ურთიერთქმედება — ბირთვის შემადგენელ ნაწილაკებს შორის.

სუსტი ურთიერთქმედებისას ხდება ელემენტარული ნაწილაკების გარდაქმნა.

5. სინათლე განიცდის დიფრაქციას, ინტერფერენციას. პოლარიზაციას. სინათლის პოლარიზაციით დადგინდა მისი განივობა. მაშასადამე, სინათლე ტალღაა.

ამავე დროს ხდება ფოტოეფექტის მოვლენაც. ფოტოეფექტის მოვლენა მხოლოდ იმ დამ-ვეებით შეიძლება აიხსნას, რომ სინათლე ნაწილაკებისაგან შედგება.

მაშასადამე, სინათლეს ორმაგი ბუნება აქვს.

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

არამარტო სინათლეს, ყველა ნაწილაკს ტალღური თვისებები გააჩნია.

შეიქმნა ნანოტექნიკა. ტექნოლოგიური პროცესების განვითარებამ შესაძლებელი გახადა მოლეკულურ და კრისტალურ დონეზე შეეცვალათ ნივთიერებების თვისებები. მასალათა უმეტესობა რომლებთანაც ყოველდღიური შეხება გვაქვს კრისტალური აგებულებისაა, რომელთა ზომა ათიდან ას მიკრომეტრამდეა. XX საუკუნის 80-იან წლებში მიიღეს ნივთიერება შედგენილი ათასჯერ ნაკლები ზომის კრისტალებისაგან.

**ნანოტექნოლოგია** — მრეწველობის დარგი, რომელიც მოწყობილობებს ატომურ და მოლეკულურ დონეზე ქმნის.

მიღებული კრისტალის თვისებები იმდენად უჩვეულოა, რომ მათ მეტალების ახალ კლასად მიიჩნევენ, მაგალითად, მყიფე — მსხვრევადი კერამიკა ხდება დრეკადი და პლასტიკური, მეტალი იძენს უნარს ორჯერ მეტად გაიჭიმოს ისე რომ არ განყდეს, ხდება ათჯერ უფრო მტკიცე. სუფთა რკინაზე ნანო კრისტალის დამატებით შესაძლებელია მივიღოთ რკინის ჟანგი რომლის წინააღობა  $10^{14}$ -ჯერ შეიძლება შეიცვალოს.

დიდი ძვრები მოხდა ასტრონომიის განვითარებაში. აგრეთვე ბიოლოგიის, ქიმიის, გეოლოგიის, მეტეოროლოგიის, ოკეანოლოგიის და სხვა მეცნიერებების განვითარებაში.

ბიოლოგიის მკვეთრ განვითარებას უკავშირებენ მოლეკულური ბიოლოგიისა და გენეტიკის შექმნას. ამის საფუძველზე სიცოცხლეს სწავლობენ მოლეკულურ დონეზე.

ფიზიკის და ქიმიის მეცნიერების ერთობლივი მუშაობის შედეგია წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე მასალების შექმნა და ა. შ.



6. ისაუბრეთ, ქიმიის და ბიოლოგიის რომელი საკითხების შესწავლისას გამოიყენეთ ფიზიკაში ნასწავლი მასალა.

თქვენთვის ცნობილი რომელი ფიზიკური მოვლენა რომელ სამედიცინო აპარატურაში გამოიყენება?

ფიზიკა არის ბუნების შემსწავლელი ერთ-ერთი მეცნიერება.



7. ისაუბრეთ, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების კვლევის ობიექტების შესახებ. რა კავშირია მათ შორის?

## დავალება

1. მოამზადეთ რეფერატი — მედიცინაში ფიზიკის გამოყენების შესახებ.
2. მოიპოვეთ ინფორმაცია ნანოტექნოლოგიების განვითარებისა და პერსპექტივების შესახებ. მოამზადეთ რეფერატი.
3. მოამზადეთ რეფერატი სამყაროს ერთიანი სურათის შესახებ ფიზიკის თანამედროვე მიღწევებზე დაყრდნობით.

ამ საკითხის შესასწავლად გამოიყენეთ თქვენთვის ხელმისაწვდომი საინფორმაციო წყარო (ბეჭდვითი, აუდიოვიზუალური, ინტერნეტი).

6. ფოტოსინთეზი, ნივთიერების შედგენილობა, დიფუზია, გამოსხივება, ატომის აგებულება. მხედველობის ორგანო, ელექტროლიზი ...

7. ყოველ მეცნიერებას ბუნების შესასწავლად თავისი მიზნები და ხერხები აქვს. თუმცა ამ მეცნიერებებს შორის მჭიდრო კავშირია.

ფიზიკის კანონებს გეოგრაფიაში იყენებენ კლიმატის, მდინარეთა დინების, ქარების წარმოშობის ასახსნელად. ბიოლოგიაში — მათი მეშვეობით ხსნიან ცხოველთა მოძრაობას დედამიწაზე, თევზებისას კი — წყალში, ცხოველების მიერ ბგერების გამოცემასა და მოსმენას, მხედველობის ორგანოებს.

ბუნება ერთიანია, ასე რომ, დადგება მომენტი, როცა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები ერთ მეცნიერებად გაერთიანდება და ყოველი მოვლენა ერთ ასპექტში განიხილება.

## 4.5

## შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

ფიზიკა მოიცავს ჩვენი ყოველდღიური ყოფა-ცხოვრების თითქმის ყველა სფეროს.

გაეცანით ქვემოთ მოყვანილ თვისებრივ ამოცანებს და თვითონ დარწმუნდით ამაში.

1. როგორია თქვენი ვარაუდი, ისეთ გამტარზე, რომელიც ძაბვის ქვეშაა, მშრალი ხელით შეხება უფრო საშიშია თუ სველით? ვარაუდის მართებულობა დაასაბუთეთ.
2. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა მინის ორი ნაჭრის ერთმანეთზე მიწებება ისე, რომ მიწებების ადგილი არ ჩანდეს?
3. ელექტროლიზის გამოყენებით იაფფასიანი ლითონის საგნებს ხშირად ნიკელით ან ქრომით ფარავენ. ახსენით, რატომ იქცევიან ასე?
4. ახსენით, რატომ არის, რომ როდესაც ადამიანს ძალიან სცივა, უნებურად კანკალს იწყებს? გაიხსენეთ, თქვენც ხომ არ დაგმართიათ ასე?
5. ალბათ შეგიძინებიათ, ზაფხულში ნამი წარმოიქმნება. ზამთარში კი თრთვილი. მონმენდილ თუ ღრუბლიან ამინდში ხდება ეს მოვლენები უფრო ხშირად? ახსენით, რატომ?
6. ჭექა-ქუხილისას რეკომენდებული არ არის ხის ქვეშ დგომა. ახსენით, რატომ?
7. როგორია თქვენი ვარაუდი, ძლიერი შტორმისას იცვლება თუ არა წყლის ტემპერატურა? ვარაუდის მართებულობა დაასაბუთეთ.
8. ცხადია, მოღრუბლულ ცას და ღრუბლებს ხშირად დაჰკვირვებოხართ. ღრუბელი ზამთარში უფრო დაბლაა თუ ზაფხულში? პასუხი დაასაბუთეთ.
9. ვფიქრობთ, მთვარეს ხშირად დაჰკვირვებოხართ და მასზე ლაქებიც შეგიძინებიათ. როგორია თქვენი ვარაუდი, რატომ მოჩანს მთვარეზე ლაქები?
10. ალბათ გსმენიათ, რომ რადიოაქტიურ პრეპარატებს ტყვიის სქელკედლიან კონტეინერებში ინახავენ. ახსენით, რატომ?
11. გისრიალიათ თხილამურებით? დაჰკვირვებოხართ მოთხილამურეებს შეჯიბრებისას (ეგებ ტელევიზორშიც) როდესაც დიდი სიჩქარის განვითარება სურთ? როგორ მდგომარეობაში აქვთ სხეული მოძრაობისას? ახსენით, რატომ?

1. ძაბვის ქვეშ მყოფ გამტართან სველი ხელით შეხება უფრო საშიშია, რადგანაც ტენი ხელებზე შეიცავს მარილებს, რომლებიც დისოციაციისას ქმნის იონებს, რის გამოც სველი ხელი დენის უფრო კარგი გამტარია, ვიდრე მშრალი.

2. შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ ნებოს გარდატეხის მაჩვენებელი მინის გარდატეხის მაჩვენებლის ტოლი იქნება.

3. ნიკელი და ქრომი ნაკლებად განიცდის კოროზიას.

4. კანკალი არის კუნთების უნებლიე შეკუმშვა-გაფართოება დიდი სიხშირით. სრულდება მუშაობა, რომელიც სითბოდ გარდაიქმნება. მაშასადამე, კანკალი გადაცივებისაგან დასაცავად ორგანიზმში სითბოს წარმოქმნის გაძლიერებას უზრუნველყოფს.

5. ნამი ატმოსფერული ნალექია, რომელიც წარმოიქმნება აგრილებისას საღამოს, ღამით და დილით წვეთების სახით დედამიწის ზედაპირზე არსებულ საგნებზე და მცენარეებზე.

გვიან შემოდგომასა და ზამთარში, როცა ღამე ისე ცივია, რომ დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურა  $0^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბალია, მაშინ წყლის წვეთები იყინება და წარმოიქმნება ყინულის კრისტალები ანუ თრთვილი.

ეს მოვლენები ძირითადად მოწმენდილ ამინდში ხდება, რადგან ამ დროს დედამიწის ზედაპირი და მასზე მოთავსებული სხეულები უფრო მეტად ცივდებიან სითბური ენერგიის გამოსხივების გამო, ვიდრე ღრუბლიან ამინდში (ღრუბლები სითბურ გამოსხივებას ირეკლავს და აბრუნებს დედამიწაზე).

6. როდესაც ხეს მეხი დაეცემა, ჭექა-ქუხილისას ზოგჯერ დენი ხის ქვეშ მდგომ ადამიანზეც გადადის, რადგანაც ადამიანის სხეული დენის გამტარია.

7. შტორმისას წყლის ერთი ფენის მეორესთან ხახუნისას სრულდება მუშაობა, რის შედეგადაც მექანიკური ენერგიის ნაწილი სითბურ ენერგიად გარდაიქმნება — წყლის ტემპერატურა იზრდება.

8. ღრუბელი ზამთარში უფრო დაბლაა, ვიდრე ზაფხულში. ასეც უნდა იყოს, რადგან ჰაერის ცივი ფენა, რომელშიც წყლის ორთქლი კონდენსირდება და წარმოიქმნება ღრუბელი, ზამთარში უფრო ახლოსაა დედამიწის ზედაპირთან, ვიდრე ზაფხულში.

9. მთვარის ზედაპირი არაერთგვაროვანია. სხვადასხვა სახის ქანებზე დაცემული მზის სხივები სხვადასხვაგვარად აირეკლება. ის ადგილები, საიდანაც არეკლილი სინათლე დიდი რაოდენობით მოდის ჩვენამდე, უფრო განათებული გვეჩვენება იმ ადგილებთან შედარებით, საიდანაც სინათლე შთანთქმისა და ნაწილობრივ არეკვლის გამო ჩვენამდე ნაკლები ინტენსივობით მოდის. ამის გამო დამკვირვებელი ნათელ ფონზე ბნელ ლაქებს ხედავს.

10. რადიოაქტიური გამოსხივება ძალიან საშიშია ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. ისინი ინვევენ სისხლის გათეთრებას, ავთვისებიან სიმსივნეს და სხვა სხივურ დაავადებებს. ამის გამო აუცილებელია თავდაცვის სპეციალური ზომების მიღება. დადგენილია, რომ 1 სმ სისქის ტყვიის ფირფიტა მაქსიმალური შეღწევისუნარიანობის  $\gamma$  სხივების ინტენსივობას თითქმის ორჯერ ამცირებს. მაშასადამე, საშიში რადიაციის თავიდან ასაცილებლად რადიოაქტიურ პრეპარატებს ინახავენ სქელკედლიან ტყვიის კონტეინერში.

11. როდესაც მოთხილამურეს დიდი სიჩქარის განვითარება სურს, მოძრაობს წინ დახრილი, იგი თითქოს თავით ჰაერს მიაპოვს. ამის შედეგად ჰაერთან შეხების ფართობის შემცირების გამო, მცირდება ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა.

12. ატმოსფერული წნევისას  $8^{\circ}\text{C}$ -იანი წყალი ამწოვი ტუმბოს მეშვეობით დაახლოებით 10 მ სიმაღლეზე აიტანეს. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა იმავე ტუმბოთი მდულარე წყლის ამოტუმბვა? ახსენით, რატომ?
13. ალბათ მოგისმენიათ ნაკადულის რაკრაკი. როგორია თქვენი ვარაუდი, რატომ რაკრაკებს ნაკადული?
14. როგორია თქვენი ვარაუდი, როდის ავითარებს ავტომობილის ძრავა მეტ სიმძლავრეს, თანაბარი თუ აჩქარებული მოძრაობისას?
15. როგორია თქვენი აზრი, რატომ არ არის რეკომენდებული გაოფლიანებული ადამიანისთვის ცივ და მშრალ ჰაერზე გასვლა?

**ნომრის მიხედვით ცხრილში მიუთითეთ, ფიზიკასთან ერთად რომელ სფეროს მიეკუთვნება თითოეული ამოცანა?**

|               |  |  |  |  |
|---------------|--|--|--|--|
| ქიმია         |  |  |  |  |
| ბიოლოგია      |  |  |  |  |
| ტექნიკა       |  |  |  |  |
| სპორტი        |  |  |  |  |
| გეოგრაფია     |  |  |  |  |
| მედიცინა      |  |  |  |  |
| ტრანსპორტი    |  |  |  |  |
| ყოფა-ცხოვრება |  |  |  |  |
| ასტრონომია    |  |  |  |  |

12. ამნოვი ტუმბოთი მდულარე წყლის ამოტუმბვა შეუძლებელია, რადგანაც მდულარე წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია.

13. ნაკადულის რაკრაკის ერთ-ერთი მიზეზი წყლის ნაკადის მიერ ჰაერის ნაწილაკების მიტაცება და წყალში ჰაერის ბუშტების წარმოქმნაა. შემდეგ ეს ბუშტები სკდება და ნაკადული რაკრაკებს.

14. ავტომობილის ძრავა მეტ სიმძლავრეს ავითარებს აჩქარებული მოძრაობისას, რადგან ამ დროს ენერგია იხარჯება არა მარტო ხახუნის ძალისა და ჰაერის წინააღმდეგობის დასაძლევად, არამედ ავტომობილის კინეტიკური ენერგიის გადიდებაზე.

15. მშრალ ამინდში ოფლი ინტენსიურად ორთქლდება, ადამიანის ორგანიზმი სითბოს ინტენსიურად კარგავს, რამაც შეიძლება გაცივება გამოიწვიოს.

ნომრის მიხედვით ცხრილში მიუთითეთ, ფიზიკასთან ერთად რომელ სფეროს მიეკუთვნება თითოეული ამოცანა?

| ქიმია         | 1  | 2  |   |    |
|---------------|----|----|---|----|
| ბიოლოგია      | 4  |    |   |    |
| ტექნიკა       | 3  | 12 |   |    |
| სპორტი        | 11 |    |   |    |
| გეოგრაფია     | 7  |    |   |    |
| მედიცინა      | 15 | 10 |   |    |
| ტრანსპორტი    | 14 |    |   |    |
| ყოფა-ცხოვრება | 5  | 6  | 8 | 13 |
| ასტრონომია    | 9  |    |   |    |

