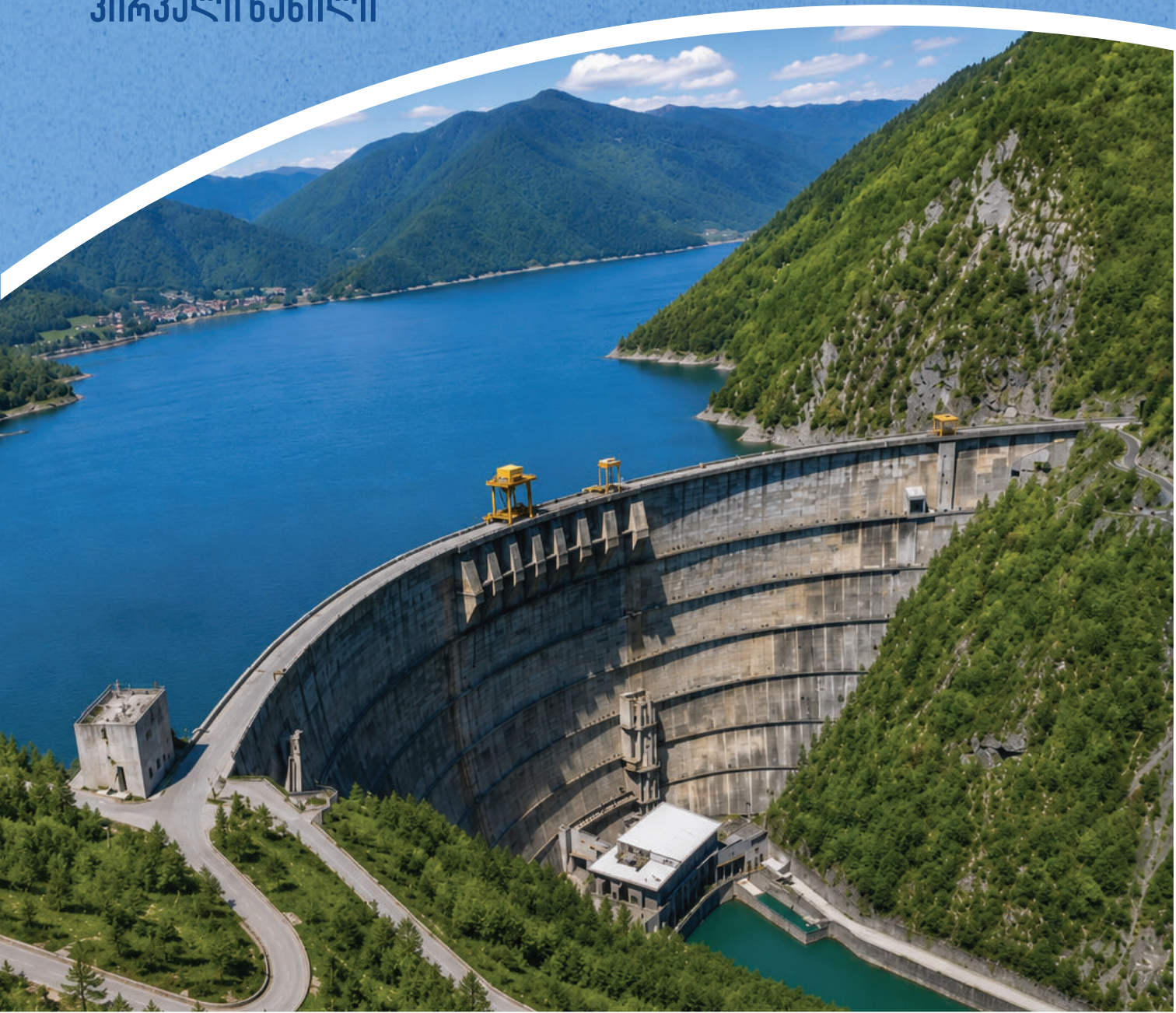
განათლების, მეცნიერებისა და
ახალგაზრდობის სამინისტრო

# ფიზიკა 10

## მასწავლებლის წიგნი
## პირველი ნაწილი



მერაბ ტუღუში  თეიმურაზ შენგელია  ოლეგ გაბრიაძე
ნათელა ჩაჩავა  გიორგი ლომიძე

# ფიზიკა 10

## მასწავლებლის წიგნი
## პირველი ნაწილი

სახელმძღვანელო შექმნილია
საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტროს მიერ

საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო
თბილისი
2026

**ფიზიკა**
X კლასი, I ნაწილი
მასწავლებლის წიგნი

საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო
პირველი გამოცემა, თბილისი, 2026 წ.

ავტორები:
მერაბ ტუღუში
თეიმურაზ შენგელია
თანაავტორები:
ოლეგ გაბრიაძე
ნათელა ჩაჩავა

ავტორთა ჯგუფის ხელმძღვანელი: გიორგი ლომიძე

სამეცნიერო რეცენზენტი: მირიან ტაბიძე
ფსიქოლოგი-მეთოდისტი: ნუცა საღარაძე
რედაქტორი: დარეჯან ინჯგია
ილუსტრატორი: ნინო ხვინგია
დამკაბადონებელი: ლია მოსეშვილი
ყდის დიზაინერი: ნინო ხვინგია

სახელმძღვანელო განკუთვნილია მეათე კლასის მასწავლებლებისთვის და შექმნილია ეროვნული სასწავლო გეგმის მოთხოვნების შესაბამისად.

სახელმძღვანელოს კომპლექტის შემადგენლობა:
მოსწავლის წიგნი I და II ნაწილები;
მასწავლებლის წიგნი I და II ნაწილები.



© საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო

## სარჩევი


1. სახელმძღვანელოს კონცეფცია 4

2. სახელმძღვანელოს პარაგრაფების აგებულება 5

3. ეროვნული სასწავლო გეგმის სტანდარტი ფიზიკაში 6

4. სასწავლო შინაარსის შესაბამისობა ესგ-ს სავალდებულო თემებსა და სამიზნე ცნებებთან 10

5. პარაგრაფების მეთოდური გზამკვლევი 11

თავი I. ელექტრული მოვლენები

1.1. სხეულთა დაელექტროება 11
1.2. ელემენტარული მუხტი 20
1.3. სხეულთა დაელექტროების ხერხები. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი 29
1.4. კულონის კანონი 39
1.5. ელექტრული ველი 53
1.6. ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები 62
1.7. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი. ძაბვა 74
1.8. ელექტრული დენი. დენის წყარო. ელექტრული წრედი 89
1.9. დენის ძალა და მისი ერთეული 95
1.10. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამტარის წინაღობა. კუთრი წინაღობა 106
1.11. გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება 119
1.12. დენის წყაროს ემძ. ომის კანონი სრული წრედისთვის 132
1.13. ელექტრული დენი ლითონებსა და სითხეებში. ელექტროლიზის მოვლენა 147

თავი I I. მაგნიტური მოვლენები

2.1. ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები 157

2.2. მაგნიტური ველი 167

2.3. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი. მაგნიტური ინდუქციის წირები 177

2.4. მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარსა და მოძრავ მუხტზე 188

2.5. დედამიწის მაგნიტური ველი. კომპასი. პოლარული ციალი 200

დამატებითი ამოცანები 207

# თავი 1. X კლასის ფიზიკის სახელმძღვანელოს კონცეფცია

მეათე კლასის ფიზიკის სახელმძღვანელო (მოსწავლის წიგნი და მასწავლებლის წიგნი) შემუშავებულია ეროვნული სასწავლო გეგმის შესაბამისად და ეფუძნება ზოგადი განათლების ეროვნულ მიზნებს. მისი შინაარსი, სტრუქტურა და მეთოდური კომპონენტები აგებულია საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლების თანამედროვე პრინციპების გათვალისწინებით და უზრუნველყოფს სწავლა-სწავლების პროცესის ეფექტიან დაგეგმვას, განხორციელებასა და შეფასებას. ეროვნული სასწავლო გეგმის მისია და მიზნები სახელმძღვანელოში რეალიზდება სამი ძირითადი პრინციპის საფუძველზე:

**I. სიღრმისეული სწავლა-სწავლების უზრუნველყოფა** - სახელმძღვანელო ორიენტირებულია ცნებების სიღრმისეულ და მრავალმხრივ დამუშავებაზე. მისი მიზანია:

- **მოსწავლის შინაგანი ძალების გააქტიურება და მაღალი სააზროვნო უნარების განვითარება:** აქცენტი კეთდება კრიტიკულ და შემოქმედებით აზროვნებაზე, მონაცემთა ანალიზზე, ვარაუდების გამოთქმასა და ექსპერიმენტის დაგეგმვაზე.
- **ცოდნის ეტაპობრივი აგება:** პარაგრაფების სტრუქტურა მიჰყვება ნაბიჯ-ნაბიჯ შემეცნების პროცესს - წინარე ცოდნის გააქტიურებიდან ახალი ცოდნის გააზრებამდე.
- **საგანთაშორისი კავშირები და ცოდნის ტრანსფერი (გადატანა):** საკითხების განხილვა ხდება სხვა საბუნებისმეტყველო საგნებთან (ქიმია, ბიოლოგია) ინტეგრირების შესაძლებლობით და მიღებული ცოდნა უკავშირდება რეალურ ცხოვრებას (მედიცინა, ტექნოლოგია, ეკოლოგია, მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა, ინჟინერია).
- **სწავლის სტრატეგიების დაუფლება:** სასწავლო აქტივობები ხელს უწყობს მოსწავლეთა მიერ საკუთარი სწავლის პროცესის გააზრებას, გამოყენებული სტრატეგიების შეფასებას, მიღებული შედეგების ანალიზსა და შემდგომი სასწავლო ნაბიჯების დაგეგმვას.
- **მყარი, დინამიკური და ფუნქციური ცოდნის შეძენა:** ცოდნა არ შემოიფარგლება თეორიით — იგი ვლინდება ამოცანებში, პრაქტიკულ, ლაბორატორიულ, შემაჯამებელ და შემოქმედებით დავალებებში.

**II. პოზიტიური სასწავლო გარემო და ფუნქციური უნარები**

აქტივობების განხორციელებისას კლასის ორგანიზების შემოთავაზებული ფორმები ემსახურება პოზიტიური სასწავლო გარემოს შექმნას. მრავალფეროვანი დავალებები მიმართულია ძირითადი ფუნქციური უნარების კომპლექსურ განვითარებაზე:

- **კრიტიკული აზროვნება:** ვითარდება ტექსტში ჩართული ანალიტიკური კითხვებით, მონაცემთა/გრაფიკების ინტერპრეტაციით, დასაბუთებითა და ვარაუდების შემოწმებით.
- **შემოქმედებითობა:** ყალიბდება პრობლემის გადაჭრის ალტერნატიული გზებისა და მოდელების შემუშავებით; ცდებისა და კვლევების დაგეგმვით;
- **თანამშრომლობა:** ყალიბდება წყვილებში და ჯგუფურ პრაქტიკულ მუშაობებში, საერთო მიზნისა და პასუხისმგებლობის გაზიარებით.
- **კომუნიკაცია:** ვითარდება სადისკუსიო საკითხების, კვლევის შედეგების პრეზენტაციისა და სამეცნიერო ენით აზრის მკაფიოდ, დასაბუთებულად ჩამოყალიბების გზით.
- **ხასიათი / ნებელობა:** ყალიბდება საკუთარი სწავლის პროცესის მართვის, თვითშეფასებისა და ინდივიდუალური შესაძლებლობის რეალიზების მხარდაჭერით.
- **მოქალაქეობა:** ვითარდება ეკოლოგიური, ადგილობრივი და გლობალური პრობლემების (მაგ: მეცნიერების მიღწევები, სამეცნიერო ეთიკა) განხილვისას.

**III. ინკლუზიური განათლება და დიფერენცირებული სწავლება**

სასწავლო-მეთოდური კომპლექტი დაფუძნებულია სწავლის უნივერსალური დიზაინის (UDL) პრინციპებზე და ითვალისწინებს მოსწავლეთა ინდივიდუალურ მზაობასა და სწავლის სტილს:

**დიფერენცირებული დავალებები:** მოსწავლის წიგნი და მასწავლებლის წიგნი მოიცავს მხარდამჭერ, არჩევით და გაღრმავებულ აქტივობებს.

**სპეციალური საჭიროებების მხარდაჭერა:** მასწავლებლის წიგნში წარმოდგენილია კონკრეტული ინსტრუქციები შემოქმედებითი დავალებებისა და ტექსტური მასალის ადაპტირებისთვის (სსსმ მოსწავლეთათვის).

**აღქმის მრავალფეროვანი არხები:** ტექსტში ჩართულია დამხმარე ვიზუალური სქემები, სურათები, მინიშნებები, QR-კოდები ვიდეო და სხვა რესურსებისთვის, დამატებითი საკითხავი მასალები მაღალი აკადემიური ინტერესის მქონე მოსწავლეებისთვის.

## თავი 2. სახელმძღვანელოს პარაგრაფების აგებულება

**მოსწავლის წიგნი:**

- შესავალი, ინტერესის აღძვრა;
- საკვლევი კითხვა;
- რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ;
- ახალი მასალის შინაარსი ქვესაკითხებად;
- საკლასო აქტივობები:
  - ✓ კითხვები დისკუსიისთვის;
  - ✓ უპასუხეთ კითხვებს (შემაჯამებელი კითხვები);
  - ✓ რა ვისწავლეთ (პარაგრაფის ძირითადი დებულებები);
  - ✓ ეს საინტერესოა (დამატებითი საკითხავი მასალა);
- საშინაო აქტივობები:
  - ✓ საშინაო ცდები;
  - ✓ ამოცანები და ტესტები;

**მასწავლებლის წიგნი:**

- აქტივობების მოკლე მიმოხილვა;
- სასწავლო შედეგები;
- სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები;
- შეფასების კრიტერიუმები;
- აქტივობების კომპონენტები და მათი აღწერა;
- შუალედური და საბოლოო დასკვნები;
- განმავითარებელი შეფასება;
- მასწავლებლის ინსტრუქცია;
- კითხვების პასუხები;
- საშინაო აქტივობების პასუხები/ამოცანების ამოხსნები;

# თავი 3. ეროვნული სასწავლო გეგმის სტანდარტი ფიზიკაში

## საგანი - „ფიზიკა“

**სწავლა-სწავლების მიზნები**

ფიზიკის სწავლა-სწავლება მიზნად ისახავს:

- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების გაცნობას/შესწავლას, ფიზიკის კანონზომიერებების მეცნიერულ კონტექსტში გააზრებას; ინტერესის გაღვივებას ფიზიკის მიმართ, კვლევითი კომპეტენციების განვითარებას;
- ფიზიკური მოვლენების გამოსაკვლევი ექსპერიმენტების/კვლევითი სამუშაოების დაგეგმვა-განხორციელებას;
- საბაზო საფეხურზე საგან ფიზიკაში შეძენილ კომპეტენციებზე დაყრდნობით ახალი ცოდნის განვითარებას, კვლევითი უნარების გაღრმავებას;
- ფიზიკასა და მის მომიჯნავე საგნებში შეძენილი ცოდნის ურთიერთდაკავშირების გზით ბუნების მოვლენებისა და სამყაროს ერთიანობის აღქმას;
- თანამედროვე ტექნოლოგიების შექმნა-განვითარებაში ფიზიკის როლის წარმოჩენას;

**ა) საშუალო საფეხური - სწავლის შედეგები**

საგნის „ფიზიკა“ ფარგლებში საშუალო საფეხურის შედეგების მიღწევის/კომპეტენციების განვითარების საფუძველს ქმნის ცნებების **„ნივთიერება და ველი“, "ენერგია", "ძალა", „ფიზიკური პროცესი“** ურთიერთდაკავშირებული გააზრება. მათი გააზრების საფუძველზე მოსწავლეს შეუძლია:

| **სწავლის შედეგი** | **შეფასების ინდიკატორი** - მოსწავლეს შეუძლია: | **სამიზნე ცნების მოცულობა** - მოსწავლე აცნობიეროს რომ: |
|---|---|---|
| (1) ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების რაოდენობრივი და თვისებრივი მახასიათებლების შესახებ მსჯელობა, მიღებული ცოდნის თანამედროვე ტექნოლოგიების შექმნა-განვითარებასთან დასაკავშირებლად და სამყაროს აგებულების შესახებ წარმოდგენების ჩამოსაყალიბებლად; | ➢ ნივთიერებათა/სხეულთა ფიზიკური თვისებების **ახსნა** ნივთიერებათა გვარობასა და აგრეგატულ მდგომარეობაზე დაყრდნობით;<br>➢ ნივთიერებათა ფიზიკური თვისებების ცვლილების თვისებრივი **დახასიათება;** ამ ცვლილების **დაკავშირება** ცვლილების გამომწვევ მიზეზებთან;<br>➢ ერთი და იგივე აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფ ნივთიერებათა **შედარება** მათი ფიზიკური თვისებების მიხედვით; სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფი ერთი და იმავე ნივთიერების ფიზიკური თვისებების შედარება;<br>➢ გრავიტაციული/ელექტრული/მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (მასა და მუხტი) **დაკავშირება** მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა;<br>➢ ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების ცოდნის მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების **დასაბუთება** და ამ ცოდნის დაკავშირება თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებასთან;<br>➢ ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების | <u>სამიზნე ცნება **"ნივთიერება და ველი"**</u>. ყველაფერი, რაც ბუნებაში არსებობს, არის მატერია. იგი ორი სახისაა: ნივთიერება და ველი. ყველა ნივთიერება შედგება უმცირესი ნაწილაკებისგან (მოლეკულებისგან, ატომებისგან და საბოლოოდ, ელემენტარული ნაწილაკებისგან); ნივთიერების ფიზიკური თვისებები დამოკიდებულია ამ ნივთიერების გვარობაზე, მის აგრეგატულ მდგომარეობაზე, მის შემადგენელ ნაწილაკებზე და სტრუქტურაზე, ხოლო ველის ფიზიკური თვისებები - ველის შემქმნელი ობიექტების პარამეტრებზე (მასა, მუხტი) და ამ ობიექტების განლაგებაზე; მატერიის ფიზიკური თვისებები შეიძლება შეიცვალოს შიდა/გარე ფაქტორებით. ეს თვისებები და მათი ცვლილება ხასიათდება ფიზიკური სიდიდეებით, რომლებიც იზომება ექსპერიმენტულად. |

| | | |
|---|---|---|
| | წინასწარ **განჭვრეტა** და მისი **შედარება** ექსპერიმენტის შედეგებთან.<br>➢ ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა. | |
| (2) ენერგიის სახეების რაოდენობრივი და თვისებრივი მახასიათებლების შესახებ მსჯელობა, ენერგიის შენახვის კანონის გააზრება, სხვადასხვა სფეროში ცხოვრებისეულ და სიტუაციურ ამოცანებში სისტემების ენერგიის გარდაქმნების გასაანალიზებლად და განახლებადი და არაგანახლებადი ენერგიის მოხმარების შესახებ ცნობიერების ასამაღლებლად. | ➢ ენერგიის სახეების ურთიერთგარდაქმნის თვისებრივი და რაოდენობრივი **დახასიათება**; ენერგიის შენახვის კანონის გამოყენებით ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების **ახსნა;**<br>➢ სისტემის შიგნით ენერგიის გარდაქმნებისა და სისტემის სრული ენერგიის ცვლილების მოვლენების **ახსნა** გამომწვევი მიზეზების გათვალისწინებით;<br>➢ დედამიწაზე განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების **დასაბუთება,** განახლებადი და არაგანახლებადი ენერგორესურსების გამოყენებისას მიღებული და მოსალოდნელი შედეგების (მათ შორის ეკოლოგიური პრობლემების/გამოწვევების) **შედარება;**<br>➢ ენერგიის სახეების (მექანიკური, შინაგანი, ელექტრული) თვისებრივი და რაოდენობრივი **დახასიათება.** შესაბამისი მახასიათებლების მიხედვით ერთმანეთთან **შედარება;**<br>➢ თითოეული სახის ენერგიის **დაკავშირება** სხეულის/სხეულთა სისტემის მიერ მუშაობის შესრულების უნართან (რაოდენობრივი კავშირები იგულისხმება მხოლოდ მექანიკური და ელექტრული ენერგიისთვის);<br>➢ ენერგიის სახეების ურთიერთგარდაქმნის გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების **პროგნოზირება** და მისი **შედარება** ექსპერიმენტის შედეგებთან.<br>➢ ენერგიის სახეებთან და მათ გარდაქმნებთან დაკავშირებული სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა. | სამიზნე ცნება **"ენერგია".** სხეულთა ერთობლიობა ქმნის სისტემას. სხეულთა სისტემას, მასში შემავალი სხეულების მოძრაობის ან/და მათი ერთმანეთთან ურთიერთქმედების გამო გააჩნია გარკვეული ქმედების უნარი-მუშაობის შესრულების უნარი (გააჩნია ენერგია). ენერგია სისტემის მდგომარეობის ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია. სისტემას/სისტემის შემადგენელ სხეულებს გააჩნიათ სხვადასხვა სახის ენერგია **(მაგალითად: მექანიკური (კინეტიკური და პოტენციური), შინაგანი),** რომელიც შესაძლებელია გარდაიქმნას ერთი სახიდან მეორეში. სისტემის სრული ენერგიის ცვლილება შესაძლებელია მხოლოდ გარე ზემოქმედებით, შესაბამისად, ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერგია არ იცვლება დროის განმავლობაში. |
| (3) ბუნების ძალების რაოდენობრივი და თვისებრივი მახასიათებლების შესახებ მსჯელობა ძალის მოქმედებით გამოწვეული შედეგების გასაანალიზებლად და ბუნების მოვლენებს შორის მიზეზ- | ➢ ადვილად დაკვირვებადი ძალების თვისებრივი და რაოდენობრივი **დახასიათება**, ყოველდღიურობაში მათი მოქმედების მაგალითების ამოცნობა და ამ მოქმედებით გამოწვეული შედეგების **ახსნა;**<br>➢ ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი **დახასიათება** (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების | სამიზნე ცნება **"ძალა".** ბუნებაში მიმდინარე მოვლენების უმრავლესობა სხეულთა ურთიერთქმედებით ხორციელდება. სხეულებს შორის ურთიერთქმედება ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით - ძალით. ძალის **(მაგალითად, სიმძიმის ძალა, დრეკადობის ძალა, ხახუნის ძალა, ამომგდები ძალა, ელექტრული ძალა)** მოქმედება |

| | | |
|---|---|---|
| შედეგობრივი კავშირების გასააზრებლად | მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების **დასაბუთება** ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.<br>➢ ადვილად დაკვირვებადი ძალების **შედარება** მათი წარმოქმნის მექანიზმისა და მოქმედების ხასიათის მიხედვით;<br>➢ ადვილად დაკვირვებადი ძალების **დაკავშირება** (შესაბამისი კანონზომიერების გამოკვეთა) მათი მოქმედებით გამოწვეულ შედეგებთან (მაგალითად, სხეულთა წონასწორობა/წონასწორობის დარღვევა, სიჩქარის ცვლილება, სხეულთა დეფორმაცია, ზედაპირზე წნევის წარმოქმნა). ამ შედეგების თვისებრივი და რაოდენობრივი **დახასიათება**;<br>➢ ადვილად დაკვირვებადი ძალების გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების **პროგნოზირება** და მისი **შედარება** ექსპერიმენტის შედეგებთან.<br>➢ ადვილად დაკვირვებადი ძალების გამოყენებით სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა. | განსაზღვრავს სხეულის მოძრაობის ცვლილებას ან/და მის დეფორმაციას, შედეგი კი დამოკიდებულია ძალის მოდულზე, მიმართულებასა და მოდების წერტილზე. |
| (4) ბუნებაში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების რაოდენობრივი და თვისებრივი მახასიათებლების შესახებ მსჯელობა, ფიზიკურ პროცესებში შესაბამისი მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების გაანალიზება ბუნების კანონზომიერებების მეცნიერულ კონტექსტში გასააზრებლად | ➢ ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების (მაგალითად: ელექტომაგნიტური; თერმოდინამიკური; მექანიკური) თვისებრივი და რაოდენობრივი **დახასიათება.**<br>➢ ფიზიკურ მოვლენათა/პროცესთა **შედარება** მათი მახასიათებლების მიხედვით;<br>➢ ბუნების მოვლენების აღმწერი კანონების მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების **დასაბუთება** და ამ კანონების გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;<br>➢ სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი **შედარება** ექსპერიმენტის შედეგებთან;<br>➢ ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან **დაკავშირება** და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების **ახსნა.** | <u>სამიზნე ცნება **"ფიზიკური პროცესი"**</u>**.** ბუნებაში ყოველდღიურად ვხვდებით უამრავ ცვლილებას, რომელთაც ბუნების მოვლენებს ვუწოდებთ. აღნიშნული მოვლენების დასახასიათებლად საჭიროა შესაბამისი ფიზიკური პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება. ყველა ფიზიკურ პროცესს **(მაგალითად, თანაბარი მოძრაობა, თანაბარაჩქარებული მოძრაობა, მუშაობის შესრულება)** აქვს მიზეზი და მოჰყვება შედეგი, რომელთა დაკავშირებაც შესაძლებელია ბუნების კანონების გამოყენებით. |

**ბ) სასწავლო თემები**

| თემა | თემის აღწერილობა |
|---|---|
| ელექტრომაგნეტიზმი | • ელემენტარული მუხტი, მუხტის შენახვის კანონი; მუხტებს შორის ურთიერთქმედება - კულონის კანონი;<br>• ელექტრული ველი. ელექტრული ველის დაძაბულობა. წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა; დაძაბულობის ძალწირები; სუპერპოზიციის პრინციპი;<br>• ელექტრული ველის პოტენციალი, პოტენციალთა სხვაობა - ძაბვა;<br>• ელექტრული დენი. დენის წყარო (ზოგადი დახასიათება). ომის კანონი სრული წრედისათვის. მოკლე ჩართვა.<br>• ელექტრული დენი სხვადასხვა გარემოში (ლითონში, სითხეში, დენის გავლის პირობები და მუხტის გადამტანები თითოეული გარემოს განხილვისას);<br>• მაგნიტი, მაგნიტური ველი. დენის მაგნიტური ველი;<br>• მაგნიტური ველის ინდუცქია; ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა (ამპერის ძალა);<br>• ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის მხრიდან მასში მოძრავ მუზტზე მოქმედი ძალა (ლორენცის ძალა);<br>• დედამიწის მაგნიტური ველი და მისი გამოვლინებები (პოლარული ციალი, კომპასი); ელექტრომაგნიტი; |
| რხევები და ტალღები | • რხევითი მოძრაობა. მათემატიკური და ზამბარიანი ქანქარა. რხევის პერიოდი, სიხშირე და ამპლიტუდა - არ იგულისხმება მერხევი სხეულის კოორდინატის, სიჩქარისა და აჩქარების დროზე დამოკიდებულება);<br>• თავისუფალი და იძულებითი რხევები - რეზონანსი;<br>• ტალღა (სიხშირე, პერიოდი და ტალღის სიგრძე); გრძივი და განივი ტალღა.<br>• ბგერა. ბგერა ყოფა - ცხოვრებაში;<br>• ელექტრომაგნიტური ტალღა (სიხშირის სკალა), ელექტრომაგნიტური ტალღა ყოფა-ცხოვრებაში (უსაფრთხოების წესები); |
| ატომური და ბირთვული ფიზიკა | • ატომის აგებულება, პლანეტარული მოდელი<br>• ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კვანტი. ფოტონი. ფოტონის ენერგია.<br>• ატომის სტაციონალური მდგომარეობა. ბორის პოსტულატები. ატომის ენერგეტიკული სპექტრი. ატომის მიერ ფოტონის შთანთქმა და გამოსხივება; სინათლის წნევა.<br>• ატომის ბირთვი. რადიოაქტიური გამოსხივება. $\alpha$, $\beta$ და $\gamma$ გამოსხივება. რადიოაქტიური დაშლის კანონი. ნახევარდაშლის პერიოდი.<br>• თერმობირთვული და ბირთვული ჯაჭვური რეაქციები. ბირთვული რეაქტორი. ბირთვული ენერგიის გამოყენება. |

## თავი 4. მოსწავლის წიგნის შინაარსის შესაბამისობა ეროვნული სასწავლო გეგმის სტანდარტით განსაზღვრულ სავალდებულო თემების შინაარსთან და სამიზნე ცნებებთან

| თემა, თავი, პარაგრაფი | სამიზნე ცნებები | | | |
|---|---|---|---|---|
| **ელექტრული მოვლენები** | **ნივთიერება და ველი** | **ძალა** | **ენერგია** | **ფიზიკური პროცესი** |
| 1. სხეულთა დაელექტროება | | | | |
| 2. ელემენტარული მუხტი | | | | |
| 3. სხეულთა დაელექტროების ხერხები. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი | | | | |
| 4. კულონის კანონი | | | | |
| 5. ელექტრული ველი | | | | |
| 6. ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები | | | | |
| 7. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი. ძაბვა | | | | |
| 8. ელექტრული დენი. დენის წყარო. ელექტრული წრედი | | | | |
| 9. დენის ძალა და მისი ერთეული | | | | |
| 10. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამტარის წინაღობა. კუთრი წინაღობა | | | | |
| 11. გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება | | | | |
| 12. დენის წყაროს ემძ. ომის კანონი სრული წრედისთვის | | | | |
| 13. ელექტრული დენი ლითონებსა და სითხეებში. ელექტროლიზის მოვლენა | | | | |
| **მაგნიტური მოვლენები** | **ნივთიერება და ველი** | **ძალა** | **ენერგია** | **ფიზიკური პროცესი** |
| 1. ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები | | | | |
| 2. მაგნიტური ველი | | | | |
| 3. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი. მაგნიტური ინდუქციის წირები | | | | |
| 4. მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარსა და მოძრავ მუხტზე | | | | |
| 5. დედამიწის მაგნიტური ველი. კომპასი. პოლარული ციალი | | | | |

## თავი 5. პარაგრაფების მეთოდური გზამკვლევი

### პარაგრაფი №1.1 — სხეულთა დაელექტროება

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | მოტივაცია, კვლევა და ახალი ცოდნის აგება | როგორ იმუხტება სხეული და როგორ ურთიერთქმედებენ დამუხტული სხეულები? | მოსწავლე შეძლებს წინასწარ გამოთქვას ვარაუდი, ექსპერიმენტულად დააკვირდეს სხეულის დაელექტროებას ხახუნით, განასხვაოს ელექტრული მიზიდვა და განზიდვა. | ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების თვისებრივი დახასიათება. ფიზიკური პროცესი — პროცესის გამომწვევი მიზეზისა და შედეგის დაკავშირება. |
| 2 | კვლევა, შედარება და ცნების ფორმირება | ორი სახის ელექტრობა | მოსწავლე შეძლებს მინისა და ქარვის/ებონიტის ღეროებით ჩატარებული ცდის საფუძველზე შეადაროს ერთნაირი და განსხვავებული ნიშნის მუხტის მქონე სხეულების ურთიერთქმედება, განასხვაოს დადებითი და უარყოფითი მუხტი და ჩამოაყალიბოს მიზიდვა-განზიდვის წესი. | ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების თვისებრივი დახასიათება და ურთიერთქმედების შედეგის ახსნა. ფიზიკური პროცესი — ექსპერიმენტის შედეგების შედარება და მიზეზშედეგობრივი კავშირის გაანალიზება. |
| 3 | ცოდნის სისტემატიზაცია, ტრანსფერი და განმავითარებელი შეფასება | როგორ აღმოვაჩინოთ ელექტრული მუხტი? | მოსწავლე შეძლებს გააანალიზოს საპირისპირო ნიშნით დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედება, თვისობრივად განასხვავოს გამტარი და იზოლატორი, ახსნას ელექტროსკოპის მუშაობის პრინციპი და ძირითადი ცნებები ერთიან სქემაში დააკავშიროს ანუ დაინახოს სისტემური და მიზეზშედეგობრივი კავშირები შესწავლილ ფიზიკურ მოვლენებსა და ცნებებს შორის. | ნივთიერება და ველი — სხეულთა ფიზიკური თვისებების გააზრება მუხტის გადაცემის უნართან მიმართებით. ფიზიკური პროცესი — ელექტრული მოვლენის თვისებრივი აღწერა და დაკვირვებული შედეგის ახსნა. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- აღწეროს ხახუნით დაელექტროების მარტივი მაგალითები და ექსპერიმენტულად ამოიცნოს ელექტრული ურთიერთქმედების გამოვლინება;
- განასხვაოს ელექტრული მიზიდვა და ელექტრული განზიდვა;
- ექსპერიმენტის საფუძველზე დაასკვნას, რომ არსებობს ორი სახის ელექტრული მუხტი — დადებითი და უარყოფითი;
- ჩამოაყალიბოს წესი: ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულები განიზიდებიან, განსხვავებული ნიშნით დამუხტული სხეულები მიიზიდებიან;
- განმარტოს ელექტრულად ნეიტრალური სხეულის ცნება და მისი ფიზიკური შინაარსი;
- თვისობრივად განასხვავოს გამტარი და იზოლატორი მათში მუხტის გადაადგილების უნარის მიხედვით;
- აღწეროს ელექტროსკოპის დანიშნულება და მისი მუშაობის ძირითადი პრინციპი;
- დაკვირვების შედეგები შეადაროს წინასწარ ვარაუდს და ჩამოაყალიბოს მტკიცებულებაზე დაფუძნებული დასკვნა.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი დახასიათება (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/ მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან.
- ფიზიკურ მოვლენათა/პროცესთა შედარება მათი მახასიათებლების მიხედვით.
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე აღწერს ხახუნით დაელექტროების შედეგს; დაკვირვებით განასხვავებს მიზიდვასა და განზიდვას; ექსპერიმენტული მტკიცებულებით ასაბუთებს ორი სახის მუხტის არსებობას; სწორად აყალიბებს ერთნაირი და განსხვავებული ნიშნით დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების წესს; თვისობრივად განასხვავებს გამტარსა და იზოლატორს; ელექტროსკოპის ფურცლების გაშლას აკავშირებს ერთნაირი ნიშნით დამუხტვასთან; დასკვნას ამყარებს დაკვირვებით ან ექსპერიმენტის შედეგით.

**აქტივობა 1. როგორ იმუხტება სხეული და როგორ ურთიერთქმედებენ დამუხტული სხეულები?**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოტივაცია და ახალი ცოდნის აგება — მოსწავლეებმა მარტივი ცდის საფუძველზე აღმოაჩინონ ხახუნით სხეულის დაელექტროების ფაქტი და განასხვავონ ელექტრული მიზიდვისა და განზიდვის მოვლენები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; ექსპერიმენტული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | როგორ ელექტროვდებიან სხეულები ხახუნით და როგორ ვლინდება დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედება? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლეებს სთხოვს წინასწარ ივარაუდონ, როგორ მოიქცევა ჩვეულებრივი ბუშტი ადამიანთან და მეორე ისეთივე ბუშტთან მიახლოებისას. შემდეგ ცდა ტარდება (მოსწავლე ბუშტს ახახუნებს ტანსაცმელზე) მოსწავლის წიგნში აღწერილი თანმიმდევრობით. მოსწავლეები აფიქსირებენ მხოლოდ დამზერილ ფაქტებს და ბოლოს ადარებენ მოვლენებს ხახუნამდე და ხახუნის შემდეგ. |
| **ექსპერიმენტი 1 — ბუშტების დაელექტროება ხახუნით** | 1. აიღეთ ორი გაბერილი ბუშტი და თითოეულს გამოაბით ძაფი.<br>2. ერთ-ერთი ბუშტი ძაფით ჩამოკიდეთ თქვენს სიახლოვეს და დააკვირდით — შესამჩნევი მიზიდვა ან განზიდვა პრაქტიკულად არ ვლინდება.<br>3. ორივე ბუშტი ერთმანეთის გვერდით დაკიდეთ — ძაფები თითქმის შვეულად რჩება.<br>4. ერთი ბუშტი ტანსაცმელზე რამდენჯერმე გაახახუნეთ და კვლავ თქვენს სიახლოვეს დაკიდეთ — ბუშტი ტანსაცმლისკენ მიიზიდება.<br>5. მეორე ბუშტიც იმავე ტანსაცმელზე გაახახუნეთ და ორივე ბუშტი ერთმანეთის გვერდით დაკიდეთ — ბუშტები ერთმანეთს განიზიდავენ.<br>6. მოსწავლეები ცხრილში ადარებენ ხახუნამდე და ხახუნის შემდეგ მიღებულ შედეგებს და აყალიბებენ დასკვნას. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დაკვირვების დასაწყისში** | • რას ვუწოდებთ ელექტრულ ურთიერთქმედებას?<br>• რას ნიშნავს, სხეული დაელექტროებულია?<br>• რა ორი სახის ურთიერთქმედებას ვაკვირდებით ცდაში?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის ჩატარებისას** | • რატომ ვადარებთ ბუშტების მდგომარეობას ხახუნამდე და ხახუნის შემდეგ?<br>• რომელი დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ ხახუნის შემდეგ ბუშტის მდგომარეობა შეიცვალა?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • თუ პლასტმასის სავარცხელი თმაზე გახახუნების შემდეგ ქაღალდის პატარა ნაჭრებს მიიზიდავს, რას დაასკვნით სავარცხლის მდგომარეობის შესახებ?<br>• თუ ორი ერთნაირად გახახუნებული ბუშტი ერთმანეთს განიზიდავს, რა შეიძლება დავასკვნათ მათი დამუხტვის შესახებ?<br>• რატომ შეიმჩნევა ზამთარში ტანსაცმლის გახდისას მცირე „ტკაცუნი“ ან ნაპერწკალი და როგორ უკავშირდება ეს დაელექტროებას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი არ აცხადებს წინასწარ, რა მოხდება ხახუნის შემდეგ. იგი სვამს დამაზუსტებელ კითხვებს — „რა შეიცვალა?“, „რა იყო უცვლელი?“, „რომელი დაკვირვება ამყარებს თქვენს დასკვნას?“ — და ეხმარება მოსწავლეებს აღწერონ ფაქტი და ახსნან ის. |
| **რესურსები** | ორი გაბერილი ბუშტი; ძაფი; შალის ან სხვა შესაფერისი მშრალი ქსოვილი/ტანსაცმელი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.1.2–1.1.3; სამუშაო ცხრილი. |
| **უსაფრთხოება** | ბუშტები არ გაახახუნოთ სახესთან ახლოს;  ექსპერიმენტი ჩატარდეს ალისა და ააღებადი ნივთიერებებისგან მოშორებით. |
| **შეფასება** | დაკვირვების ცხრილის შეფასება: ხახუნამდე და ხახუნის შემდეგ მდგომარეობის ზუსტი აღწერა; მიზიდვისა და განზიდვის სწორად ამოცნობა; დასკვნის დაკვირვებით დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ექსპერიმენტის ნაბიჯების ილუსტრირებული ბარათები, რომლითაც მოქმედებებს სწორი თანმიმდევრობით ალაგებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად ასახელებენ ერთ ყოველდღიურ მაგალითს, რომელშიც ხახუნით დაელექტროება ვლინდება და ხსნიან ამ მოვლენის გამომწვევ მიზეზს. |

### მოსწავლის სამუშაო ცხრილის ნიმუში

| სიტუაცია | ხახუნამდე დაკვირვება | ხახუნის შემდეგ დაკვირვება | ურთიერთქმედება | დასკვნა |
|---|---|---|---|---|
| ბუშტი და ტანსაცმელი | | | | |
| ორი ბუშტი | | | | |

**შუალედური დასკვნა**

ხახუნის შედეგად სხეული შეიძლება დაელექტროვდეს. დამუხტული სხეულები ერთმანეთზე ელექტრულად მოქმედებენ: შესაძლებელია როგორც მიზიდვა, ისე განზიდვა.

**აქტივობა 2. ორი სახის ელექტრობა**

| **აქტივობის კომპონენტი** | **აღწერა** |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | კვლევა — მოსწავლეებმა ექსპერიმენტულად დაადგინონ, რომ ელექტრული მუხტი ორი სახისაა და ურთიერთქმედების ხასიათი მუხტების ნიშანზეა დამოკიდებული. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | როგორ შეიძლება ურთიერთქმედების მიხედვით დავადგინოთ, ერთნაირი თუ განსხვავებული სახის მუხტი აქვს ორ დამუხტულ სხეულს? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ასრულებს მოსწავლის წიგნში აღწერილ ცდას მინის ღეროებითა და ქარვის/ებონიტის ღეროთი. მოსწავლეები თითოეული ნაბიჯის წინ აკეთებენ პროგნოზს, შემდეგ ადარებენ მიღებულ შედეგს. ექსპერიმენტის შემდეგ მასწავლებელს შემოაქვს დადებითი და უარყოფითი მუხტის პირობითი ნიშნები და მოსწავლეებს სთხოვს ურთიერთქმედების წესის საკუთარი სიტყვებით ჩამოყალიბებას. |
| **ექსპერიმენტი 2 — ორი სახის ელექტრობა** | 1. აიღეთ მინის ორი ღერო და ორივე გაახახუნეთ აბრეშუმის ქსოვილზე.<br>2. მინის ერთ-ერთი ღერო ძაფით ჩამოკიდეთ შტატივზე და მიუახლოვეთ მას მეორე, ასევე აბრეშუმზე გახახუნებული მინის ღერო — ღეროები ერთმანეთს განიზიდავენ.<br>3. ძაფზე დაკიდებულ მინის ღეროს მიუახლოვეთ შალის ქსოვილზე გახახუნებული ქარვის ან ებონიტის ღერო — სხეულები ერთმანეთს იზიდავენ.<br>4. მოსწავლეები ადარებენ ორ შედეგს და ადგენენ: ერთნაირი სახის მუხტები განიზიდებიან, განსხვავებული სახის მუხტები კი მიიზიდებიან.<br>5. მასწავლებელი აცნობს პირობით ნიშნებს: აბრეშუმზე გახახუნებული მინის ღეროს მუხტი დადებითად (+) მიიჩნევა, შალზე გახახუნებული ქარვის/ებონიტის ღეროს მუხტი — უარყოფითად (-). |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის დაწყებამდე** | • რა მოხდა ორ მინის ღეროს შორის, რომლებიც გავახახუნეთ აბრეშუმის ქსოვილზე?<br>• რა მოხდა მინისა და ქარვის/ებონიტის ღეროებს შორის?<br>• რა ნიშნებით აღვნიშნავთ მუხტის ორ სახეს?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — შედეგების შედარებისას** | • რატომ არის აუცილებელი ექსპერიმენტის სიზუსტისთვის, რომ ორივე მინის ღერო იდენტურ პირობებში დაელექტროვდეს?<br>• რომელი დაკვირვება გვაძლევს საფუძველს ვთქვათ, რომ მინისა და ქარვის/ებონიტის ღეროები განსხვავებული სახით დაიმუხტა?<br>• ორი დამუხტული სხეული ერთმანეთს განიზიდავს. რა შეგიძლიათ დაასკვნათ მათი მუხტების ნიშნების შესახებ?<br>• ცნობილია, რომ ორი სხეულიდან ორივე დამუხტულია და ერთი მათგანის მუხტი დადებითია. თუ ისინი ერთმანეთს იზიდავენ, რა ნიშნის მუხტი ექნება მეორეს?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ სიტუაციაში გამოყენებისას** | • როგორ გამოიყენებდით ცნობილი ნიშნის მქონე დამუხტულ სხეულს უცნობი დამუხტული სხეულის მუხტის ნიშნის დასადგენად? განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მოსწავლეებს ჯერ ურთიერთქმედების ტიპის აღწერას სთხოვს და მხოლოდ შემდეგ შემოაქვს ნიშნები „+“ და „-“. ყურადღებას ამახვილებს იმაზე, რომ მუხტების სახელები პირობითია, ხოლო მიზიდვა-განზიდვის წესი ექსპერიმენტული დაკვირვებიდან გამომდინარეობს. |
| **რესურსები** | მინის ორი ღერო; აბრეშუმის ქსოვილი; ქარვის ან ებონიტის ღერო; შალის ქსოვილი; შტატივი; ძაფი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.1.4. |
| **უსაფრთხოება** | მინის ღეროები გამოყენებამდე შეამოწმეთ დაზიანებაზე; არ გამოიყენოთ გაბზარული მინა; ღეროები გადაადგილდეს ფრთხილად და სამუშაო ზედაპირი იყოს თავისუფალი ზედმეტი ნივთებისგან. |
| **შეფასება** | ნაწილობრივ შევსებული შედარების ცხრილი: მოსწავლე სწორად მიუთითებს სხეულების დამუხტვის პირობებს, ურთიერთქმედების ტიპს და მუხტების ნიშნებს; დასკვნას აყალიბებს ექსპერიმენტის შედეგზე დაყრდნობით. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული შედარების ცხრილი, სადაც მხოლოდ „მიზიდვა/განზიდვა“ და „ერთნაირი/განსხვავებული მუხტი“ უნდა დააკავშირონ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ქმნიან უცნობი მუხტის ნიშნის დასადგენ მოკლე ექსპერიმენტულ გეგმას. |

**მოსწავლის სამუშაო ცხრილის ნიმუში**

| სხეულები | როგორ დაიმუხტა? | დაკვირვებული ურთიერთქმედება | მუხტების სახე | დასკვნა |
|---|---|---|---|---|
| მინის ღერო — მინის ღერო | ორივე აბრეშუმზე | | | |
| მინის ღერო — ქარვის/ებონიტის ღერო | მინა — აბრეშუმზე; ქარვა/ებონიტი — შალზე | | | |

**შუალედური დასკვნა**

ელექტრული მუხტი ორი სახისაა — დადებითი და უარყოფითი. ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს განიზიდავენ, ხოლო განსხვავებული ნიშნით დამუხტული სხეულები — იზიდავენ. სხეულს, რომელსაც ჯამური მუხტი ნულის ტოლი აქვს, ელექტრულად ნეიტრალური ეწოდება.

**აქტივობა 3. როგორ აღმოვაჩინოთ ელექტრული მუხტი?**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის სისტემატიზაცია და ტრანსფერი — მოსწავლეებმა გააანალიზონ საპირისპირო ნიშნის მუხტების ერთობლივი მოქმედება, თვისობრივად განასხვავონ გამტარი და იზოლატორი და ელექტროსკოპის მაგალითზე გაიაზრონ მუხტის აღმოჩენის პრინციპი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; სადემონსტრაციო სწავლება. |
| **აქტივობის განხორციელება** | აქტივობა იწყება მოსწავლის წიგნში მოცემული სადემონსტრაციო ცდით, შემდეგ მასწავლებელი მოკლე ინტერაქტიული ახსნით აერთიანებს ცნებებს: დადებითი/უარყოფითი მუხტი, მუხტის განეიტრალება, გამტარი, იზოლატორი, ელექტროსკოპი და ელექტრომეტრი. ახსნის თითოეული ბლოკის შემდეგ მოსწავლეები პასუხობენ მოკლე კონცეპტუალურ კითხვას ან ავსებენ სქემას (კონცეპტუალური რუკა, ცხრილი ან სტრუქტურული დიაგრამა). |
| **ექსპერიმენტი 3 — საპირისპირო ნიშნის მუხტების ერთობლივი მოქმედება** | 1. მინის ღერო და რეზინის/ებონიტის სხეული ერთმანეთზე გახახუნებით დამუხტეთ.<br>2. დამუხტული სხეულები ერთმანეთთან მიიტანეთ და ერთად მიუახლოვეთ შტატივზე დაკიდებულ მსუბუქ მეტალის მასრას/ალუმინის ფოლგის მცირე ცილინდრს, როგორც მოსწავლის წიგნის სურ. 1.1.5-შია ნაჩვენები.<br>3. მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ ორი საპირისპირო მუხტის ერთობლივი მოქმედება პრაქტიკულად კომპენსირდება და მსუბუქ სხეულზე შესამჩნევი ელექტრული მოქმედება აღარ ვლინდება.<br>4. დასკვნა უკავშირდება ელექტრულად ნეიტრალური მდგომარეობის იდეას. |
| **დემონსტრაცია — ელექტროსკოპი** | • მასწავლებელი აჩვენებს ელექტროსკოპს: ლითონის ღეროს, ზედა გამტარ ნაწილს და ორ მსუბუქ ფურცელს.<br>• დამუხტული სხეულის შეხებისას ან შესაბამისი წესით მიახლოებისას ელექტროსკოპის ფურცლები ერთნაირი ნიშნით იმუხტება და ერთმანეთს განიზიდავს — ფურცლები იშლება.<br>• მოსწავლეები სქემის მიხედვით ხსნიან, რატომ მიუთითებს ფურცლების გაშლა სხეულის დამუხტვაზე.<br>• მასწავლებელი მოკლედ განასხვავებს ელექტროსკოპს და ელექტრომეტრს: ელექტროსკოპი მუხტის არსებობას აღმოაჩენს, ელექტრომეტრი კი მუხტის/ელექტრული ეფექტის შედარებითი შეფასების საშუალებას იძლევა. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახსნისას** | • რას ნიშნავს ელექტრულად ნეიტრალური სხეული?<br>• რას ვუწოდებთ გამტარს და რას — იზოლატორს?<br>• რა დანიშნულება აქვს ელექტროსკოპს?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დემონსტრაციისას** | • რა „რეაქცია“ ჰქონდა ელექტროსკოპს დამუხტული სხეულის მიახლოებისას?<br>• რა დაკვირვება მიგვანიშნებს, რომ ფურცლებზე ერთნაირი ნიშნის მუხტი აღმოჩნდა?<br>• როგორ დაგვეხმარება გამტარი მუხტის ერთი ადგილიდან მეორეზე გადაცემაში?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცხოვრებისეულ და უცნობ სიტუაციებში** | • რატომ არის ელექტრული სადენების შიგნით ლითონი, ხოლო გარედან პლასტმასის საფარი?<br>•რატომ განიმუხტება დამუხტული სხეული მასზე ხელის შეხებისას და რა როლს ასრულებს ამ დროს ადამიანის სხეულის ელექტროგამტარობა?<br>• იმის შესამოწმებლად, დამუხტულია თუ არა უცნობი სხეული, როგორ გამოიყენებდით ელექტროსკოპს?<br>• რატომ არის ელექტროსტატიკურ ცდებში მშრალი იზოლირებული სახელურები უფრო მოსახერხებელი, ვიდრე შიშველი ლითონის სახელურები?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მოკლე ბლოკებად აწვდის ახალ ტერმინებს და ყოველ ბლოკს აკავშირებს წინასწარ ჩატარებულ ცდასთან. არ სთხოვს მოსწავლეებს ელექტრული მუხტის მიკროსკოპული გადატანის მექანიზმის დეტალურ ახსნას, თუ ეს პარაგრაფში ჯერ არ არის შემოტანილი; აქცენტი კეთდება დაკვირვებად ეფექტზე, ნიშნებზე, გამტარობა-იზოლაციაზე და ელექტროსკოპის ფუნქციაზე. |
| **რესურსები** | მინის ღერო; რეზინის/ებონიტის სხეული; მსუბუქი მეტალის მასრა ან ალუმინის ფოლგის მცირე ცილინდრი; შტატივი; ელექტროსკოპი ან მისი სადემონსტრაციო მოდელი; ელექტრომეტრის სურათი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.1.5–1.1.7. |
| **უსაფრთხოება** | ექსპერიმენტებში არ გამოიყენოთ მაღალი ძაბვის წყარო. მინის ნაწილები შეამოწმეთ დაზიანებაზე. ელექტროსკოპი და სხვა ხელსაწყოები გამოიყენეთ მხოლოდ ინსტრუქციის შესაბამისად; სამუშაო ადგილი იყოს მშრალი. |
| **შეფასება** | კონცეპტუალური რუკა: მოსწავლე აკავშირებს ცნებებს „დაელექტრება“, „დადებითი მუხტი“, „უარყოფითი მუხტი“, „მიზიდვა“, „განზიდვა“, „გამტარი“, „იზოლატორი“, „ელექტროსკოპი“ და მინიმუმ ორ კავშირს მოკლე განმარტებით ასაბუთებს. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ელექტროსკოპის ნაწილობრივ მონიშნული სქემა და ისრებით დასაკავშირებელი ცნებები. (მაგ: სამუშაო ფურცელზე მოცემულია ელექტროსკოპის ნახატი, სადაც 1-2 ნაწილი უკვე დასახელებულია მაგალითისთვის (ისრით უკვე მონიშნულია „მინის კორპუსი“). ნახატის გვერდით, ცალკე ჩარჩოში, მოცემულია გასანაწილებელი სიტყვები (მაგ.: მეტალის ღერო, იზოლატორი/საცობი, მოძრავი ისარი/ფურცლები). მოსწავლეს არ მოეთხოვება ტექსტის ხელით წერა — მან უბრალოდ ისრით უნდა დააკავშიროს სიტყვა ნახატის შესაბამის ნაწილთან (ან ნაწილი მის ფუნქციასთან). პასუხის წარმოდგენა შეუძლიათ სქემით ან მოკლე ზეპირი განმარტებით.) მაღალი მზაობის მოსწავლეები ხსნიან, როგორ შეამოწმებდნენ ორი უცნობი სხეულის დამუხტვას ელექტროსკოპის გამოყენებით. |

**სასურველი დასკვნა**

სხეულები შეიძლება ხახუნით დაელექტროვდეს. ელექტრული მუხტი ორი სახისაა — დადებითი და უარყოფითი; ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულები განიზიდებიან, განსხვავებული ნიშნით დამუხტული სხეულები მიზიდებიან. ზოგი ნივთიერება მუხტს ადვილად ატარებს — გამტარია, ზოგი კი მუხტის გადაადგილებას მნიშვნელოვნად აფერხებს — იზოლატორია. სხეულის მუხტის აღმოჩენა შესაძლებელია ელექტროსკოპით.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

**„კონცეპტუალური რუკა“**

მოსწავლე ინდივიდუალურად ან წყვილში ქმნის მცირე კონცეპტუალურ რუკას ძირითადი ცნებებით: დაელექტროება, ელექტრული მუხტი, დადებითი/უარყოფითი მუხტი, მიზიდვა/განზიდვა, გამტარი/იზოლატორი, ელექტროსკოპი. მინიმუმ ორი კავშირი უნდა ახსნას ერთი სრული წინადადებით.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

ყურადღება მიაქციეთ, რომ მოსწავლეებმა მიზიდვა ავტომატურად არ ჩათვალონ ყოველთვის განსხვავებული ნიშნების მუხტების მტკიცებულებად, თუ წინასწარ არ ვიცით, რომ ორივე სხეული დამუხტულია. მუხტის ნიშნის დასადგენად მსჯელობაში მკაფიოდ მიუთითონ ცნობილი დამუხტული სხეულის ნიშანი და დაკვირვებული განზიდვა/მიზიდვა. ამ პარაგრაფში მთავარი აქცენტია დაკვირვებადი ელექტრული ურთიერთქმედების, ორი სახის მუხტისა და მუხტის აღმოჩენის საშუალებების გააზრებაზე.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **არსებობს თუ არა ელექტრული მუხტი სხეულის გარეშე? სხეული მუხტის გარეშე?**
   ელექტრული მუხტი სხეულის გარეშე არ არსებობს. სხეული კი შეიძლება არსებობდეს მუხტის გარეშე.
2. **როგორ შეძლებთ დაასაბუთოთ, რომ არსებობს ორი სახის ელექტრული მუხტი?**
   ცდებით შეიძლება დავასაბუთოთ, რომ არსებობს ორი სახის ელექტრული მუხტი. აბრეშუმზე გახახუნებული მინის ორი ღერო ერთმანეთს განიზიდავს, ხოლო აბრეშუმზე გახახუნებული მინის ღერო და შალზე გახახუნებული ქარვის ღერო ერთმანეთს იზიდავს. ამიტომ დაელექტროებული სხეულები ორ ჯგუფად იყოფა: ერთი ჯგუფის სხეულები ერთმანეთს განიზიდავს, სხვადასხვა ჯგუფის სხეულები კი ერთმანეთს იზიდავს. ამ ორი სახის მუხტს პირობითად **დადებითი და უარყოფითი მუხტი** ეწოდა.

3. **რა ფაქტი უდევს საფუძვლად ელექტროსკოპის მუშაობის პრინციპს?**
   ელექტროსკოპის მუშაობის პრინციპს საფუძვლად უდევს **ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულების განზიდვა**.

**საშინაო აქტივობის კითხვებზე პასუხები/ამოცანების ამოხსნები**

**1. როგორი მუხტი აქვს მეორე ბურთულას (სურ. 1.1.9) (ბურთულების ზომები მათ შორის მანძილთან შედარებით მცირეა)?**

**პასუხი:**

სურათზე ორი შემთხვევაა მოცემული. ორივე შემთხვევაში მეორე, ნიშნის გარეშე მოცემული ბურთულის მუხტი უნდა განვსაზღვროთ ბურთულების მოძრაობის/მასზე მოქმედი ძალის საშუალებით.

ა) პირველ შემთხვევაში ბურთულები ერთმანეთს განიზიდავენ. ერთ-ერთი ბურთულა დადებითადაა დამუხტული. ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს განიზიდავს, ამიტომ მეორე ბურთულაც დადებითადაა დამუხტული.

$$\leftarrow (+) \quad (+) \rightarrow$$

ბ) მეორე შემთხვევაში უარყოფითად დამუხტული ბურთულა და მეორე ბურთულა ერთმანეთს იზიდავენ. სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს იზიდავს. ამიტომ მეორე ბურთულა დადებითადაა დამუხტული.

$$(-) \rightarrow \quad \leftarrow (+)$$

ორივე შემთხვევაში მეორე ბურთულა დადებითადაა დამუხტული.

**2. ისრებით მიუთითეთ ბურთულებზე მოქმედი ძალები (სურ. 1.1.10) (ბურთულების ზომები მათ შორის მანძილთან შედარებით მცირეა).**

**პასუხი:**

ორივე ბურთულა უარყოფითადაა დამუხტული. რადგან ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს განიზიდავს, თითოეულ ბურთულაზე მოქმედი ელექტრული ძალა მიმართულია მეორე ბურთულისგან საპირისპირო მხარეს.

$$\leftarrow \ (-) \quad (-) \ \rightarrow$$

ამრიგად, მარცხენა ბურთულაზე ძალა მიმართულია მარცხნივ, ხოლო მარჯვენა ბურთულაზე — მარჯვნივ. ბურთულები ერთმანეთზე ტოლი მოდულის და საპირისპიროდ მიმართული ძალებით მოქმედებენ.

$$F_1 = F_2$$

**3. მინის აბრეშუმზე გახახუნებისას მინა იმუხტება დადებითად. რა ნიშნით დაიმუხტება აბრეშუმი (სურ. 1.1.11)?**

**პასუხი:**

როდესაც რაიმე პროცესის შედეგად ერთ სხეულზე ჩნდება გარკვეული მუხტი, მეორე სხეულზეც ჩნდება იმავე სიდიდის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი. ამიტომ, თუ მინა დადებითად დაიმუხტა, აბრეშუმი უარყოფითად დაიმუხტება.

$$q_1 = +q \quad q_2 = -q$$

$$q_1 + q_2 = 0$$

აბრეშუმი უარყოფითად დაიმუხტება.

**4. როდესაც ორ დაუმუხტავ სხეულს ერთმანეთს ვუხახუნებთ, შესაძლებელია თუ არა, რომ ორივე დაიმუხტოს ერთი და იმავე ნიშნით?**

**პასუხი:**

არა. თუ ორი თავდაპირველად დაუმუხტავი სხეული ერთმანეთზე ხახუნის შედეგად დაელექტროვდა, მათზე წარმოიქმნება მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპირო მუხტები. ამიტომ ორივე სხეული ერთი და იმავე ნიშნით ვერ დაიმუხტება.

$$q_1 = +q \quad q_2 = -q$$

$$q_1 + q_2 = 0$$

**5. მგზავრობის შემდეგ, როდესაც ავტომობილიდან გადმოვდივართ, ტანსაცმელი თითქოს ეწებება სავარძელს. ახსენით მოვლენა.**

**პასუხი:**

მგზავრობისას ტანსაცმელი მრავალჯერ ეხახუნება სავარძლის მასალას. თუ ტანსაცმელი და სავარძელი სხვადასხვა ნივთიერებისგანაა დამზადებული, მათ შორის ხახუნის შედეგად ისინი შეიძლება დაელექტროვდნენ.

ხახუნისას ერთ სხეულზე წარმოიქმნება ერთი ნიშნის მუხტი, მეორეზე კი — საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი. სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს იზიდავს, ამიტომ ტანსაცმელი სავარძელს თითქოს „ეწებება“.

ეს არის ხახუნით დაელექტროებისა და საპირისპირო ნიშნით დამუხტული სხეულების ელექტრული მიზიდვის შედეგი.

**6. ორი გაბერილი ბუშტი გაუხახუნეთ ერთმანეთს, ისინი არც მიიზიდავენ ერთმანეთს და არც განიზიდავენ, რატომ?**

**პასუხი:**

ორივე ბუშტი ერთი და იმავე ნივთიერებისგანაა დამზადებული. ერთსა და იმავე ნივთიერებისგან დამზადებული სხეულები ერთმანეთზე ხახუნისას არ ელექტროვდებიან.

ბუშტებზე ელექტრული მუხტი არ წარმოიქმნება და მათ შორის არც ელექტრული მიზიდვა და არც ელექტრული განზიდვა არ შეიმჩნევა.

**7. აქვს თუ არა ერთი და იგივე მნიშვნელობა გამოთქმებს: „დაელექტროებული სხეული“ და „დამუხტული სხეული“?**

**პასუხი:**

დიახ. დაელექტროებულ სხეულებს დამუხტულ სხეულებს უწოდებენ. შესაბამისად, ეს ორი გამოთქმა ერთი და იმავე მდგომარეობის აღმნიშვნელი ტერმინებია.

სხეული დაელექტროებულია, ანუ დამუხტულია, როდესაც მას აქვს ელექტრული მუხტი და შეუძლია ელექტრულ ურთიერთქმედებაში მონაწილეობა.

**8. დაასახელეთ მუხტის ერთეული SI-ში.**

**პასუხი:**

SI-ში ელექტრული მუხტის ერთეულია 1 კულონი (1 კ).

## პარაგრაფი №1.2 — ელემენტარული მუხტი

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და სისტემატიზაცია | ატომიდან ელემენტარულ მუხტამდე | მოსწავლე შეძლებს ატომის აგებულების ისტორიული მოდელების მოკლედ აღწერას, ელექტრონის, პროტონისა და ნეიტრონის მუხტების ერთმანეთთან შედარებას, ნეიტრალური ატომისა და იონის განსხვავების გააზრებას და ელექტრული მუხტის დისკრეტულობის q = Ne დამოკიდებულებასთან დაკავშირებას. | ნივთიერება და ველი — მუხტის, როგორც ფიზიკური სიდიდის გამოყენება ნივთიერების ნაწილაკური აგებულების აღწერისას. ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების თვისებრივი დახასიათება. |
| 2 | ცოდნის განმტკიცება, გამოყენება და შეფასება | ნეიტრალური ატომი, იონი და მუხტის დისკრეტულობა — კითხვა–პასუხი | მოსწავლე შეძლებს ნაწილაკთა რაოდენობისა და მუხტის ნიშნით გაარჩიოს ნეიტრალური ატომი, დადებითი და უარყოფითი იონი; q = Ne დამოკიდებულება გამოიყენოს მარტივ სიტუაციებში და საკუთარი პასუხი დაასაბუთოს. | ნივთიერება და ველი — ფიზიკური სიდიდის გამოყენებით სიტუაციური და პრობლემაზე ორიენტირებული დავალებების გადაჭრა. ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური პროცესის თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება. |
| 3 | განმავითარებელი შეფასება | „იპოვე შეცდომა“ — ატომი და მუხტი | მოსწავლე შეძლებს ელექტრონის, პროტონის, იონისა და მუხტის დისკრეტულობის შესახებ მცდარი | ნივთიერება და ველი - ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| | | | დებულების ამოცნობას, შესწორებას და მოკლე დასაბუთებას. | ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა. ფიზიკური პროცესი —ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- მოკლედ აღწეროს ტომსონის მიერ ელექტრონის აღმოჩენის მნიშვნელობა და ტომსონის ატომის მოდელის ძირითადი იდეა;
- აღწეროს ატომის პლანეტარული მოდელის ძირითადი სტრუქტურა: ბირთვი და მის გარშემო მოძრავი ელექტრონები;
- განასხვავოს ელექტრონი, პროტონი და ნეიტრონი მათი მუხტისა და ატომში მდებარეობის მიხედვით;
- განმარტოს ელექტრულად ნეიტრალური ატომი და დადებითი/უარყოფითი იონის წარმოქმნა ელექტრონების დაკარგვა-მიერთებით;
- გაიაზროს, რომ ელექტრული მუხტი დისკრეტულია და სხეულის მუხტი ელემენტარული მუხტის მთელი რიცხვის ჯერადია: $q = Ne$;
- გამოიყენოს ელემენტარული მუხტის მნიშვნელობა $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ და მარტივ შემთხვევებში განსაზღვროს სხეულის მუხტის ნიშანი და გადატანილი ელექტრონების რაოდენობა;
- დაასაბუთოს პასუხი ნაწილაკური მოდელის, მუხტის ნიშნისა და რაოდენობრივი დამოკიდებულების გამოყენებით.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი დახასიათება (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/-გადაჭრა.
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება.
- ბუნების მოვლენების აღმწერი კანონების მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება და ამ კანონების გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად ასახელებს ელექტრონის, პროტონისა და ნეიტრონის მუხტის ნიშნებს; განასხვავებს ნეიტრალურ ატომს დადებითი და უარყოფითი იონისგან; იონის წარმოქმნას ხსნის ელექტრონების დაკარგვით ან მიერთებით და არა პროტონების გადაადგილებით; სწორად განმარტავს ელემენტარული მუხტის მნიშვნელობასა და მუხტის დისკრეტულობას; $q = Ne$ დამოკიდებულებას იყენებს მარტივ სიტუაციაში და პასუხს ნაწილაკური მოდელით ან რაოდენობრივი არგუმენტით ასაბუთებს.

**აქტივობა 1. ატომიდან ელემენტარულ მუხტამდე**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და სისტემატიზაცია — მოსწავლეებმა ინტერაქტიული ახსნის, სახელმძღვანელოს სურათებისა და სადემონსტრაციო ნაწილაკური მოდელების საფუძველზე გაიაზრონ ატომის აგებულება, ელემენტარული მუხტი, ნეიტრალური ატომი, იონი და მუხტის დისკრეტულობა. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ვიზუალური მოდელირება. |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი პარაგრაფის მასალას აწვდის ოთხ მოკლე, ერთმანეთთან დაკავშირებულ ბლოკად. თითოეული ბლოკის დროს იყენებს მოსწავლის წიგნის სურათებს/პრეზენტაციას და ატომის მარტივ სადემონსტრაციო მოდელს (ფერადი ბურთულები ან მაგნიტური დისკოები). ყოველი ბლოკის შემდეგ სვამს 1–2 დამაზუსტებელ კითხვას, რათა მოსწავლეებმა ახალი ინფორმაცია წინა ცოდნას დაუკავშირონ. ახსნისას განსაკუთრებით ხაზგასმულია, რომ ჩვეულებრივ დაელექტროებისას სხეულებს შორის გადაადგილდებიან ელექტრონები; ატომის ბირთვში არსებული პროტონები სხეულიდან სხეულში არ გადადიან. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — ელექტრონის აღმოჩენა და ტომსონის მოდელი** | • მოსწავლის წიგნის სურ. 1.2.1–1.2.2-ზე დაყრდნობით მასწავლებელი მოკლედ აღწერს ჯ. ტომსონის ექსპერიმენტების მნიშვნელობას და ელექტრონის აღმოჩენას.<br>• განიხილება ტომსონის ატომის მოდელი: დადებითად დამუხტულ სფეროში განაწილებული უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები.<br>• აქცენტი კეთდება არა ისტორიული დეტალების დამახსოვრებაზე, არამედ იდეაზე, რომ ატომი შეიცავს უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებს. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პირველი ბლოკის შემდეგ** | • რომელი ნაწილაკის აღმოჩენას უკავშირდება ტომსონის კვლევა?<br>• რა ნიშნის მუხტი აქვს ელექტრონს?<br>• როგორ იყო წარმოდგენილი დადებითი და უარყოფითი მუხტი ტომსონის მოდელში?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — პლანეტარული მოდელი, პროტონი და ნეიტრონი** | • მოსწავლის წიგნის სურ. 1.2.3-ის გამოყენებით მასწავლებელი აჩვენებს პლანეტარული მოდელის ძირითად სურათს: ატომის ცენტრში მცირე ზომის დადებითად დამუხტული ბირთვია, მის გარშემო კი ელექტრონებია.<br>• ბირთვში განიხილება პროტონი — დადებითი მუხტით და ნეიტრონი — ნეიტრალური ნაწილაკი.<br>• წარმოდგენილია სახელმძღვანელოს ცხრილის მონაცემები: ელექტრონის მუხტი $-1{,}6\cdot10^{-19}$ კ, პროტონის $+1{,}6\cdot10^{-19}$ კ, ნეიტრონის 0; ყურადღება ექცევა იმასაც, რომ პროტონი და ნეიტრონი ელექტრონზე ბევრად მძიმე ნაწილაკებია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — ნეიტრალური ატომი და იონები** | • ფერადი ბურთულების/მაგნიტური დისკოების მოდელით მასწავლებელი აწყობს ნეიტრალურ ატომს — პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობა ტოლია.<br>• ერთი ელექტრონის მოცილებით მოდელი ხდება დადებითი იონი; ერთი ელექტრონის დამატებით — უარყოფითი იონი.<br>• მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ ატომის მუხტის ცვლილება მოდელში გამოწვეულია ელექტრონების რაოდენობის ცვლილებით. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — იონების მოდელირებისას** | • როგორ დავადგინოთ მხოლოდ პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობით, ატომი ნეიტრალურია თუ დამუხტული?<br>• რა ნაბიჯით მივიღებთ ნეიტრალური ატომიდან დადებით იონს? უარყოფით იონს?<br>• რატომ არ ვცვლით მოდელში პროტონების რაოდენობას ჩვეულებრივი დაელექტროების გამოსახვისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; პრობლემის გადაჭრა. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 4 — ელემენტარული მუხტი და მუხტის დისკრეტულობა** | • მასწავლებელი შემოიტანს ელემენტარული მუხტის მნიშვნელობას: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ.<br>• ხაზგასმულია, რომ ელექტრონის მუხტია -e, პროტონის მუხტი +e, ხოლო ნეიტრონის მუხტი 0.<br>• სხეულის ელექტრული მუხტი ყოველთვის ელემენტარული მუხტის მთელი რიცხვის ჯერადია: q = Ne, სადაც N მთელი რიცხვია; მუხტის ნიშანი დამოკიდებულია ელექტრონების სიჭარბესა ან დანაკლისზე. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისა და ტრანსფერის ეტაპზე** | • თუ სხეულმა რამდენიმე ელექტრონი დაკარგა, როგორი ნიშნის მუხტი ექნება და რატომ?<br>• თუ ნაწილაკს პროტონებისა და ელექტრონების თანაბარი რაოდენობა აქვს, შეიძლება თუ არა მას ჯამური ელექტრული მუხტი ჰქონდეს?<br>• თუ სხეულის მუხტია +3e, რას გვიჩვენებს ეს ელექტრონების ბალანსის შესახებ?<br>• რატომ ვერ მივიღებთ იზოლირებულ სხეულზე მუხტს +2,5e? როგორ უკავშირდება ეს მუხტის დისკრეტულობას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ინფორმაციას აწვდის მოკლე ლოგიკურ ბლოკებად და თითოეული ბლოკის შემდეგ ამოწმებს გაგებას. ისტორიულ ნაწილს არ აქცევს ფაქტების ხანგრძლივ ჩამონათვალად; ვიზუალური მოდელებით აჩვენებს მოდელების განვითარებას და ყურადღებას ამახვილებს ელექტრონის, პროტონის, ნეიტრონის მუხტებზე, ატომის ნეიტრალურობაზე, იონის წარმოქმნასა და მუხტის დისკრეტულობაზე. მცდარი წარმოდგენისას დამაზუსტებელი კითხვებით მიჰყავს მოსწავლე თვითშესწორებამდე. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.2.1–1.2.4 და ცხრილი ნაწილაკების მასისა და მუხტის შესახებ; პროექტორი/პრეზენტაცია; ფერადი მაგნიტური დისკოები ან ბურთულები პროტონების, ნეიტრონებისა და ელექტრონების მოდელირებისთვის; დაფა. |
| **შეფასება** | ზეპირი განმავითარებელი უკუკავშირი. კრიტერიუმები: ნაწილაკების მუხტის ნიშნების სწორად დასახელება; ნეიტრალური ატომისა და იონის განსხვავების ახსნა; q = Ne დამოკიდებულების შინაარსის სწორად განმარტება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ატომის სქემა: ბირთვი და ელექტრონული გარსი უკვე მონიშნულია, ხოლო ნაწილაკების სახელები, მუხტის ნიშნები და იონის ტიპი შესავსებია. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემას დამოუკიდებლად ავსებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ადარებენ ტომსონისა და პლანეტარული მოდელის შესაძლებლობებს და ხსნიან, რომელი ახალი სტრუქტურული ელემენტი გამოჩნდა შემდგომ მოდელში. |

### შუალედური დასკვნა

ატომი შედგება დადებითად დამუხტული პროტონებისგან, ნეიტრონებისგან და უარყოფითად დამუხტული ელექტრონებისგან. ნეიტრალურ ატომში პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობა ტოლია. ელექტრონების დაკარგვისას წარმოიქმნება დადებითი იონი, ელექტრონების მიერთებისას — უარყოფითი იონი. ელემენტარული მუხტის მოდულია $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ, ხოლო ნებისმიერი სხეულის მუხტი მისი მთელი რიცხვის ჯერადია: $q = Ne$.

### აქტივობა 2. ნეიტრალური ატომი, იონი და მუხტის დისკრეტულობა — კითხვა–პასუხი

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის განმტკიცება, გამოყენება და შეფასება — მოსწავლეებმა კითხვა–პასუხისა და მოკლე სიტუაციური დავალებების გზით გაიწაფონ ნეიტრალური ატომის, იონების, მუხტის ნიშნისა და $q = Ne$ დამოკიდებულების გამოყენებაში. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმართულებითი კითხვა–პასუხი; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მუშაობენ წყვილებში. მასწავლებელი ეკრანზე ან ბარათებზე ეტაპობრივად აჩვენებს ნაწილაკურ მოდელებსა და მოკლე სიტუაციებს. თითოეულ შემთხვევაში წყვილი ჯერ განსაზღვრავს ატომის/იონის მდგომარეობას, შემდეგ არგუმენტს აყალიბებს პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობის შედარებით ან $q = Ne$ დამოკიდებულებით. რამდენიმე პასუხი განიხილება კლასში; ყურადღება ექცევა არა მხოლოდ საბოლოო პასუხს, არამედ დასაბუთების ლოგიკას. |
| **სიტუაციები — ცოდნის გაწაფვა** | 1. ნაწილაკს აქვს 8 პროტონი და 8 ელექტრონი — განსაზღვრეთ მისი ჯამური მუხტი და მდგომარეობა.<br>2. ნაწილაკს აქვს 11 პროტონი და 10 ელექტრონი — განსაზღვრეთ მუხტის ნიშანი და იონის ტიპი.<br>3. ნაწილაკს აქვს 17 პროტონი და 18 ელექტრონი — განსაზღვრეთ მუხტის ნიშანი და იონის ტიპი.<br>4. სხეულმა დაკარგა 5 ელექტრონი — გამოხატეთ მისი მუხტი e-ს ერთეულებში და კულონებში.<br>5. სხეულის მუხტია $-4{,}8 \cdot 10^{-19}$ კ — განსაზღვრეთ, რამდენი ჭარბი ელექტრონი შეესაბამება ამ მუხტს. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — გაწაფვის დასაწყისში** | • რა ნიშნის მუხტი აქვს ელექტრონს? პროტონს? ნეიტრონს?<br>• რა პირობაა საჭირო ატომის ელექტრული ნეიტრალურობისთვის?<br>• რას ნიშნავს ელემენტარული მუხტი?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სიტუაციების ამოხსნისას** | • როგორ დაადგენთ ნაწილაკის მუხტის ნიშანს, თუ ცნობილია მასში პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობა?<br>• როგორ ვიყენებთ $q = Ne$ დამოკიდებულებას, თუ ცნობილია გადატანილი ელექტრონების რაოდენობა?<br>• როგორ ვიპოვოთ N, თუ ცნობილია სხეულის მუხტი q და ელემენტარული მუხტი e?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში** | • პლასტმასის სხეულმა ხახუნისას ელექტრონები შეიძინა. რა ნიშნის მუხტი ექნება და რა უნდა მომხდარიყო მეორე სხეულზე?<br>• თუ დამუხტულ სხეულს ნეიტრალურ მდგომარეობაში ვაბრუნებთ ელექტრონების დამატებით, როგორი ნიშნის მუხტი ჰქონდა მას თავდაპირველად?<br>• მოწყობილობაში აღმოჩნდა ნაწილაკი, რომლის ჯამური მუხტია +2e. რას გვიჩვენებს ეს ელექტრონებისა და პროტონების რაოდენობათა სხვაობის შესახებ?<br>• რატომ არის მუხტის დისკრეტულობის ცოდნა მნიშვნელოვანი ძალიან მცირე მუხტების აღწერისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი პასუხს პირდაპირ არ ასახელებს; სვამს დამხმარე კითხვებს: „რომელი ნაწილაკები შეიცვალა რაოდენობრივად?“, „რა არის პროტონებისა და ელექტრონების სხვაობა?“, „რა ნიშანს უნდა ატარებდეს q?“ საჭიროებისას მოსწავლეებს უბრუნებს ნაწილაკურ მოდელს ან q = Ne ჩანაწერს და სთხოვს პასუხის თვითშემოწმებას. |
| **რესურსები** | ატომისა და იონების სქემების ბარათები; პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობების მოკლე სიტუაციური ბარათები; დაფა; კალკულატორი საჭიროების შემთხვევაში; მოსწავლის წიგნის ცხრილი ნაწილაკების მუხტებისა და მასების შესახებ. |
| **შეფასება** | წყვილების პასუხებზე განმავითარებელი დაკვირვება. კრიტერიუმები: ნეიტრალური ატომისა და იონის სწორი კლასიფიკაცია; მუხტის ნიშნის დასაბუთება; q = Ne დამოკიდებულების სწორად გამოყენება; პასუხის მკაფიო არგუმენტირება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ვიზუალური ბარათები, რომლებზეც პროტონები და ელექტრონები განსხვავებული ნიშნებითაა გამოსახული, ასევე დავალება დაყოფილია ორ ნაბიჯად: ჯერ შეადარე რაოდენობები, შემდეგ განსაზღვრე მუხტის ნიშანი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სიტუაციებს დამოუკიდებლად ხსნიან. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ქმნიან საკუთარ მაგალითს მოცემული q-ისთვის და ამოწმებენ, შეესაბამება თუ არა იგი მუხტის დისკრეტულობას. |

### სასურველი დასკვნა

ელექტრული მუხტის ყველაზე მცირე ბუნებრივი ერთეულია ელემენტარული მუხტი e. ელექტრონს აქვს -e, პროტონს +e, ნეიტრონს კი მუხტი არ აქვს. ატომი ნეიტრალურია, როდესაც პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობა ტოლია; ელექტრონების დაკარგვა იწვევს დადებითი, ხოლო დამატება — უარყოფითი იონის წარმოქმნას. სხეულის მუხტი დისკრეტულია და გამოისახება q = Ne დამოკიდებულებით, სადაც N მთელი რიცხვია.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „იპოვე შეცდომა“

მოსწავლე ინდივიდუალურად განიხილავს სამ დებულებას: 1) „დადებითი იონი წარმოიქმნება, როცა ატომს ელექტრონები ემატება“; 2) „ელექტრონისა და პროტონის მუხტის მოდულები ტოლია, ნიშნები კი საპირისპირო“; 3) „სხეულის ელექტრული მუხტი შეიძლება იყოს 2,5e“. მოსწავლემ უნდა მონიშნოს მცდარი დებულებები, გადააკეთოს ისინი სწორად და ერთ-ერთი შესწორება მოკლედ დაასაბუთოს ნაწილაკური მოდელით ან q = Ne დამოკიდებულებით.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

ყურადღება მიაქციეთ ორ ტიპურ შეცდომას: მოსწავლეებმა დადებითი დამუხტვა არ უნდა ახსნან „დადებითი ნაწილაკების გადასვლით“ — ჩვეულებრივ დაელექტროებაში სხეულებს შორის გადაადგილდებიან ელექტრონები; ასევე q = Ne ჩანაწერში N უნდა გაიაზრონ, როგორც მთელი რიცხვი. ისტორიული მოდელები გამოიყენეთ ატომის აგებულების წარმოდგენების განვითარების საჩვენებლად და არა თარიღებისა და დეტალების მექანიკური დამახსოვრებისთვის.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რატომ უწოდებენ ელექტრონებს ელემენტარულ ნაწილაკებს?**
   ელექტრონებს ელემენტარულ ნაწილაკებს უწოდებენ, რადგან ისინი უფრო მცირე ნაწილაკებისგან არ შედგება, ანუ სტრუქტურა არ აქვთ. ელექტრონის მუხტიც მისი განუყოფელი თვისებაა — შეუძლებელია ელექტრონს მოვაცილოთ მუხტი ან მისი ნაწილი.
2. **რა განსხვავება და მსგავსებაა ატომის აგებულების ტომსონის და რეზერფორდის მოდელებს შორის?**
   მსგავსება ისაა, რომ ორივე მოდელში ატომი შეიცავს დადებით და უარყოფით მუხტებს და მთლიანობაში ელექტრულად ნეიტრალურია.
   განსხვავება ისაა, რომ ტომსონის მოდელში დადებითი მუხტი ატომის მთელ მოცულობაში თანაბრადაა განაწილებული, ელექტრონები კი მასშია მიმოფანტული. რეზერფორდის მოდელში დადებითი მუხტი და ატომის თითქმის მთელი მასა თავმოყრილია მცირე ზომის ბირთვში, ელექტრონები კი ბირთვის გარშემო მოძრაობენ და ატომის უმეტესი ნაწილი სიცარიელეა.
3. **ორი სხეულის ერთმანეთზე ხახუნისას რომელ სხეულს ტოვებს ელექტრონები? რომელ სხეულზე გადადის ელექტრონები?**
   ელექტრონები ტოვებს იმ სხეულს, რომელშიც ისინი ატომბირთვების მიერ ნაკლები ძალით მიიზიდება და გადადის იმ სხეულზე, რომელშიც მათი მიზიდვის ძალა უფრო მეტია.
4. **რას ნიშნავს ელექტრული მუხტის დისკრეტულობა?**
   ელექტრული მუხტის დისკრეტულობა ნიშნავს, რომ სხეულის მუხტი ყოველთვის ელემენტარული მუხტის მთელი რიცხვის ჯერადია, ანუ **q = Ne**, სადაც **N** მთელი რიცხვია, ხოლო **e - ელემენტარული მუხტია.**
5. **რატომაა ნებისმიერი სხეულის მუხტი $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ-ის ჯერადი?**
   რადგან სხეულის დამუხტვა ხდება ელექტრონების დაკარგვით ან შეძენით, ხოლო ერთი ელექტრონის მუხტის მოდულია **$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ**. ამიტომ სხეულის მუხტი ყოველთვის ამ მნიშვნელობის ჯერადია.
6. **სხეული ელექტრულად ნეიტრალურია. ნიშნავს თუ არა ეს, რომ მასში არ არის დამუხტული ნაწილაკები? რატომ?**
   არა. ელექტრულად ნეიტრალურ სხეულშიც არის დამუხტული ნაწილაკები — დადებითად დამუხტული პროტონები და უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები. თუ სხეული ნეიტრალურია ნიშნავს, რომ პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობა თანაბარია და მათი მუხტები ერთმანეთს აბალანსებს.
7. **ორი ელექტრულად ნეიტრალური სხეულის ერთმანეთზე ხახუნისას პირველიდან მეორეზე ელექტრონების გარკვეული რაოდენობა გადავიდა. რა ნიშნის მუხტი შეიძინა პირველმა სხეულმა? მეორემ?**
   პირველმა სხეულმა, რომელმაც ელექტრონები დაკარგა, **დადებითი მუხტი** შეიძინა. მეორე სხეულმა, რომელმაც ელექტრონები მიიღო, **უარყოფითი მუხტი** შეიძინა.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**1.** შალის ქსოვილზე ან ცელოფანზე ხახუნით დააელექტროვე პლასტმასის სავარცხელი (ან სახაზავი, ან საწერი კალამი, ან სხვა რაიმე ღერო) და მიუახლოვე ონკანიდან ვერტიკალურად გადმოდინებულ წყლის წვრილ ჭავლს. შეამჩნევ, რომ ჭავლი ღეროსკენ გადმოიხრება. ახსენი მოვლენა.

**პასუხი:** წყლის მოლეკულა პოლარულია: მასში დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა. დაელექტროებული პლასტმასის სხეულის ელექტრული ველი

წყლის მოლეკულებს გარკვეული მიმართულებით აბრუნებს (მოატრიალებს). შედეგად, მოლეკულის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტის მქონე მხარე დამუხტულ სხეულთან უფრო ახლოს აღმოჩნდება, ხოლო იმავე ნიშნის მხარე — შედარებით შორს. რადგან ელექტრული ურთიერთქმედება მანძილის შემცირებისას ძლიერდება, ახლო მხარის მიზიდვა სჭარბობს შორი მხარის განზიდვას. ამიტომ წყლის ჭავლზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა დამუხტული სხეულისაკენაა მიმართული და ჭავლი მისკენ გადაიხრება.

წყლის ჭავლი დამუხტული სხეულის ელექტრული ველის მოქმედებით, წყლის მოლეკულების პოლარიზაციის/ორიენტაციის გამო, სხეულისკენ გადაიხრება.

**2.** აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნით დაელექტროებული მინის ღერო მიუახლოვეს ლითონის ღეროს ერთ ბოლოს. რა ნიშნის მუხტი გაჩნდება ლითონის ღეროს მეორე ბოლოზე?

**პასუხი:** აბრეშუმზე გახახუნებული მინის ღერო დადებითადაა დამუხტული. ლითონში თავისუფალი ელექტრონებია. დადებითად დამუხტული მინის ღეროს მიახლოებისას ეს ელექტრონები მისკენ გადაადგილდება. ამიტომ მინის ღეროსთან ახლოს მდებარე ბოლოში ელექტრონების სიჭარბე შეიქმნება და ის უარყოფითად დაიმუხტება, ხოლო მეორე ბოლოში ელექტრონების ნაკლებობა წარმოიქმნება და ის დადებითად დაიმუხტება. ეს არის გავლენით დაელექტროება.

**3.** იცვლება თუ არა სხეულში პროტონების რიცხვი მისი ა) დადებითად დამუხტვისას? ბ) უარყოფითად დამუხტვისას?

**პასუხი:** ჩვეულებრივ, სხეულების დაელექტროებისას, ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის ელექტრონები. პროტონები ატომბირთვში რჩება. დადებითად დამუხტვა ნიშნავს, რომ სხეულმა ელექტრონების ნაწილი დაკარგა, ხოლო უარყოფითად დამუხტვა — რომ სხეულმა დამატებითი ელექტრონები მიიღო. ორივე შემთხვევაში პროტონების რაოდენობა უცვლელია.

ა) არ იცვლება; ბ) არ იცვლება.

**4.** ჟანგბადის ატომის ბირთვში 8 პროტონი და 8 ნეიტრონია. რამდენი ელექტრონია ჟანგბადის ნეიტრალურ ატომში?

პასუხი: ნეიტრალურ ატომში დადებითი და უარყოფითი მუხტების მოდულები ტოლია, ამიტომ ელექტრონების რაოდენობა პროტონების რაოდენობის ტოლია. ჟანგბადის ბირთვში 8 პროტონია, მაშასადამე ნეიტრალურ ატომში 8 ელექტრონია.

**5.** კალციუმის კათიონის ($Ca^{++}$) მუხტი $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ კ-ია. რამდენი ელექტრონია კალციუმის კათიონში, თუ მის ატომბირთვში 20 პროტონი და 20 ნეიტრონია.

**ამოხსნა:** კალციუმის ნეიტრალურ ატომში 20 პროტონი და 20 ელექტრონი იქნებოდა. კათიონის დადებითი მუხტი გვიჩვენებს, რომ მან ელექტრონები დაკარგა. დაკარგული ელექტრონების რაოდენობა ვიპოვოთ ელემენტარული მუხტის გამოყენებით:

$$\mathrm{N} = \mathrm{q}/\mathrm{e} = (3.2 \times 10^{-19})/(1.6 \times 10^{-19}) = 2$$

ე.ი. კალციუმის ატომმა დაკარგა 2 ელექტრონი. ამიტომ კათიონში დარჩენილი ელექტრონების რაოდენობაა:

$$\mathrm{N} = 20 - 2 = 18$$

**პასუხი:** კალციუმის კათიონში 18 ელექტრონია.

**6.** რამდენი პროტონია წყლის ნეიტრალურ მოლეკულაში?

**ამოხსნა:** წყლის მოლეკულაა $H_2O$. წყალბადის თითოეული ატომის ბირთვში 1 პროტონია, ჟანგბადის ატომის ბირთვში კი 8 პროტონი. ამიტომ წყლის ერთ მოლეკულაში პროტონების საერთო რაოდენობაა:

$$\mathrm{N} = 2 \times 1 + 8 = 10$$

**პასუხი:** წყლის ნეიტრალურ მოლეკულაში 10 პროტონია.

**7.** რა მუხტს შეიძენს სხეული მასზე $2{,}5 \cdot 10^{12}$ ელექტრონის გადაცემისას?

**ამოხსნა:** სხეულს გადაეცა ელექტრონები, ამიტომ მან უარყოფითი მუხტი უნდა შეიძინოს. ერთი ელექტრონის მუხტია -e, სადაც e = 1,6·$10^{-19}$ კ. სხეულის მუხტი იქნება:

$$q = -Ne$$

$$q = -(2.5 \times 10^{12})(1.6 \times 10^{-19}) = -4.0 \times 10^{-7} \text{კ}$$

$$q = -0.4 \text{ მკკ}$$

**პასუხი:** სხეული შეიძენს q = -4,0·$10^{-7}$ კ = -0,4 მკკ მუხტს.

**8.** რამდენი ელექტრონი აქვს დაკარგული 96 მკკ მუხტით დაელექტროებულ სხეულს?

**ამოხსნა:** რადგან ამოცანაში საუბარია დაკარგულ ელექტრონებზე, სხეული დადებითადაა დამუხტული. მოცემულია:

$$q = 96 \text{ მკკ} = 96 \times 10^{-6} \text{კ}$$

დაკარგული ელექტრონების რაოდენობაა:

$$N = q/e = (96 \times 10^{-6})/(1.6 \times 10^{-19}) = 6 \times 10^{14}$$

**პასუხი:** სხეულმა დაკარგა 6·$10^{14}$ ელექტრონი.

**9.** სხეული დააელექტროეს q = -480 მკკ მუხტით. მოიმატა თუ მოიკლო სხეულის მასამ დაელექტროების პროცესში და რამდენით?

**ამოხსნა:** უარყოფითი მუხტი ნიშნავს, რომ სხეულმა დამატებითი ელექტრონები მიიღო. ამიტომ მისი მასა მოიმატებს. ჯერ ვიპოვოთ მიღებული ელექტრონების რაოდენობა:

$$-q = 480 \text{ მკკ} = 480 \times 10^{-6} \text{კ}$$

$$N = (-q)/e = (480 \times 10^{-6})/(1.6 \times 10^{-19}) = 3 \times 10^{15}$$

ელექტრონის მასის მიახლოებითი მნიშვნელობაა $m_e$ = 9,1·$10^{-31}$ კგ. მაშასადამე მასის მატებაა:

$$\Delta m = Nm = (3 \times 10^{15})(9.1 \times 10^{-31}) = 2.73 \times 10^{-15} \text{კგ}$$

**პასუხი:** სხეულის მასამ მოიმატა 2,73·$10^{-15}$ კგ-ით.

**10.** სხეულის მასა დაელექტროების შედეგად 45,5·$10^{-19}$ კგ-ით შემცირდა. რა მუხტი შეუძენია სხეულს?

**ამოხსნა:** სხეულის მასის შემცირება ნიშნავს, რომ მან ელექტრონები დაკარგა. შესაბამისად, სხეული დადებითად დაიმუხტა. მოცემულია:

$$\Delta m = 45.5 \times 10^{-19} = 4.55 \times 10^{-18} \text{კგ}$$

დაკარგული ელექტრონების რაოდენობაა:

$$N = \Delta m/m = (4.55 \times 10^{-18})/(9.1 \times 10^{-31}) = 5 \times 10^{12}$$

სხეულის მიღებული მუხტი:

$$q = Ne = (5 \times 10^{12})(1.6 \times 10^{-19}) = 8.0 \times 10^{-7} \text{კ}$$

$$q = +0.8 \text{ მკკ}$$

**პასუხი:** სხეულმა შეიძინა დადებითი მუხტი q = +8,0·$10^{-7}$ კ = +0,8 მკკ.

## პარაგრაფი №1.3 — სხეულთა დაელექტროების ხერხები. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | კვლევა და ახალი ცოდნის აგება | ხახუნით და ურთიერთშეხებით დაელექტრება | მოსწავლე შეძლებს ხახუნითა და ურთიერთშეხებით დაელექტრებისას მუხტების განცალკევების აღწერას, ამ პროცესის ელექტრონების გადანაწილებასთან დაკავშირებას და ექსპერიმენტზე დაყრდნობით იმ დასკვნის გამოტანას, რომ შეძენილი მუხტები მოდულით ტოლია და საპირისპირო ნიშანი აქვს. | ნივთიერება და ველი — მუხტის, როგორც სხეულის ფიზიკური მახასიათებლის გამოყენება.<br>ფიზიკური პროცესი — დაელექტროების პროცესის მიზეზისა და შედეგის დაკავშირება;<br>ექსპერიმენტის ორგანიზება. |
| 2 | კვლევა და ცოდნის გააზრება | გავლენით დაელექტრება და დამუხტული–დაუმუხტავი სხეულების ურთიერთქმედება | მოსწავლე შეძლებს ელექტროსკოპით დააკვირდეს მუხტების გადანაწილებას სხეულთა ურთიერთშეხების გარეშე, ახსნას გავლენით დაელექტროების მექანიზმი და დაასაბუთოს, რატომ იზიდავს დამუხტული სხეული დაუმუხტავ სხეულს. | ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების თვისებრივი დახასიათება.<br>ფიზიკური პროცესი — მუხტების გადანაწილების პროცესის თვისებრივი ახსნა. |
| 3 | კვლევა, განზოგადება და შეფასება | ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი | მოსწავლე შეძლებს ორი ერთნაირი ელექტრომეტრის ექსპერიმენტით დააკვირდეს მუხტის გადანაწილებას, შეადაროს სისტემის საწყისი და საბოლოო მდგომარეობები და ჩამოაყალიბოს ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი. | ნივთიერება და ველი — მუხტის რაოდენობრივი აღწერა.<br>ფიზიკური პროცესი — ბუნების კანონის გააზრება, ექსპერიმენტული მტკიცებულების ანალიზი. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- აღწეროს სხეულთა ხახუნით, ურთიერთშეხებითა და გავლენით დაელექტროების ძირითადი მექანიზმები;
- ხახუნით დაელექტრება დაუკავშიროს ელექტრონების ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასვლას და ახსნას წარმოქმნილი მუხტების ნიშნები;
- ექსპერიმენტით დაასაბუთოს, რომ ურთიერთშეხებისას შესაძლებელი ხდება მუხტების განცალკევება და გადანაწილება;
- ელექტროსკოპის ჩვენებით ახსნას გავლენით დაელექტრება — მუხტების განცალკევება სხეულთან შეხების გარეშე;
- მუხტების გადანაწილების საფუძველზე დაასაბუთოს, რატომ იზიდავს დამუხტული სხეული დაუმუხტავ სხეულს?
- ჩამოაყალიბოს ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი და ელექტრულად ჩაკეტილ სისტემაში მუხტების ალგებრული ჯამის მუდმივობა დაუკავშიროს ექსპერიმენტის შედეგს;
- დაკვირვება, პროგნოზი და დასკვნა ერთმანეთთან დააკავშიროს და პასუხი ექსპერიმენტული მტკიცებულებით დაასაბუთოს.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი დახასიათება (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან.
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება.
- სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან.
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად აღწერს და განასხვავებს ხახუნით, ურთიერთშეხებითა და გავლენით დაელექტროების მექანიზმებს. იგი ელექტრონების გადანაწილებას უკავშირებს ელექტროსკოპის ჩვენებასა და დამუხტული თუ ნეიტრალური სხეულების ურთიერთქმედებას, ხოლო ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით აყალიბებს მუხტის შენახვის კანონს და იყენებს მის მათემატიკურ გამოსახულებას: $q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const}$.

### აქტივობა 1. ხახუნით და ურთიერთშეხებით დაელექტროება

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| აქტივობის მიზანი | კვლევა და ახალი ცოდნის აგება — მოსწავლეებმა ექსპერიმენტული დაკვირვებით გაიაზრონ ხახუნითა და ურთიერთშეხებით დაელექტროებისას მუხტების განცალკევება და დააკავშირონ პროცესი ელექტრონების გადანაწილებასთან. |
| გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; ექსპერიმენტული სწავლება. |
| საკვლევი კითხვა | როგორ შეიძლება ორი თავდაპირველად ნეიტრალური სხეული დაელექტროვდეს ხახუნით ან ურთიერთშეხებით და რა კავშირი აქვს ამას ელექტრონების გადანაწილებასთან? |
| აქტივობის განხორციელება | მასწავლებელი იწყებს პარაგრაფის 1.3.1 ნაწილის მოკლე გააქტიურებით: მოსწავლეები პროგნოზირებენ, რა მოხდება ორი განსხვავებული ნივთიერების სხეულის ერთმანეთთან ხახუნისას და რა ნიშნით შეიძლება დაიმუხტონ ისინი. შემდეგ ტარდება ურთიერთშეხებით დაელექტროების სადემონსტრაციო ცდა მოსწავლის წიგნში აღწერილი თანმიმდევრობით. მოსწავლეები ყოველი ეტაპის შემდეგ აფიქსირებენ მხოლოდ დაკვირვების შედეგს და შემდეგ ხსნიან მას ნაწილაკური მოდელით. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| ექსპერიმენტი 1 — ხახუნით დაელექტროება | 1. აიღეთ ორი სხვადასხვა ნივთიერებისგან დამზადებული სხეული (მაგალითად, პლასტმასის/ებონიტის ღერო და შალის ქსოვილი) და ხახუნით დააელექტროვეთ.<br>2. დაელექტროების არსებობა გადაამოწმეთ მსუბუქ ქაღალდის ნაჭრებთან ან ელექტროსკოპთან მიახლოებით.<br>3. მოსწავლეები აკავშირებენ შედეგს იმასთან, რომ ხახუნისას ელექტრონები ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის; შესაბამისად, სხეულები საპირისპირო ნიშნით იმუხტება.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| ექსპერიმენტი 2 — ურთიერთშეხებით დაელექტროება (სურ. 1.3.2) | 1. აიღეთ ორი ელექტროსკოპი და მათ ღეროებზე დაამაგრეთ ლითონის ჭიქები.<br>2. ერთ ჭიქაში ჩაასხით ქიმიურად სუფთა წყალი და მასში იზოლატორისაგან დამზადებულ ღეროზე დამაგრებული სანთლის (პარაფინის) ბურთულა ჩაუშვით.<br>3. ბურთულის ამოღების შემდეგ დააკვირდით ელექტროსკოპის ფურცლებს — ისინი გაიშლება.<br>4. იგივე ბურთულა ჩადეთ მეორე ელექტროსკოპზე დამაგრებულ ჭიქაში და დააკვირდით, რომ მეორე ელექტროსკოპის ფურცლებიც გაიშლება.<br>5. ბოლოს ელექტროსკოპები გამტარით შეაერთეთ; ფურცლების ჩამოშვება განიხილეთ როგორც იმის ნიშანი, რომ წყლისა და ბურთულის მუხტები მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპიროა.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტების დაწყებამდე | • რომელ ნაწილაკებს შეუძლიათ ერთი სხეულიდან მეორე სხეულზე გადასვლა ჩვეულებრივი დაელექტროებისას?<br>• რას გვიჩვენებს წყლიანი ელექტროსკოპის ფურცლების გაშლა?<br>• რას ნიშნავს სხეულების საპირისპირო ნიშნით დამუხტვა?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დაკვირვებისას | • რატომ უნდა დავაკვირდეთ ორივე ელექტროსკოპის ჩვენებას ცდის სხვადასხვა ეტაპზე?<br>• რა მტკიცებულება გვიჩვენებს, რომ პარაფინის ბურთულამ მეორე სხეულთან მუხტი გადაიტანა?<br>• რატომ არის მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტის ბოლოს ელექტროსკოპების გამტარით შეერთება?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება. |
| პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისა და ტრანსფერის ეტაპზე | • თუ ყოველდღიურ ცხოვრებაში პლასტმასის სავარცხელი ხახუნის შემდეგ თმის ღერებს იზიდავს, რა მიკროსკოპული ცვლილება უნდა მომხდარიყო ხახუნისას?<br>• თუ ორი სხეული ხახუნის შემდეგ საპირისპირო ნიშნით დაიმუხტა, შეიძლება თუ არა მათი დაელექტროება „ახალი მუხტის შექმნით“ ავხსნათ? რატომ?<br>• როგორ გამოიყენებდით ელექტროსკოპს იმის შესამოწმებლად, გადავიდა თუ არა მუხტი ერთი სხეულიდან მეორეზე?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი | მასწავლებელი წინასწარ არ ასახელებს მუხტის ნიშანს; მოსწავლეებს სთხოვს დაკვირვების აღწერას და ელექტრონების გადატანის მოდელით ახსნას. განსაკუთრებით აზუსტებს, რომ ჩვეულებრივი დაელექტროებისას სხეულებს შორის პროტონები არ გადაადგილდებიან. ექსპერიმენტში მიღებული ნიშნების ინტერპრეტაციას მოსწავლეები აკეთებენ მტკიცებულების საფუძველზე. |
| რესურსები | პლასტმასის/ებონიტის ღერო და შალის ქსოვილი; მსუბუქი ქაღალდის ნაჭრები; ორი ელექტროსკოპი ლითონის ჭიქებით; ქიმიურად სუფთა წყალი; პარაფინის ბურთულა იზოლატორის ღეროზე; გამტარი შემაერთებელი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.3.1–1.3.2. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| უსაფრთხოება | ელექტროსკოპები დადგით მყარ ზედაპირზე; მინის ჭურჭელი და ღეროები გამოიყენეთ ფრთხილად; წყალი არ დაღვაროთ ელექტრული მოწყობილობების ან გამტარების სიახლოვეს. ექსპერიმენტი ტარდება დაბალი სტატიკური მუხტებით და არ გამოიყენება ქსელური ძაბვა. |
| შეფასება | ზეპირი განმავითარებელი უკუკავშირი. კრიტერიუმები: ცდის შედეგების ზუსტად აღწერა; ელექტრონების გადანაწილების სწორი ახსნა; საპირისპირო ნიშნით მუხტების წარმოქმნის შესახებ დასკვნის მტკიცებულებით დასაბუთება. |
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ექსპერიმენტის ეტაპების ილუსტრირებული ბარათები, რომლებიც უნდა დაალაგონ სწორი თანმიმდევრობით და თითოეულ ეტაპს მიუწერონ „რას დავაკვირდით“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დაკვირვებას დამოუკიდებლად აღწერენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ხსნიან, რატომ ჩამოეშვება ორივე ელექტროსკოპის ფურცელი მათი გამტარით შეერთებისას. |

### შუალედური დასკვნა

ხახუნით დაელექტროებისას ელექტრონები ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის და სხეულები საპირისპირო ნიშნით იმუხტება. ურთიერთშეხებისას მუხტები შეიძლება გადანაწილდეს სხეულებს შორის; ექსპერიმენტში მიღებული შედეგი აჩვენებს, რომ განცალკევებული მუხტები შეიძლება მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპირო იყოს.

### აქტივობა 2. გავლენით დაელექტროება და დამუხტული–დაუმუხტავი სხეულების ურთიერთქმედება

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| აქტივობის მიზანი | კვლევა და ცოდნის გააზრება — მოსწავლეებმა ელექტროსკოპის ექსპერიმენტით გაიაზრონ გავლენით დაელექტროება, ხოლო დამუხტული და დაუმუხტავი სხეულების ურთიერთქმედება ახსნან ნეიტრალურ სხეულში მუხტების გადანაწილებით. |
| გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი | ექსპერიმენტული სწავლება; მიმართულებითი კითხვა–პასუხი. |
| საკვლევი კითხვა | შეიძლება თუ არა დაუმუხტავ სხეულში მუხტები სხეულთან უშუალო შეხების გარეშე გადანაწილდეს და როგორ ხსნის ეს დამუხტული სხეულის მიერ დაუმუხტავი სხეულის მიზიდვას? |
| აქტივობის განხორციელება | მასწავლებელი ჯერ აჩვენებს მოსწავლის წიგნის სურ. 1.3.3-ის ექსპერიმენტს, შემდეგ სურ. 1.3.4-ის მიხედვით განიხილავს დამუხტული ღეროსა და დაუმუხტავი გამტარის ურთიერთქმედებას. მოსწავლეები ადარებენ ორ მდგომარეობას — დამუხტული ღეროს მიახლოებამდე და მიახლოებისას — და სიტყვიერად/სქემით აფიქსირებენ, სად გროვდება საპირისპირო და იმავე ნიშნის მუხტები. |
| ექსპერიმენტი 1 — გავლენით დაელექტროება (სურ. 1.3.3) | 1. დაუმუხტავი ელექტროსკოპის დისკოს მიუახლოვეთ დაელექტროებული ღერო ისე, რომ მას არ შეეხოს.<br>2. დააკვირდით ელექტროსკოპის ფურცლებს — ისინი გაიშლება.<br>3. ღერო ელექტროსკოპს მოაშორეთ და დააკვირდით - ფურცლები კვლავ დაეშვება.<br>4. მოსწავლეები ასკვნიან, რომ მუხტი ღეროდან ელექტროსკოპზე არ გადასულა; ღეროს მუხტის გავლენით ელექტროსკოპში არსებული საპირისპირო ნიშნების მუხტები განცალკევდა და გადანაწილდა.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება. |
| ექსპერიმენტი 2 — დამუხტული და დაუმუხტავი სხეულის | 1. დამუხტული ღერო მიუახლოვეთ დაუმუხტავ მსუბუქ გამტარ სხეულს/ფირფიტას შეხების გარეშე. სხეული დამუხტული ღეროსკენ |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| ურთიერთქმედების გააზრება (სურ. 1.3.4) | გადაიხრება.<br>2.სურათზე დააკვირდით, რომ დამუხტულ ღეროსთან ახლოს დაუმუხტავ სხეულში გროვდება საპირისპირო ნიშნის მუხტი, შორეულ მხარეს კი იგივე ნიშნის მუხტი.<br>3. გაითვალისწინეთ, რომ ახლოს განთავსებულ საპირისპირო ნიშნების მუხტებს შორის მიზიდვის ძალა უფრო დიდია, ვიდრე შორეულ იმავე ნიშნების მუხტებს შორის განზიდვის ძალა; ამიტომ სხეული მთლიანობაში მიიზიდება.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის დაწყებამდე | • რა მდგომარეობაშია ელექტროსკოპი ცდის დასაწყისში?<br>• ეხება თუ არა დამუხტული ღერო ელექტროსკოპის დისკოს?<br>• რას გვიჩვენებს ფურცლების გაშლა?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დაკვირვებისას | • რა შეიცვალა მხოლოდ ღეროს მიახლოებით?<br>• როგორ დავრწმუნდით, რომ მუხტი ღეროდან ელექტროსკოპზე არ გადასულა?<br>• სად უნდა განლაგდეს ღეროსთან საპირისპირო ნიშნის მუხტი და სად — იგივე ნიშნის მუხტი?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში | • რატომ შეიძლება დამუხტულმა ბუშტმა მიიზიდოს ნეიტრალური ქაღალდის პატარა ნაჭერი, მიუხედავად იმისა, რომ ქაღალდი თავიდან დამუხტული არ იყო?<br>• თუ დამუხტულ ღეროს ნეიტრალურ ლითონის ბურთულას მიუახლოვებთ, რა შეიძლება ვთქვათ ბურთულის შიგნით მუხტების განაწილების შესახებ?<br>• თუ დამუხტული ღერო ელექტროსკოპს უფრო დავაშორეთ, როგორ შეიცვლება ფურცლების გადახრა და რატომ?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ცოდნის ახალ სიტუაციაში გამოყენება. |
| მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი | მასწავლებელი სვამს დამაზუსტებელ კითხვებს და მკაფიოდ განასხვავებს „მუხტის გადასვლას“ და „მუხტის გადანაწილებას“. მოსწავლეებს სთხოვს ექსპერიმენტის თითოეული ეტაპი ახსნან ნაწილაკური მოდელით და არ აძლევს მზა პასუხს დამუხტული–დაუმუხტავი სხეულების მიზიდვის მიზეზზე, სანამ ისინი ახლო და შორი მუხტების ურთიერთქმედებას არ შეადარებენ. |
| რესურსები | ელექტროსკოპი; დაელექტროებული ღერო; მსუბუქი დაუმუხტავი გამტარი ფირფიტა ან პატარა გამტარი სხეული; შტატივი საჭიროების შემთხვევაში; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.3.3–1.3.4. |
| უსაფრთხოება | ღერო და ელექტროსკოპი გამოიყენეთ ფრთხილად; ექსპერიმენტი ჩატარდეს მხოლოდ სტატიკური მუხტებით. არ გამოიყენოთ მაღალი ძაბვის წყაროები. |
| შეფასება | მოკლე კონცეპტუალური შემოწმება: მოსწავლე სქემაზე აღნიშნავს, როგორ გადანაწილდება მუხტები ნეიტრალურ გამტარში დამუხტული ღეროს მიახლოებისას და ერთი წინადადებით ხსნის მიზიდვას.<br>კრიტერიუმები: მუხტების სწორი განაწილება სქემაზე; მიზიდვის მიზეზის არგუმენტირებული ახსნა. |
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული სქემა, რომელზეც ღეროს მუხტის ნიშანი უკვე მითითებულია; მოსწავლემ უნდა განათავსოს „+“ და „-“ ნიშნები გამტარის შესაბამის მხარეებზე. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემას დამოუკიდებლად ქმნიან. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ხსნიან, რატომ გააქტიურდა მიზიდვის ძალა, როცა სხეულში ორივე ნიშნის მუხტი არსებობს. |

**შუალედური დასკვნა**

გავლენით დაელექტროებისას მუხტი სხეულიდან სხეულზე არ გადადის — დამუხტული სხეულის ელექტრული ზემოქმედება ნეიტრალურ სხეულში მუხტების გადანაწილებას იწვევს. ამიტომ დამუხტული სხეული შეიძლება დაუმუხტავ სხეულსაც მიიზიდავდეს.

**აქტივობა 3. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | კვლევა, განზოგადება და შეფასება — მოსწავლეებმა ორი ერთნაირი ელექტრომეტრის ექსპერიმენტით ჩამოაყალიბონ ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი და დაუკავშირონ იგი დახურულ სისტემაში მუხტების ალგებრული ჯამის უცვლელობას. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | იცვლება თუ არა სხეულთა სისტემის სრული ელექტრული მუხტი, როდესაც მუხტი მხოლოდ სისტემის სხეულებს შორის გადანაწილდება? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი აჩვენებს ორ ერთნაირ ელექტრომეტრს. ერთი ელექტრომეტრი წინასწარ დამუხტულია, მეორე — დაუმუხტავი. მოსწავლეები ჯერ პროგნოზირებენ, რა მოხდება ელექტრომეტრების მეტალის დისკოების გამტარით შეერთებისას. შემდეგ ექსპერიმენტის შედეგს ადარებენ საწყის მდგომარეობას და მსჯელობენ არა ცალკეული ელექტრომეტრის მუხტზე, არამედ ორივე ელექტრომეტრისგან შემდგარი სისტემის საერთო მუხტზე. |
| **ექსპერიმენტი — ელექტრული მუხტის შენახვის კანონის დემონსტრირება (სურ. 1.3.5–1.3.6)** | 1. აიღეთ ორი ერთნაირი ელექტრომეტრი. ერთი დატოვეთ დაუმუხტავი, მეორე კი წინასწარ დამუხტეთ და დააფიქსირეთ მისი ჩვენება.<br>2. შეადარეთ ორი ელექტრომეტრის საწყისი მდგომარეობა: პირველზე მუხტი არის, მეორეზე — არა.<br>3. იზოლატორის სახელურიანი ლითონის ღეროთი შეაერთეთ ელექტრომეტრების დისკოები.<br>4. დააკვირდით, მუხტი ელექტრომეტრებს შორის გადანაწილდება და ორივეს ჩვენება შეიცვლება.<br>5. მოსწავლეები ადარებენ საწყის და საბოლოო მდგომარეობას და ასკვნიან, რომ ელექტრულად ჩაკეტილ სისტემაში მუხტი არ წარმოიქმნება და არ ქრება — იგი მხოლოდ გადანაწილდება.<br>6. მასწავლებელი განაზოგადებს შედეგს: $q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n = \text{const}$.<br>განვითარებადი უნარები: მონაცემების გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის დაწყებამდე** | • რას ნიშნავს ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა?<br>• რა განსხვავებაა ორ ელექტრომეტრს შორის საწყის მდგომარეობაში?<br>• რას ნიშნავს მუხტების ალგებრული ჯამი?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტისას** | • რატომ ვიყენებთ ორ ერთნაირ ელექტრომეტრს?<br>• რა შეიცვალა გამტარით შეერთების შემდეგ თითოეულ ელექტრომეტრზე?<br>• რომელი სიდიდე უნდა შევადაროთ ექსპერიმენტამდე და ექსპერიმენტის შემდეგ, რათა მუხტის შენახვაზე ვიმსჯელოთ?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისა და ტრანსფერის ეტაპზე** | • თუ ორ დამუხტულ სხეულს ერთმანეთთან შევახებთ და მუხტი გადანაწილდება, რა უნდა დარჩეს უცვლელი ჩაკეტილ სისტემაში?<br>• თუ ნეიტრალური სხეულების ხახუნის შემდეგ ერთმა სხეულმა -q მუხტი მიიღო, რა მუხტი უნდა ჰქონდეს მეორეს, თუ სისტემა იზოლირებულია?<br>• როგორ ახსნით ყოველდღიურ სიტუაციას, როდესაც სტატიკური მუხტი ერთ საგანზე მცირდება და მეორეზე ჩნდება — ნიშნავს თუ არა ეს მუხტის გაქრობას ან წარმოქმნას?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელს ყურადღება გადააქვს „ცალკეული სხეულის მუხტიდან“ „სისტემის საერთო მუხტზე“. თუ მოსწავლე ამბობს, რომ პირველი ელექტრომეტრის მუხტი „დაიკარგა“, მასწავლებელი სთხოვს მეორე ელექტრომეტრის ჩვენების გათვალისწინებას და სისტემის მთლიანად შეფასებას. ფორმულა შემოდის მხოლოდ ექსპერიმენტული დასკვნის შემდეგ. |
| **რესურსები** | ორი ერთნაირი ელექტრომეტრი; დამუხტვისთვის საჭირო ღერო/დამმუხტავი საშუალება; იზოლატორის სახელურიანი ლითონის შემაერთებელი ღერო; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.3.5–1.3.6 ; დაფა. |
| **უსაფრთხოება** | ექსპერიმენტი ტარდება მხოლოდ ელექტროსტატიკური მოწყობილობებით. არ გამოიყენოთ ქსელური ძაბვა. ელექტრომეტრები და მინის/ლითონის ნაწილები დაამუშავეთ ფრთხილად და დადგით სტაბილურ ზედაპირზე. |
| **შეფასება** | განმავითარებელი შეფასება — „დაასრულე სქემა“. მოსწავლე ავსებს სქემას: „საწყისი საერთო მუხტი → მუხტის გადანაწილება → საბოლოო საერთო მუხტი“ და წერს ერთ წინადადებას, რომელიც გამოხატავს მუხტის შენახვის კანონს. კრიტერიუმები: ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემის სწორად განსაზღვრა; საერთო მუხტის უცვლელობის სწორად აღწერა; დასკვნის ექსპერიმენტთან დაკავშირება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ სამი ეტაპის მზა სქემა და ორი არჩევანი თითოეულ ეტაპზე („მუხტი გაქრა“ / „მუხტი გადანაწილდა“; „საერთო მუხტი შეიცვალა“ / „საერთო მუხტი უცვლელია“). სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დასკვნას დამოუკიდებლად აყალიბებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ქმნიან რიცხვით მაგალითს $q_1 + q_2 = \text{const}$ პირობის დასამტკიცებლად. |

### სასურველი დასკვნა

სხეულები შეიძლება დაელექტროვდეს ხახუნით, ურთიერთშეხებით და გავლენით. ხახუნისა და ურთიერთშეხებისას მუხტი ერთი სხეულიდან მეორეზე შეიძლება გადავიდეს, ხოლო გავლენით დაელექტროებისას მუხტები ნეიტრალურ სხეულში შეხების გარეშე გადანაწილდება. ელექტრულად ჩაკეტილ სისტემაში სხეულთა ელექტრული მუხტების ალგებრული ჯამი ნებისმიერ ურთიერთქმედების დროს მუდმივია: $q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const}$.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „დაასრულე სქემა“

დაუკავშირე ცნებები შესაბამის შინაარსს (გამოიყენე სიტყვები: ელექტრონების გადასვლა, მუხტის შენახვა, მუხტების გადანაწილება)

მოსწავლე ინდივიდუალურად ასრულებს სამ კავშირს: 1) ხახუნით დაელექტროება → _____; 2) გავლენით დაელექტროება → _____; 3) ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა → _____. შემდეგ ერთ არჩეულ კავშირს ასაბუთებს პარაგრაფში ჩატარებული ექსპერიმენტის მაგალითით.

### მასწავლებლის ინსტრუქცია

ყურადღება მიაქციეთ, რომ მოსწავლეებმა ერთმანეთში არ აურიონ მუხტის გადასვლა და მუხტების გადანაწილება. გავლენით დაელექტროებისას დამუხტული სხეულისგან ელექტროსკოპზე მუხტი არ გადადის. მუხტის შენახვის კანონის განხილვისას აუცილებლად უნდა განისაზღვროს ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა და ხაზგასმით მიუთითეთ, რომ ამ სისტემაში უცვლელია სხეულთა მუხტების ალგებრული ჯამი.

### მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები

1. **რატომ ელექტროვდებიან ერთმანეთზე ხახუნით სხეულები?**
   სხვადასხვა ნივთიერებისგან დამზადებული სხეულების ერთმანეთზე ხახუნისას ერთი სხეულიდან მეორეზე ელექტრონები გადადის. ამის შედეგად ერთ სხეულზე ჩნდება დადებითი, მეორეზე კი მოდულით ტოლი უარყოფითი მუხტი.
2. **რა როლს ასრულებს ხახუნი სხეულთა დაელექტროების პროცესში?**
   ხახუნი ზრდის სხეულების მჭიდრო შეხების უბნების რაოდენობას, ანუ შეხების ფართობს. ამის გამო უფრო მეტ ელექტრონს ეძლევა ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასვლის შესაძლებლობა და სხეულები უფრო შესამჩნევად იმუხტება.
3. **რატომ მიიზიდებიან დამუხტული სხეულის მიერ დაუმუხტავი ქაღალდის ნაკუწები?**
   დამუხტული სხეულის მიახლოებისას დაუმუხტავ სხეულში მუხტები გავლენით გადანაწილდება. დამუხტულ სხეულთან უფრო ახლოს აღმოჩნდება მისი საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი, ხოლო იმავე ნიშნის მუხტი — უფრო შორს. რადგან ახლოს მყოფ მუხტებს შორის მიზიდვის ძალა უფრო დიდია, ვიდრე შორს მყოფ მუხტებს შორის განზიდვის ძალა, საბოლოოდ დაუმუხტავი სხეული მიიზიდება.
4. **რას ნიშნავს, რომ სხეულთა სისტემა ელექტრულად ჩაკეტილია?**
   ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა არის სხეულთა ან ნაწილაკთა ისეთი ჯგუფი, რომელშიც გარედან არ შედის და მისგან გარეთ არ გადის დამუხტული ნაწილაკები.

### საშინაო აქტივობის კითხვებზე პასუხები/ამოცანების ამოხსნები

**1. რამდენი ელექტრონი უნდა დაკარგოს ნეიტრალურმა სხეულმა, რომ იგი დაიმუხტოს: ა) 200 მკკ მუხტით? ბ) $4 \cdot 10^{-17}$ კ მუხტით? გ) $1592 \cdot 10^{-20}$ კ მუხტით?**

სხეული დადებითად იმუხტება მაშინ, როდესაც ელექტრონებს კარგავს. დაკარგული ელექტრონების რაოდენობა განისაზღვრება მუხტის დისკრეტულობის ფორმულიდან:

$$q = Ne, \quad N = \frac{q}{e}$$

**ა)** 200 მკკ = $200 \cdot 10^{-6}$ კ = $2 \cdot 10^{-4}$ კ.

$$N = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 1{,}25 \cdot 10^{15}$$

ამრიგად, სხეულმა უნდა დაკარგოს $1{,}25 \cdot 10^{15}$ ელექტრონი.

**ბ)**

$$N = \frac{4 \cdot 10^{-17}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 250$$

სხეულმა უნდა დაკარგოს 250 ელექტრონი.

**გ)**

$$N = \frac{1592 \cdot 10^{-20}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 99{,}5$$

ელექტრონების რაოდენობა მხოლოდ მთელი რიცხვი შეიძლება იყოს. მიღებული N = 99,5 არ არის მთელი რიცხვი, ამიტომ სხეული ზუსტად $1592 \cdot 10^{-20}$ კ მუხტით ვერ დაიმუხტება. ასეთი მუხტი ელექტრული მუხტის დისკრეტულობას ეწინააღმდეგება.

**პასუხი:** ა) $1{,}25 \cdot 10^{15}$ ელექტრონი; ბ) 250 ელექტრონი; გ) ასეთი მუხტის მიღება შეუძლებელია.

**2. მინის ღეროს აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნისას $5 \cdot 10^{12}$ რაოდენობის ელექტრონი ქსოვილზე გადავიდა. რა მუხტი შეიძინა მინის ღერომ?**

ელექტრონები მინის ღეროდან აბრეშუმზე გადავიდა, ამიტომ მინის ღერომ ელექტრონები დაკარგა და დადებითად დაიმუხტა. მუხტის მოდულია:

$$q = Ne = 5 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 8 \cdot 10^{-7}\ \text{კ} = 0{,}8\ \text{მკკ}$$

**პასუხი:** მინის ღერომ შეიძინა $+8 \cdot 10^{-7}$ კ, ანუ +0,8 მკკ მუხტი.

**3*. 600 მკკ და 900 მკკ მუხტით დაელექტროებული ორი ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულა ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ ისევ დააშორეს. ა) რა მუხტი შეიძინა თითოეულმა მათგანმა? ბ) რომელი ბურთულიდან რომელზე გადავიდა ელექტრონები? რამდენი ელექტრონი გადავიდა ამ შეხებისას?**

ერთნაირი ზომის გამტარი ბურთულების შეხებისას მათი მუხტები გათანაბრდება. მუხტის შენახვის კანონის მიხედვით ჯამური მუხტი უცვლელია.

**ა)** ბურთულების საწყისი ჯამური მუხტია:

$$Q = 600\ \text{მკკ} + 900\ \text{მკკ} = 1500\ \text{მკკ}$$

შეხების შემდეგ მუხტი თანაბრად განაწილდება ორ ბურთულაზე:

$$Q' = \frac{1500\ \text{მკკ}}{2} = 750\ \text{მკკ}$$

ამრიგად, თითოეული ბურთულა 750 მკკ მუხტს შეიძენს.

**ბ)** პირველი ბურთულის მუხტი 600 მკკ-დან 750 მკკ-მდე გაიზარდა — მან ელექტრონების ნაწილი დაკარგა. მეორე ბურთულის მუხტი 900 მკკ-დან 750 მკკ-მდე შემცირდა — მან ელექტრონები მიიღო. მაშასადამე, ელექტრონები გადავიდა 600 მკკ მუხტის მქონე ბურთულიდან 900 მკკ მუხტის მქონე ბურთულაზე.

$$\Delta q = 750\ \text{მკკ} - 600\ \text{მკკ} = 150\ \text{მკკ} = 150 \cdot 10^{-6}\ \text{კ}$$

$$N = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 9{,}375 \cdot 10^{14}$$

**პასუხი:** ა) თითოეულ ბურთულაზე 750 მკკ; ბ) $9{,}375 \cdot 10^{14}$ ელექტრონი გადავიდა 600 მკკ-იანი ბურთულიდან 900 მკკ-იან ბურთულაზე.

**4. -200 მკკ, -500 მკკ და 400 მკკ მუხტების მქონე სამი ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულა ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ ისევ ერთდროულად დააშორეს. რა მუხტი შეიძინა თითოეულმა მათგანმა?**

სამივე ერთნაირი ბურთულა ერთმანეთთან კონტაქტშია, ამიტომ საბოლოოდ მათი მუხტები გათანაბრდება. ჯერ ვიპოვოთ სისტემის ჯამური მუხტი:

$$Q = -200\ \text{მკკ} - 500\ \text{მკკ} + 400\ \text{მკკ} = -300\ \text{მკკ}$$

ჯამური მუხტი სამ ერთნაირ ბურთულაზე თანაბრად განაწილდება:

$$Q = \frac{-300 \text{ მკკ}}{3} = -100 \text{ მკკ}$$

**პასუხი:** თითოეულმა ბურთულამ შეიძინა -100 მკკ მუხტი.

**5*. როდესაც q > 0 მუხტით დაელექტროებული მცირე ზომის ლითონის ბურთულა მეორე, იგივე ზომის დაელექტროებულ ბურთულას შეახეს, მასზე მუხტი 2q-ით შემცირდა. რა მუხტი ჰქონდა მეორე ბურთულას მასთან შეხებამდე?**

პირველი ბურთულის საწყისი მუხტია q. შეხების შემდეგ მისი მუხტი 2q-ით შემცირდა, ამიტომ საბოლოო მუხტია:

$$Q' = q - 2q = -q$$

ბურთულები ერთნაირი ზომისაა, ამიტომ შეხების შემდეგ ორივეს ერთნაირი მუხტი ექნება, ანუ თითოეულზე -q. მაშასადამე, საბოლოო ჯამური მუხტია -2q. მუხტის შენახვის კანონით ეს ტოლი უნდა იყოს საწყისი ჯამური მუხტისა. თუ მეორე ბურთულის საწყის მუხტს $Q_2$-ით აღვნიშნავთ:

$$q + Q_2 = -2q$$

$$Q_2 = -3q$$

**პასუხი:** მეორე ბურთულას შეხებამდე ჰქონდა -3q მუხტი.

**6**. დაუმუხტავი გამტარი ბურთულა თანმიმდევრულად, რიგ-რიგობით შეახეს q-ით დამუხტულ ისეთივე n რაოდენობის ბურთულას.**

**ა)** ვიპოვოთ, რა მუხტი ექნება ბურთულას ყოველი შეხების შემდეგ. თავდაპირველად დაუმუხტავი ბურთულის მუხტია $Q_0 = 0$.

**ბ)** მინიმუმ რისი ტოლი უნდა იყოს დამუხტული ბურთულების რაოდენობა, რომ მათთან შეხების შემდეგ დაუმუხტავმა ბურთულამ q მუხტის 99%ზე მეტი შეიძინოს?

პირველ q მუხტიან ბურთულასთან შეხების შემდეგ ჯამური q მუხტი თანაბრად გაიყოფა ორ ერთნაირ ბურთულაზე:

$$Q_1 = q/2$$

მეორე q მუხტიან ბურთულასთან შეხებისას:

$$Q_2 = (Q_1 + q)/2 = (q/2 + q)/2 = 3q/4$$

მესამე შეხებისას:

$$Q_3 = (Q_2 + q)/2 = 7q/8$$

ჩანს კანონზომიერება: ყოველი შეხების შემდეგ q-მდე დარჩენილი სხვაობა ორჯერ მცირდება. ამიტომ n-ე შეხების შემდეგ:

$$Q_n = q(1 - 1/2^n)$$

მე-n-ე q მუხტიან ბურთულასთან შეხების მომენტში ორივე ბურთულა ერთნაირ მუხტს იღებს, ამიტომ მე-n ბურთულის საბოლოო მუხტიც სწორედ $Q_n$-ის ტოლია.

**ბ)** გვინდა, რომ თავდაპირველად დაუმუხტავმა ბურთულამ q მუხტის 99%-ზე მეტი შეიძინოს:

$$q(1 - 1/2^n) > 0{,}99q$$

$$1/2^n < 0{,}01 \Rightarrow 2^n > 100$$

ვამოწმებთ მეზობელ მთელ მნიშვნელობებს: $2^6 = 64 < 100$, ხოლო $2^7 = 128 > 100$. ამიტომ მინიმალური რაოდენობაა n = 7.

**პასუხი:** ა) $Q_n = q(1 - 1/2^n)$; ბ) მინიმუმ 7 დამუხტული ბურთულაა საჭირო.

**7*. q, 2q, 3q და -6q-ით დამუხტული ოთხი ერთნაირი ზომის განცალკევებული გამტარი ბურთულებიდან რომელი მათგანი და რა თანმიმდევრობით უნდა შევახოთ დანარჩენ სამ ბურთულას, რომ ბოლოს იგი განეიტრალდეს?**

შეგვიძლია ავირჩიოთ q მუხტის მქონე ბურთულა და დანარჩენებს შემდეგი თანმიმდევრობით შევახოთ: ჯერ 3q-იანს, შემდეგ -6q-იანს და ბოლოს 2q-იანს.

I შეხება — q და 3q:

$$Q_1 = \frac{q + 3q}{2} = 2q$$

არჩეულ ბურთულაზე ახლა 2q მუხტია.
II შეხება — 2q და -6q:

$$Q_2 = \frac{2q - 6q}{2} = -2q$$

არჩეულ ბურთულაზე ახლა -2q მუხტია.
III შეხება — -2q და 2q:

$$Q_3 = \frac{-2q + 2q}{2} = 0$$

ამრიგად, არჩეული ბურთულა საბოლოოდ განეიტრალდა.

**პასუხი:** q-თი დამუხტული ბურთულა ჯერ შევახოთ 3q-იან ბურთულას, შემდეგ -6q-იანს, ბოლოს კი 2q-იანს (ასევე არსებობს სიმეტრიული ვარიანტი: 3q-იანი → q-იანი → -6q-იანი → 2q-იანი).

## პარაგრაფი №1.4 — კულონის კანონი

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | კულონის კანონი — ფორმულის შინაარსის გააზრება | მოსწავლე შეძლებს კულონის კანონის ჩამოყალიბებას, ფორმულაში შემავალი სიდიდეების ფიზიკური მნიშვნელობის ახსნას, მუხტისა და მანძილის ცვლილებისას ძალის ცვლილების პროგნოზირებას და კულონის ძალის მიმართულების განსაზღვრას. | ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება; ძალის მოდულის დამოკიდებულების დაკავშირება მუხტების მოდულებსა და მათ შორის მანძილთან. |
| 2 | ცოდნის განმტკიცება და პრობლემის გადაჭრა | კულონის კანონის გამოყენება ამოცანებში | მოსწავლე შეძლებს მოსწავლის წიგნში მოცემულ ამოცანებში სისტემის საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების გაანალიზებას, ელექტრული მუხტის შენახვისა და კულონის კანონების ეთობლივი გამოყენებით ამოხსნის სტრატეგიის დაგეგმვასა და მიღებული შედეგების დასაბუთებას. | ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების გადაჭრა.<br>ფიზიკური პროცესი — ბუნების კანონის გამოყენებით მიზეზშედეგობრივი კავშირების გაანალიზება. |
| 3 | ცოდნის ტრანსფერი და განმავითარე-ბელი შეფასება | კულონის კანონი — ცოდნის გაწაფვა და განზოგადება | მოსწავლე შეძლებს კულონის კანონის გამოყენებას ახალ სიტუაციებში, ძალის ცვლილების წინასწარ განსაზღვრას, ძალის მიმართულებისა და რამდენიმე კულონის ძალის ტოლქმედის შესახებ მსჯელობას და პასუხის არგუმენტირებულად დასაბუთებას. | ძალა — ელექტრული ძალის მოქმედების ხასიათისა და რაოდენობრივი კანონზომიერების გააზრება.<br>ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების კანონზომიერების გამოყენება უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- ჩამოაყალიბოს კულონის კანონი და განმარტოს, რა ფიზიკურ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ორ წერტილოვან მუხტს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალის მოდული;
- ფორმულის საფუძველზე დაასაბუთოს, რომ კულონის ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა;
- განმარტოს კულონის ფორმულაში შემავალი მუდმივას მნიშვნელობა და სწორად გამოიყენოს SI სისტემის ერთეულები;
- განსაზღვროს კულონის ძალის მიმართულება, დააკავშიროს იგი მუხტების ნიშნებთან და ნიუტონის მესამე კანონთან;
- მოცემულ მუხტზე რამდენიმე მუხტის მოქმედებისას კულონის ძალების ტოლქმედი ვექტორული შეკრებით განსაზღვროს;
- კულონის კანონისა და ელექტრული მუხტის შენახვის კანონის გამოყენებით გადაჭრას მოსწავლის წიგნში მოცემული პრობლემური ამოცანები;
- ცნობილ და უცნობ სიტუაციებში ივარაუდოს, როგორ შეიცვლება ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა მუხტის ან მანძილის ცვლილებისას და საკუთარი პასუხი დაასაბუთოს.

### სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი დახასიათება (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/-მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების შედარება მათი წარმოქმნის მექანიზმისა და მოქმედების ხასიათის მიხედვით.
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების დაკავშირება (შესაბამისი კანონზომიერების გამოკვეთა) მათი მოქმედებით გამოწვეულ შედეგებთან; ამ შედეგების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება.
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების გამოყენებით სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა.
- ბუნების მოვლენების აღმწერი კანონების მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება და ამ კანონების გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა.

### წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად წერს და განმარტავს კულონის კანონს; ასახელებს ძალის დამოკიდებულებას მუხტების მოდულებსა და მანძილზე; განსაზღვრავს მიზიდვა–განზიდვის ხასიათსა და ძალის მიმართულებას; ამოცანის პირობაში არჩევს საჭირო მონაცემებს, იყენებს მუხტის შენახვის კანონს, კულონის კანონს და მსჯელობას თანმიმდევრულად ასაბუთებს.

**აქტივობა 1. კულონის კანონი — ფორმულის შინაარსის გააზრება**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა ეტაპობრივად გაიაზრონ კულონის კანონის ფორმულა, მასში შემავალი სიდიდეების ურთიერთდამოკიდებულება, ძალის მიმართულება და კანონის გამოყენების პირობები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | როგორ არის დამოკიდებული ორ უძრავ წერტილოვან მუხტს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა მუხტების სიდიდეებსა და მათ შორის მანძილზე? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ეყრდნობა მოსწავლის წიგნის სურ. 1.4.2–1.4.3-ს და კულონის ცდების იდეას. თავდაპირველად მოსწავლეები სიტყვიერად აყალიბებენ მოსალოდნელ დამოკიდებულებებს: როგორ შეიცვლება ძალა, თუ ერთ-ერთი მუხტის მოდული გაიზრდება; როგორ შეიცვლება ძალა, თუ მუხტებს შორის მანძილი გაიზრდება. ამის შემდეგ მასწავლებელი ეტაპობრივად აყალიბებს კავშირს $F \sim |q_1|\cdot|q_2|$ და $F \sim 1/r^2$ და აერთიანებს მათ კულონის კანონში. ცალკე განიხილება k კოეფიციენტის მნიშვნელობა, კანონის გამოყენების პირობები, ძალის მიმართულება- მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ და ის ფაქტი, რომ ორ მუხტზე მოქმედი ძალები მოდულით ტოლი და მიმართულებით საპირისპიროა. დასასრულს, სურ. 1.4.3-ის მიხედვით, მოკლედ განიხილება რამდენიმე კულონის ძალის ვექტორული შეკრებით ტოლქმედი ძალის გამოსახვა. |
| **ფორმულის შინაარსის გააზრება** | კულონის კანონის ჩანაწერში $q_1$ და $q_2$ მუხტების მოდულებს აღნიშნავს. მოსწავლეები ავსებენ დამოკიდებულებების მცირე სქემას: თუ $\|q_1\|$ იზრდება n-ჯერ და დანარჩენი უცვლელია — როგორ იცვლება F; თუ ორივე მუხტი იზრდება; თუ r იზრდება 2-ჯერ, 3-ჯერ და ა.შ. აქცენტი კეთდება არა ფორმულის მექანიკურ დამახსოვრებაზე, არამედ პირდაპირპროპორციული და უკუპროპორციული კვადრატული დამოკიდებულებების გააზრებაზე.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება.<br>$$F = k \cdot q_1 \cdot q_2 / r^2$$<br>$$k = 9 \cdot 10^9 ნ \cdot მ^2/კ^2$$ |
| **ძალის მიმართულება და რამდენიმე მუხტის მოქმედება** | მასწავლებელი დაფაზე გამოსახავს ორ ერთსახელიან და ორ სხვადასხვასახელიან მუხტს. მოსწავლეები ისრებით აღნიშნავენ ძალების მიმართულებებს და ასაბუთებენ მიზიდვა–განზიდვას. შემდეგ ერთი მუხტის გარშემო ორი სხვა მუხტის მარტივ სქემაზე განიხილება, რომ საწყის მუხტზე მეზობელი მუხტების მხრიდან მოქმედი თითოეული ძალა ვექტორია და ამ ძალების ტოლქმედი მათი ვექტორული ჯამით განისაზღვრება.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის შემოტანისას** | • რომელი სიდიდეები შედის კულონის კანონის ფორმულაში?<br>• რას აღნიშნავს r?<br>• რას აღნიშნავს k და რა მნიშვნელობა აქვს მას SI სისტემაში?<br>• რა მიმართულება აქვს კულონის ძალას?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დამოკიდებულებების გაანალიზებისას** | • როგორ შეიცვლება ძალა, თუ მხოლოდ ერთი მუხტის მოდული ორჯერ გაიზრდება?<br>• როგორ შეიცვლება ძალა, თუ ორივე მუხტის მოდული ორჯერ გაიზრდება?<br>• როგორ შეიცვლება ძალა, თუ მუხტებს შორის მანძილი ორჯერ გაიზრდება?<br>• როგორ განსაზღვრავთ ძალის მიმართულებას მუხტების ნიშნების მიხედვით?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; პრობლემის გადაჭრა. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში** | • რატომ არ გამოდგება კულონის კანონი ორი დამუხტული ლითონის სფეროს ურთიერთქმედების ძალის გამოსათვლელად, როდესაც მათ შორის მანძილი სფეროების რადიუსების თანაზომიერია?<br>• ერთ წრფეზე განლაგებულ სამ მუხტში შუა მუხტზე ორი ძალა მოქმედებს. როდის შეიძლება მათი ტოლქმედი ნულის ტოლი გახდეს?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ფორმულას მზა სახით არ იწყებს: ჯერ მოსწავლეებს სთხოვს დამოკიდებულებების სიტყვიერ პროგნოზს და მხოლოდ შემდეგ აერთიანებს მათ ფორმულაში. განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს განსხვავებას „მუხტის ნიშანსა“ და „მუხტის მოდულს“ შორის, ასევე $r^2$-ის მნიშვნელობას. მცდარი პასუხისას მოსწავლეს აბრუნებს ფორმულის კონკრეტულ წევრთან და სთხოვს, დაასახელოს რომელი სიდიდე შეიცვალა. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.4.1–1.4.3; დაფა ან პროექტორი; ორი დამუხტული ბურთულის სქემები; დამოკიდებულებების ნაწილობრივ შევსებული ბარათი; კულონის კანონის ვირტუალური დემონსტრაცია/QR-რესურსი სურვილის შემთხვევაში. |
| **შეფასება** | მინი-ქვიზი: მოსწავლე სამი მოკლე შემთხვევისთვის წერს მხოლოდ ცვლილების კოეფიციენტს — როგორ შეიცვლება F, თუ 1) $q_1$ ორჯერ გაიზრდება; 2) r ორჯერ გაიზრდება; 3) ორივე მუხტი ორჯერ გაიზრდება. კრიტერიუმები: დამოკიდებულების სწორად ამოცნობა; $r^2$-ის გათვალისწინება; პასუხის მოკლე დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ვიზუალური სქემა: „მუხტი ↑ → F ___“, „მანძილი 2-ჯერ ↑ → F ___-ჯერ“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დამოკიდებულებებს დამოუკიდებლად ადგენენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები განიხილავენ ერთდროულად ორი პარამეტრის ცვლილებას და პასუხს შეფარდების გზით ასაბუთებენ. |

**შუალედური დასკვნა**

ვაკუუმში მოთავსებულ ორ უძრავ წერტილოვან მუხტს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა. ძალები მიმართულია მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ; ერთსახელიანი მუხტები განიზიდებიან, სხვადასხვასახელიანი კი მიიზიდებიან.

**აქტივობა 2. კულონის კანონის გამოყენება ამოცანებში**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის განმტკიცება და პრობლემის გადაჭრა — მოსწავლეებმა კულონის კანონი გამოიყენონ მოსწავლის წიგნში მოცემულ ორ ამოცანაში, საჭიროებისას გააქტიურონ ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი და ამოხსნის ნაბიჯები ლოგიკურად დაასაბუთონ. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ შევადაროთ ელექტრული ურთიერთქმედების ძალები მაშინ, როდესაც ერთდროულად იცვლება მუხტები და მათ შორის მანძილი? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მუშაობენ წყვილებში ან მცირე ჯგუფებში. თითოეული ამოცანისთვის ჯერ გამოყოფენ საწყის და საბოლოო მდგომარეობას, შემდეგ ადგენენ რომელი კანონი სჭირდებათ თითოეულ ეტაპზე. მასწავლებელი სთხოვს მათ პირველ რიგში სიტყვიერად აღწერონ ცვლილებები და მხოლოდ ამის შემდეგ დაწერონ ფორმულები. რეკომენდებულია ძალების შეფარდების გამოყენება, რათა ზედმეტი გამოთვლები შემცირდეს. საბოლოო პასუხები კლასს მზა სახით არ ეძლევა — ჯგუფები წარმოადგენენ ამოხსნის ლოგიკას და ასაბუთებენ თითოეულ ნაბიჯს. |
| **ამოცანა 1 — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | 60 სმ-ით დაშორებულ q და 9q მუხტების მქონე ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულები ერთმანეთს შეახეს. რა მანძილით უნდა დავაშოროთ ბურთულები ერთმანეთს, რომ ურთიერთქმედების ძალა არ შეიცვალოს? |
| **ამოცანა 2 — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | q და -5q მუხტებით დაელექტროებული ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა F-ის ტოლია. ისინი ერთმანეთს შეახეს და ორჯერ მეტი მანძილით დააშორეს. გამოსახეთ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ახალი ძალა F-ით. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოცანის გააზრებისას** | • რა ხდება ერთნაირი ზომის დამუხტული გამტარი ბურთულების ურთიერთშეხებისას?<br>• რა სიდიდეები განსაზღვრავს კულონის ძალის მოდულს?<br>• რომელ კანონს ვიყენებთ ბურთულების შეხების შემდეგ მუხტების დასადგენად?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოხსნისას** | • როგორ ჩაიწერება საწყისი კულონის ძალა?<br>• როგორ განსაზღვრავთ თითოეული ბურთულის მუხტს შეხების შემდეგ?<br>•რას გვიჩვენებს $F_2/F_1$ შეფარდება და რატომ არის ამ წილადის პოვნა მოსახერხებელი, როდესაც ამოცანა ძალის ცვლილებას ითხოვს?<br>• როგორ გამოსახავთ უცნობ მანძილს ან ახალ ძალას მიღებული შეფარდებიდან?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისა და ტრანსფერის ეტაპზე** | • თუ ბურთულები ერთნაირი ზომის არ იქნებოდა, შეგვეძლებოდა თუ არა შეხების შემდეგ მუხტის თანაბრად გაყოფის დაშვება? რატომ?<br>• თუ ამოცანაში მანძილი უცვლელი დარჩებოდა, რა იქნებოდა ძალის ცვლილების მთავარი მიზეზი?<br>• რა შემთხვევაში ჯობს პირდაპირი გამოთვლის ნაცვლად ძალების შეფარდებით შედარება?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მოსწავლეებს არ აწვდის ამოცანების საბოლოო პასუხებს. იგი სვამს ეტაპობრივ კითხვებს: „რა არის საწყისი მდგომარეობა?“, „რა იცვლება შეხებისას?“, „რომელი სიდიდე რჩება სისტემაში უცვლელი?“, „რა იცვლება დაშორებისას?“. თუ მოსწავლე პირდაპირ ციფრულ გამოთვლაზე გადადის, მასწავლებელი სთხოვს ჯერ ძალების შეფარდების სტრუქტურის დაწერას. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ორი ამოცანა; დაფა; სამუშაო ფურცელი საწყისი/საბოლოო მდგომარეობის ცხრილით; კალკულატორი საჭიროების შემთხვევაში. |
| **შეფასება** | კვლევითი ამოცანის შეფასება კრიტერიუმებით: საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების სწორად გამიჯვნა; მუხტის შენახვის კანონის სწორად გამოყენება; კულონის კანონის შესაბამისი ჩანაწერი; ნაბიჯების ლოგიკური დასაბუთება; საბოლოო ერთეულის/შეფარდების კორექტული წარმოდგენა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ეტაპებად დაყოფილი ამოხსნის ჩარჩო: „საწყისი მუხტები → საერთო მუხტი → შეხების შემდეგ მუხტები → საწყისი ძალა → საბოლოო ძალა/მანძილი → შედარება“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ნაბიჯებს თავად აწყობენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ამოცანას ორი გზით ამოწმებენ — ძალების შეფარდებით და სრული ფორმულების შედარებით. |

### შუალედური დასკვნა

კულონის კანონით ამოცანის ამოხსნისას მნიშვნელოვანია საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების მკაფიო გამიჯვნა, მუხტების გადანაწილებისას მუხტის შენახვის კანონის გამოყენება და ძალების შეფარდებით შედარება. ფორმულის გამოყენებამდე მოსწავლემ უნდა განსაზღვროს, რომელი სიდიდე იცვლება და რომელი რჩება უცვლელი.

### აქტივობა 3. კულონის კანონი — ცოდნის გაწაფვა და განზოგადება

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის ტრანსფერი და განმავითარებელი შეფასება — მოსწავლეებმა კითხვა–პასუხით გაამყარონ კულონის კანონის შინაარსი, გამოიყენონ იგი ახალ სიტუაციებში და დაასაბუთონ ძალის მოდულისა და მიმართულების ცვლილება. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმართულებითი კითხვა–პასუხი; არგუმენტირებული დისკუსია. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ გამოვიყენოთ კულონის კანონი სწრაფი პროგნოზისთვის ისე, რომ ყველა შემთხვევაში სრული რიცხვითი გამოთვლა არ დაგვჭირდეს? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლეებს თანმიმდევრულად სთავაზობს მოკლე კონცეპტუალურ სიტუაციებს. პასუხამდე თითოეული მოსწავლე ჯერ აკეთებს პროგნოზს, შემდეგ მეწყვილესთან ადარებს არგუმენტს და ბოლოს რამდენიმე პასუხი კლასში განიხილება. შემთხვევები მოიცავს მუხტის მოდულის, მანძილისა და ნიშნების ცვლილებას, ასევე ორი ან რამდენიმე კულონის ძალის მიმართულების გააზრებას. მთავარი მოთხოვნაა არა მხოლოდ პასუხი, არამედ ფორმულის კონკრეტულ დამოკიდებულებაზე ან ვექტორულ სქემაზე მითითება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **კონცეპტუალური შემთხვევები** | • ერთი ნაწილაკის მუხტის მოდული 3-ჯერ გაიზარდა, მეორის მუხტი და მანძილი უცვლელია — როგორ შეიცვლება ამ ნაწილაკებს შორის კულონური ძალა?<br>• მანძილი 3-ჯერ შემცირდა — როგორ იცვლება ძალის მოდული?<br>• მუხტების ნიშნები შეიცვალა, მაგრამ მოდულები და მანძილი იგივე დარჩა — იცვლება თუ არა ძალის მოდული?<br>• როგორ ვიპოვოთ ტოლქმედი ძალა, როდესაც მუხტზე მოქმედი კულონური ძალების ვექტორები ერთ წრფეზე არ მდებარეობს?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — შეჯამების დასაწყისში** | • რა პირობებში გამოიყენება კულონის კანონის მოცემული ფორმულა<br>• რა ერთეულით იზომება ელექტრული მუხტი SI-ში?<br>• რა მიმართულებით მოქმედებს კულონის ძალა?<br>• როგორია ორ მუხტზე მოქმედი ურთიერთქმედების ძალების მოდულები?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სწრაფი პროგნოზისას** | • ფორმულის რომელ ნაწილს (მრიცხველს თუ მნიშვნელებს) მივაქცევთ ყურადღებას, როდესაც მანძილი უცვლელია და მხოლოდ მუხტის სიდიდე იცვლება?<br>•როგორ გავითვალისწინოთ მანძილის კვადრატი ძალის  ცვლილების პოვნისას?<br>• როგორ დავხატოთ ძალის ვექტორი, თუ მუხტები ერთსახელიანია?<br>• როგორ ვიპოვოთ ტოლქმედი ძალა, თუ ერთ მუხტზე ერთდროულად რამდენიმე ელექტრული ძალა მოქმედებს?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში** | • ელექტროსტატიკურ მოწყობილობაში ორ დამუხტულ პატარა სხეულს შორის მანძილი გაიზარდა, მაგრამ მუხტები იგივე დარჩა. როგორ შეიცვლება ურთიერთქმედება და რატომ?<br>• თუ ექსპერიმენტში ძალა მოსალოდნელზე ბევრად მცირე აღმოჩნდა, რომელი ორი პარამეტრის გადამოწმებას დაიწყებდით პირველ რიგში?<br>• რა პირობებში გაწონასწორდება მესამე მუხტზე ორი ცალკეული მუხტის მხრიდან მოქმედი კულონის ძალები (ანუ როდის გახდება ტოლქმედი ძალა ნულის ტოლი)<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მოსწავლის პასუხს ყოველთვის უკავშირებს ფორმულის სტრუქტურას: „რომელი სიდიდე შეიცვალა?“, „პირდაპირპროპორციულია თუ კვადრატული დამოკიდებულება?“, „ნიშანი ძალის მოდულს ცვლის თუ მიმართულებას/ურთიერთქმედების ხასიათს?“. რამდენიმე ძალის შემთხვევაში მოსწავლეებს ახსენებს, რომ ძალა ვექტორული სიდიდეა და სთხოვს ჯერ მიმართულებების გამოსახვას, შემდეგ — ტოლქმედის სიდიდეზე მსჯელობას. |
| **რესურსები** | დაფა ან პროექტორი; მოკლე კონცეპტუალური სიტუაციების ბარათები; მუხტებისა და ძალის ვექტორების სქემები; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.4.3. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **შეფასება — „იპოვე შეცდომა“** | მოსწავლეები აფასებენ სამ დებულებას: „მანძილის ორჯერ გაზრდისას ძალა ორჯერ მცირდება“; „სხვადასხვასახელიანი მუხტები განიზიდებიან“; „ორი მუხტის ურთიერთქმედების ძალები მოდულით ტოლი და საპირისპიროდ მიმართულია“. მათ უნდა მონიშნონ მცდარი დებულებები, გადააკეთონ სწორად და ერთ შემთხვევაში არგუმენტი კულონის კანონით გაამყარონ. კრიტერიუმები: შეცდომის სწორად იდენტიფიცირება; კორექტული შესწორება; ფორმულაზე დაფუძნებული დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ სამი ვიზუალური ბარათი ისრებით და არჩევანი „იზრდება / მცირდება / უცვლელია“, რის შემდეგაც ისინი ერთ პასუხს სიტყვიერად ასაბუთებენ. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები პასუხებს დამოუკიდებლად აყალიბებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ქმნიან საკუთარ სიტუაციას, რომელშიც ორი პარამეტრი ერთდროულად იცვლება, და კლასს სთავაზობენ მის პროგნოზირებას. |

**სასურველი დასკვნა**

კულონის კანონი გვაძლევს ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივ აღწერას: მუხტის მოდულის ზრდა ძალას ზრდის, ხოლო მანძილის ზრდა ძალას კვადრატული კანონით ამცირებს. კულონის ძალა მიმართულია მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ; ორი მუხტი ერთმანეთზე მოდულით ტოლი და მიმართულებით საპირისპირო ძალებით მოქმედებს, ხოლო რამდენიმე მუხტის შემთხვევაში ტოლქმედი ძალა ამ ძალების ვექტორული შეკრებით განისაზღვრება.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის „იპოვე შეცდომა“

მოსწავლე ინდივიდუალურად აფასებს სამ დებულებას: 1) „თუ მუხტებს შორის მანძილი ორჯერ გაიზრდება, კულონის ძალა ორჯერ შემცირდება“; 2) „სხვადასხვასახელიანი მუხტები ერთმანეთს მიიზიდავენ“; 3) „ორი მუხტის ურთიერთქმედების ძალები მოდულით ტოლია და საპირისპიროდ არის მიმართული“. მოსწავლემ უნდა მიუთითოს, რომელი დებულებაა მცდარი, გაასწოროს იგი და პასუხი კულონის კანონით (ფორმულით) დაასაბუთოს.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

ყურადღება გაამახვილეთ, რომ კულონის კანონში გამოიყენება მუხტების მოდულები, ხოლო მიზიდვა ან განზიდვა მუხტების ნიშნებით განისაზღვრება. მანძილი აიღება მუხტებს შორის და ფორმულაში კვადრატში შედის. მოსწავლის წიგნის ამოცანებში ერთნაირი გამტარი ბურთულების შეხების შემდეგ მუხტის განაწილების გასააზრებლად საჭიროა წინა პარაგრაფიდან ელექტრული მუხტის შენახვის კანონის გააქტიურება. ამ ნაწილში პასუხები/ამოხსნები არ მიაწოდოთ მზა სახით.

**მოსწავლის წიგნში პაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **როგორ არის დამოკიდებული მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა მათ შორის მანძილზე? თითოეული მუხტის მოდულზე?**
   მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული **უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის** და **პირდაპირპროპორციულია თითოეული მუხტის მოდულის**, ანუ მუხტების მოდულების ნამრავლის.
2. **რა ხერხი მოიფიქრა კულონმა ბურთულას მუხტის 2-ჯერ, 4-ჯერ და ა.შ. შესამცირებლად?**
   კულონი დამუხტულ ლითონის ბურთულას ზუსტად ასეთივე დაუმუხტავ ბურთულას ახებდა. შეხების შემდეგ მუხტი ორ თანაბარ ნაწილად იყოფოდა და თითოეულ ბურთულაზე საწყისი მუხტის ნახევარი რჩებოდა. ამ ხერხის გამეორებით ის მუხტს 2-ჯერ, 4-ჯერ და ა.შ. ამცირებდა.

3. **საიდან ჩანს, რომ 1 კულონი ძალიან დიდი მუხტია?**
   ეს ჩანს იქიდან, რომ ვაკუუმში ერთმანეთისგან **1 მ** მანძილით დაშორებული თითო **1 კ** მუხტის მქონე სხეულები ერთმანეთზე **$9\cdot10^9$ ნ** ძალით მოქმედებენ.
4. **რა მსგავსებებია კულონის კანონსა და მსოფლიო მიზიდულობის კანონს შორის?**
   ორივე შემთხვევაში ურთიერთქმედების ძალა პირდაპირპროპორციულია ურთიერთქმედი სხეულების შესაბამისი სიდიდეების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის. გარდა ამისა, ორივე ძალა — გრავიტაციულიც და კულონურიც — ცენტრული ძალაა.
5. **როგორ განვსაზღვროთ მუხტზე მოქმედი კულონური ძალა, თუ მასზე სამი ან მეტი მუხტი მოქმედებს?**
   უნდა ვიპოვოთ თითოეული მუხტის მხრიდან მოქმედი კულონური ძალა და შემდეგ ეს ძალები **ვექტორულად შევკრიბოთ**. ჯამური ძალა მათი ტოლქმედია.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

ორი წერტილოვანი 40 მკკ და -80 მკკ მუხტი ვაკუუმში ერთმანეთისგან დაშორებულია 1,6 მ-ით.
ა) რა ძალით მიიზიდავს/განიზიდავს პირველი მუხტი მეორეს?
ბ) რა ძალით მიიზიდავს/განიზიდავს მეორე მუხტი პირველს?

**მოც.:**

$q_1 = 40$ მკკ $= 4\cdot10^{-5}$ კ,

$q_2 = -80$ მკკ $= -8\cdot10^{-5}$ კ,

$r = 1{,}6$ მ.

**უ.ვ.:** $F_{1,2}$ და $F_{2,1}$.

**ამოხსნა.** კულონის კანონის მიხედვით ძალის მოდულია

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით:

$$F = 9\cdot10^9\cdot\frac{(4\cdot10^{-5})(8\cdot10^{-5})}{(1{,}6)^2} = 11{,}25 \text{ ნ}.$$

მუხტები სხვადასხვა ნიშნითაა დამუხტული, ამიტომ ისინი **ერთმანეთს იზიდავენ**. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, მუხტები ერთმანეთზე მოქმედებენ მოდულით ტოლი და მიმართულებით საპირისპირო ძალებით:

$$F_{1,2} = F_{2,1} = 11{,}25 \text{ ნ}.$$

**პასუხი.**
ა) პირველი მუხტი მეორეს მიიზიდავს **11,25 ნ** ძალით.
ბ) მეორე მუხტი პირველს მიიზიდავს **11,25 ნ** ძალით.

**ამოცანა 2**

-1 მკკ წერტილოვანი მუხტი მისგან 10 სმ-ით დაშორებულ მეორე წერტილოვან მუხტს განიზიდავს 7,2 ნ ძალით. რისი ტოლია მეორე მუხტის მნიშვნელობა?

**მოც.:**

$q_1 = -1$ მკკ $= -10^{-6}$ კ,

$r = 10$ სმ $= 0{,}10$ მ, $F = 7{,}2$ ნ.

**უ.ვ.:** $q_2$.

**ამოხსნა.** რადგან $q_1$ უარყოფითია და მეორე მუხტს განიზიდავს, ესე იგი მეორე მუხტიც იმავე ნიშნისაა, ანუ

$$q_2 < 0.$$

კულონის კანონიდან

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

აქედან მეორე მუხტის მოდული:

$$|q_2| = \frac{Fr^2}{k|q_1|}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით:

$$|q_2| = \frac{7{,}2 \cdot (0{,}10)^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ კ} = 8 \text{ მკკ}.$$

რადგან ნიშანი უარყოფითია,

$$q_2 = -8 \text{ მკკ}.$$

**პასუხი.** მეორე მუხტის მნიშვნელობაა **-8 მკკ**.

**ამოცანა 3**

რა მანძილით არიან ერთმანეთისგან დაშორებული $q_1 = q_2 = 500$ მკკ წერტილოვანი მუხტები ვაკუუმში, თუ მათ შორის ელექტრული განზიდვის ძალა 250 ნ-ია.

**მოც.:**

$q_1 = q_2 = 500 \text{ მკკ} = 5 \cdot 10^{-4}$ კ,

$F = 250$ ნ.

**უ.ვ.:** $r$.

**ამოხსნა.** კულონის კანონიდან:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

რადგან $q_1 = q_2 = q$, მივიღებთ:

$$F = k\frac{q^2}{r^2}.$$

აქედან

$$r = \sqrt{\frac{kq^2}{F}}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot (5 \cdot 10^{-4})^2}{250}} = \sqrt{9} = 3 \text{ მ}.$$

**პასუხი.** მუხტებს შორის მანძილია **3 მ**.

**ამოცანა 4**

როგორ შეიცვლება ორ წერტილოვან მუხტს შორის კულონური ურთიერთქმედების ძალა, თუ თითოეულის მუხტის მოდულს 2-ჯერ გავზრდით და მათ შორის მანძილს კი 2-ჯერ შევამცირებთ?

**ამოხსნა.** საწყისი ძალა იყოს

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

ცვლილების შემდეგ:

$$q_1' = 2q_1, \qquad q_2' = 2q_2, \qquad r' = \frac{r}{2}.$$

ამიტომ ახალი ძალაა:

$$F' = k\frac{|2q_1||2q_2|}{(r/2)^2}.$$

მრიცხველში მუხტების ნამრავლი 4-ჯერ იზრდება, ხოლო $r^2$ კი 4-ჯერ მცირდება. შესაბამისად,

$$F' = k\frac{4|q_1||q_2|}{r^2/4} = 16k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 16F.$$

**პასუხი.** კულონური ურთიერთქმედების ძალა **16-ჯერ გაიზრდება**.

**ამოცანა 5***

საკიდელზე უჭიმვადი ძაფით დაკიდებულია $q_1 = 5$ მკკ მუხტით დაელექტროებული $m = 400$ გ მასის მცირე ზომის ბურთულა (სურ. 1.4.8). ძაფის გასწვრივ, ქვემოდან რა მინიმალურ მანძილზეა შესაძლებელი $q_2 = -8$ მკკ წერტილოვანი მუხტის მიახლოება ისე, რომ ძაფი არ გაწყდეს? ძაფი უძლებს არაუმეტეს 13 ნ დაჭიმულობას.

**მოც.:**

$q_1 = 5$ მკკ $= 5 \cdot 10^{-6}$ კ,

$q_2 = -8$ მკკ $= -8 \cdot 10^{-6}$ კ,

$m = 400$ გ $= 0{,}4$ კგ, $\qquad T_{max} = 13$ ნ.

$g \approx 10$ ნ/კგ.

**უ.ვ.:** მინიმალური მანძილი $r_{min}$.

**ამოხსნა.** $q_1$ დადებითია, $q_2$ კი უარყოფითი, ამიტომ მუხტები ერთმანეთს იზიდავენ. რადგან $q_2$ მუხტი ბურთულის ქვემოთაა, კულონური ძალა $F_e$ ბურთულაზე ქვემოთაა მიმართული. ქვემოთვე მოქმედებს სიმძიმის ძალა $mg$, ხოლო ძაფის დაჭიმულობის ძალა $T$ მიმართულია ზემოთ.

ბურთულა წონასწორობაშია, ამიტომ

$$T = mg + F_e.$$

რაც უფრო ახლოს მივიტანთ $q_2$ მუხტს, მით უფრო იზრდება $F_e$ და, შესაბამისად, $T$. ამიტომ **მინიმალური დაშორება** შეესაბამება ძაფის ზღვრულ მაქსიმალურ დაჭიმულობას:

$$T = T_{max} = 13 \text{ ნ}.$$

სიმძიმის ძალაა:

$$mg = 0{,}4 \cdot 10 = 4 \text{ ნ}.$$

ამიტომ დასაშვები მაქსიმალური კულონური ძალა:

$$F_e = T_{max} - mg = 13 - 4 = 9 \text{ ნ}.$$

კულონის კანონიდან:

$$F_e = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

აქედან:

$$r = \sqrt{\frac{k|q_1||q_2|}{F_e}}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{9}} = \sqrt{0{,}04} = 0{,}20 \text{ მ}.$$

$$0{,}20 \text{ მ} = 20 \text{ სმ}.$$

**პასუხი.** $q_2$ მუხტი ბურთულას შეიძლება მივუახლოვოთ **20 სმ** მანძილამდე.

**ამოცანა 6****

$q$ და $-4q$ წერტილოვანი მუხტები ერთმანეთისგან დაშორებულია $R$ მანძილით. $q$ მუხტიდან რა მანძილით დაშორებულ წერტილში უნდა შევიტანოთ მესამე წერტილოვანი $2q$ მუხტი, რომ იგი წონასწორობაში აღმოჩნდეს (იმსჯელეთ ამ წერტილის ერთადერთობის შესახებ).

მესამე მუხტის შეტანის შემდეგ, რისი ტოლი გახდება
$q$ მუხტზე მოქმედი ჯამური კულონური ძალა, თუ $q$ და $-4q$ მუხტების კულონური ურთიერთქმედების ძალის მოდული ცნობილია და $F = 20$ ნ-ის ტოლია?

**ა) მესამე მუხტის მდებარეობა**

$q$ და $2q$ ერთნაირი ნიშნითაა დამუხტული, ამიტომ ერთმანეთს განიზიდავენ; $-4q$ და $2q$ კი სხვადასხვა ნიშნითაა დამუხტული, ამიტომ ერთმანეთს იზიდავენ.

- $q$ და $-4q$ მუხტებს შორის მდებარე წერტილში $2q$ მუხტზე ორივე ძალა $-4q$ – სკენ იქნება მიმართული; ამიტომ იქ $2q$ მუხტის წონასწორობა შეუძლებელია.
- $q$ და $-4q$ მუხტების შემაერთებელ წრფეზე, $-4q$ მუხტის გარე მხარეს თუ მოვათავსებთ $2q$ მუხტს, $-4q$ მუხტი $2q$ მუხტთან უფრო ახლოს აღმოჩნდება, ამიტომ მისი მიზიდვის ძალა ვერ გაუტოლდება $q$ მუხტის განზიდვის ძალას.
- მაშასადამე, შესაძლო წერტილი უნდა იყოს $q$ და $-4q$ მუხტების შემაერთებელ წრფეზე, $q$ მუხტის გარე მხარეს, $-4q$ მუხტის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

$q$ მუხტიდან ამ წერტილამდე მანძილი აღვნიშნოთ $x$ – ით. მაშინ $2q$ მუხტიდან $-4q$ მუხტამდე მანძილია

$$R + x.$$

წონასწორობისთვის ორი კულონური ძალის მოდული უნდა იყოს ტოლი:

$$k\frac{|q \cdot 2q|}{x^2} = k\frac{|-4q \cdot 2q|}{(R+x)^2}.$$

ანუ:

$$\frac{2kq^2}{x^2} = \frac{8kq^2}{(R+x)^2}.$$

შეკვეცის შემდეგ:

$$\frac{1}{x^2} = \frac{4}{(R+x)^2}.$$

რადგან $x > 0$ და $R + x > 0$,

$$R + x = 2x,$$

აქედან

$$x = R.$$

**ბ) q მუხტზე მოქმედი ჯამური ძალა**

q და $-4q$ მუხტებს შორის საწყისი კულონური ძალის მოდულია

$$F = k\frac{4q^2}{R^2} = 20 \text{ ნ}.$$

მესამე $2q$ მუხტი q – დან ასევე R მანძილითაა დაშორებული. მის მიერ q მუხტზე მოქმედი ძალის მოდულია

$$F_3 = k\frac{2q^2}{R^2}.$$

ამიტომ

$$F_3 = \frac{1}{2}F = 10 \text{ ნ}.$$

$-4q$ მუხტი q – ს მარჯვნივ იზიდავს, ხოლო მარცხნივ მოთავსებული $2q$ მუხტი q-ს მარჯვნივ განიზიდავს. ორივე ძალას ერთი მიმართულება აქვს, ამიტომ:

$$F_{ჯამ} = F + F_3 = 20 + 10 = 30 \text{ ნ}.$$

**პასუხი.** მესამე
$2q$ მუხტი უნდა მოვათავსოთ q მუხტიდან R მანძილზე, $-4q$ მუხტის საწინააღმდეგო მხარეს.
ამის შემდეგ q მუხტზე მოქმედი ჯამური კულონური ძალის მოდული იქნება **30 ნ**.

**ამოცანა 7****

გარკვეული მანძილით დაშორებული $q_1 > 0$ და $q_2 < 0$ მუხტებით $\left(\frac{|q_1|}{|q_2|} > 1\right)$ დაელექტროებული ერთნაირი ზომის ლითონის ორი ბურთულა ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ იმავე მანძილით დააშორეს ერთმანეთს. $\frac{|q_1|}{|q_2|}$ ფარდობის რა მნიშვნელობებისთვის აღემატება შეხების შემდეგ განზიდვის $F'$ ძალის მოდული შეხებამდე მიზიდვის F ძალის მოდულს (ბურთულებს შორის მანძილი მათ ზომებზე ბევრად მეტია)?

**ამოხსნა.** ბურთულებს შორის მანძილი აღვნიშნოთ R-ით.

შეხებამდე მუხტები სხვადასხვა ნიშნითაა დამუხტული, ამიტომ ისინი ერთმანეთს იზიდავენ. მიზიდვის ძალის მოდულია:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{R^2}.$$

ბურთულები ერთნაირი ზომისაა. შეხებისას სრული მუხტი თანაბრად ნაწილდება და თითოეული ბურთულის ახალი მუხტია:

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2}.$$

რადგან $q_1 > 0, q_2 < 0$ და $|q_1| > |q_2|$,

$$q_1 + q_2 = |q_1| - |q_2| > 0.$$

ამიტომ შეხების შემდეგ ორივე ბურთულა დადებითადაა დამუხტული და ერთმანეთს განიზიდავს. ახალი ძალის მოდულია:

$$F' = k\frac{(q')^2}{R^2} = k\frac{(|q_1| - |q_2|)^2}{4R^2}.$$

საჭიროა შესრულდეს პირობა:

$$F' > F.$$

ე.ი.

$$k\frac{(|q_1| - |q_2|)^2}{4R^2} > k\frac{|q_1||q_2|}{R^2}.$$

საერთო დადებითი მამრავლების შეკვეცით:

$$\frac{(|q_1| - |q_2|)^2}{4} > |q_1||q_2|.$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$x = \frac{|q_1|}{|q_2|}, \qquad x > 1.$$

ორივე მხარე გავყოთ $|q_2|^2$-ზე:

$$\frac{(x-1)^2}{4} > x.$$

აქედან

$$(x-1)^2 > 4x,$$
$$x^2 - 2x + 1 > 4x,$$
$$x^2 - 6x + 1 > 0.$$

კვადრატული სამწევრის ფესვებია:

$$x_{1,2} = \frac{6 \pm \sqrt{36-4}}{2} = 3 \pm 2\sqrt{2}.$$
$$x < 3 - 2\sqrt{2} \quad \text{ან} \quad x > 3 + 2\sqrt{2}.$$

ჩვენ უკვე ვიცით, რომ $x > 1$, ამიტომ პირველი უტოლობა გამორიცხულია. რჩება

$$x > 3 + 2\sqrt{2} \approx 5{,}83.$$

ამრიგად,

$$\frac{|q_1|}{|q_2|} > 3 + 2\sqrt{2} \approx 5{,}83.$$

**პასუხი.** შეხების შემდეგ განზიდვის ძალის მოდული შეხებამდე მიზიდვის ძალის მოდულზე მეტი იქნება, თუ

$$\boxed{\frac{|q_1|}{|q_2|} > 3 + 2\sqrt{2} \approx 5{,}83}.$$

## პარაგრაფი №1.5 — ელექტრული ველი

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | ელექტრული ველი და ველის დაძაბულობა | მოსწავლე შეძლებს ელექტრული ველის ცნების გააზრებას, საცდელი მუხტის დანიშნულების ახსნას, ელექტრული ველის დაძაბულობის ფიზიკური მნიშვნელობის განმარტებას და დაძაბულობის ძალასთან დაკავშირებას. | ნივთიერება და ველი — მუხტის დაკავშირება მის მიერ შექმნილ ელექტრულ ველთან; ელექტრული ველის თვისებების ზოგადი და რაოდენობრივი აღწერა. ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება. |
| 2 | ახალი ცოდნის სისტემატიზაცია და განმტკიცება | წერტილოვანი მუხტის ველი და სუპერპოზიციის პრინციპი | მოსწავლე შეძლებს წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის დამოკიდებულების გაანალიზებას (მუხტის სიდიდესა და მანძილზე), დადებითი და უარყოფითი მუხტების ველის მიმართულების დადგენასა და რამდენიმე მუხტის მიერ შექმნილი ველების ვექტორული შეკრების (სუპერპოზიციის) პრინციპის გამოყენებას. | ნივთიერება და ველი — ელექტრული ველის შემქმნელი მუხტისა და ველის მახასიათებლის დაკავშირება; ველის თვისებების რაოდენობრივი დახასიათება. ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური კანონზომიერების გამოყენებით შედეგის პროგნოზირება და ახსნა. |
| 3 | პრობლემის გადაჭრა, შეჯამება და შეფასება | ელექტრული ველი — ამოცანის ამოხსნა და შეჯამება | მოსწავლე შეძლებს ელექტრული ველის დაძაბულობის ფორმულებისა და სუპერპოზიციის პრინციპის გამოყენებას პრობლემურ ამოცანაში, ვექტორების მიმართულებების განსაზღვრას, მსჯელობის დასაბუთებას და პარაგრაფის ძირითადი დებულებების შეჯამებას. | ნივთიერება და ველი — ველის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების გამოყენება პრობლემაზე ორიენტირებულ ამოცანაში. ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების მიმართულებისა და რაოდენობრივი კანონზომიერების გააზრება. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს ელექტრული ველი, როგორც მატერიის განსაკუთრებული ფორმა, რომლის საშუალებითაც დამუხტული სხეულები ერთმანეთზე მოქმედებენ;
- განმარტოს საცდელი მუხტის დანიშნულება და ელექტრული ველის დაძაბულობა, როგორც ველის ძალოვანი მახასიათებელი;
- დააკავშიროს ელექტრული ველის დაძაბულობა საცდელ მუხტზე მოქმედ ძალასთან და სწორად გამოიყენოს დაძაბულობის SI ერთეული;
- ჩამოაყალიბოს წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის დამოკიდებულება მუხტის მოდულსა და მანძილზე;
- განსაზღვროს ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება დადებითი და უარყოფითი მუხტებისთვის;
- გამოიყენოს ელექტრული ველების სუპერპოზიციის პრინციპი რამდენიმე მუხტის მიერ შექმნილი რეზულტატური (ჯამური) ველის მიმართულებისა და მოდულის განსაზღვრისას;
- გამოიყენოს მიღებული ცოდნა უცნობ და პრობლემურ სიტუაციაში და საკუთარი დასკვნა დაასაბუთოს ფორმულით, სქემით ან ვექტორული მსჯელობით.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (მასა და მუხტი) დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა.
- ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების ცოდნის მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება და ამ ცოდნის დაკავშირება თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებასთან.
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა.
- ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი დახასიათება (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად განმარტავს ელექტრულ ველს, საცდელ მუხტსა და ელექტრული ველის დაძაბულობას; აკავშირებს დაძაბულობას ძალასა და მუხტთან; სწორად განსაზღვრავს დადებითი და უარყოფითი მუხტის მიერ შექმნილი ველის მიმართულებას; განმარტავს წერტილოვანი მუხტის ველის დამოკიდებულებას მუხტის მოდულსა და მანძილზე; რამდენიმე მუხტის შემთხვევაში იყენებს სუპერპოზიციის პრინციპს; ამოცანაში ადგენს ვექტორების მიმართულებებს, იყენებს საჭირო ფორმულებს და პასუხს არგუმენტირებულად ასაბუთებს.

### აქტივობა 1. ელექტრული ველი და ველის დაძაბულობა

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| აქტივობის მიზანი | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა ლექციურ-ინტერაქციულ რეჟიმში გაიაზრონ ელექტრული ველის არსი, საცდელი მუხტის დანიშნულება და ელექტრული ველის დაძაბულობა, როგორც ველის ძალოვანი მახასიათებელი. |
| გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| ძირითადი კითხვა | როგორ შეიძლება აღვწეროთ დამუხტული სხეულის მიერ მის გარშემო შექმნილი ელექტრული ველი და რა სიდიდით შევაფასოთ მისი ძალოვანი მოქმედება? |
| აქტივობის განხორციელება | მოსწავლეები სურ. 1.5.1-ისა და ტექსტის მიხედვით ასახელებენ, რის საშუალებით გადაეცემა ბავშვის მოქმედება ციგას. მასწავლებელი პრეზენტაციით ან დაფაზე გამოსახული სქემებით აგრძელებს უშუალო შეხების გარეშე მოქმედების მაგალითებით და მოსწავლეებს ახსენებს გრავიტაციული ველის იდეას. შემდეგ პარალელს ავლებს ელექტრულ ურთიერთქმედებასთან: დამუხტული სხეული მის გარშემო ქმნის ელექტრულ ველს, რომელიც სხვა მუხტზე ძალით მოქმედებს. როდესაც თმაზე გახახუნებული კალმისტარი პატარა ფურცლის ნაჭერს მიიზიდავს, რა არის ველის წყარო და რომელ სხეულზე ვაკვირდებით ველის მოქმედებას. მასწავლებელს შემოაქვს „საცდელი მუხტის“ ცნება და ხაზს უსვამს, რომ იგი წარმოსახვითი მცირე დადებითი მუხტია, რომლის საშუალებითაც ველის მიმართულებასა და ძალით მოქმედებას ვსწავლობთ. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფორმულის შემოტანა — ელექტრული ველის დაძაბულობა** | მასწავლებელი მოსწავლეთა პასუხებიდან აყალიბებს იდეას: ერთი და იმავე წერტილში სხვადასხვა საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალა მუხტის პროპორციულად იცვლება, ხოლო $F/q_0$ შეფარდება ველის მოცემული წერტილისთვის უცვლელია. ამ შეფარდებას ეწოდება ელექტრული ველის დაძაბულობის სიდიდე. დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა და მისი მიმართულება ემთხვევა დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას. SI-ში დაძაბულობის ერთეულია ნიუტონი კულონზე (ნ/კ). განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. $$E = \frac{F}{q_0}$$ |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახალი ცნებების შემოტანისას** | • რას ვუწოდებთ ელექტრულ ველს?<br>• რა არის საცდელი მუხტი და რატომ ვირჩევთ დადებით მუხტს?<br>• რას გვიჩვენებს ელექტრული ველის დაძაბულობა?<br>• რა ერთეულით იზომება ელექტრული ველის დაძაბულობა SI-ში?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის გააზრებისას** | • როგორ ვიპოვით ველის დაძაბულობას, თუ ვიცით მოცემულ წერტილში საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალა და მუხტის სიდიდე?<br>• რატომ ვყოფთ ძალას საცდელი მუხტის მოდულზე?<br>• როგორ განვსაზღვრავთ დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში** | • თუ ერთსა და იმავე წერტილში საცდელი მუხტის მოდული ორჯერ გავზარდეთ, მასზე მოქმედი ძალაც ორჯერ გაიზარდება. შეიცვლება თუ არა ამ წერტილის ველის დაძაბულობა? რატომ?<br>• ელექტროსტატიკური ველის ორ სხვადასხვა წერტილში ერთსა და იმავე საცდელ მუხტზე სხვადასხვა სიდიდის ძალა მოქმედებს. რას მოწმობს ეს ფაქტი ველის თვისებებსა და მისი დაძაბულობის სიდიდეზე ამ წერტილებში?<br>• რატომ არის ველის დაძაბულობა ველის მახასიათებელი და არა საცდელი მუხტის თვისება?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ფორმულას მხოლოდ დასამახსოვრებლად არ აწვდის. იგი მოსწავლეებს სთხოვს შეადარონ ძალა და საცდელი მუხტი, გამოყონ რა იცვლება და რა რჩება  უცვლელი ველის კონკრეტული წერტილისთვის. განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს განსხვავებას „ველი არსებობს“ და „საცდელ მუხტზე ძალა მოქმედებს“ შორის და აზუსტებს, რომ საცდელი მუხტი ველს არ განსაზღვრავს — იგი ველის შესასწავლი საშუალებაა. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.5.1–1.5.2; პრეზენტაცია ან პროექტორი; დაფა; დადებითი საცდელი მუხტისა და ძალის ვექტორის სქემები. |
| **შეფასება** | სწრაფი კონცეპტუალური შემოწმება: მოსწავლეები სამ მოკლე სიტუაციაში არჩევენ, შეიცვლება თუ არა ველის დაძაბულობა  სასინჯი მუხტის ცვლილებისას და თითო პასუხს ერთი წინადადებით ასაბუთებენ. კრიტერიუმები: ველისა და სასინჯი მუხტის გამიჯვნა; ფორმულის შინაარსის სწორად გამოყენება; არგუმენტის სიზუსტე. |
| **მოსწავლის სამუშაო სქემის ნიმუში** | მოსწავლე ავსებს ოთხკომპონენტიან ჯაჭვურ სქემას (ველის წყარო → საცდელი მუხტი → მოქმედი ძალა → ელექტრული ველის დაძაბულობა) და თითოეულ ისარზე მოკლედ განმარტავს სიდიდეებს შორის არსებულ მიზეზ-შედეგობრივ კავშირს. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული სქემა „ველი → საცდელი მუხტი → ძალა“ და ორი მზა ვექტორული ნახაზი, რომლებზეც მხოლოდ მიმართულება უნდა მონიშნონ. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად ხსნიან $F/q_0$ შეფარდების მნიშვნელობას. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ასაბუთებენ, რატომ არ იცვლება გარეშე ველის დაძაბულობა საცდელი მუხტის ცვლილებისას, თუ ველის წყარო და დაკვირვების წერტილი უცვლელია. |

**შუალედური დასკვნა**

ელექტრული ველი დამუხტული სხეულის მიერ შექმნილი მატერიის ფორმაა. ელექტრული ველი მასში შეტანილ სხვა მუხტზე ძალით მოქმედებს. ელექტრული ველის დაძაბულობა ველის ძალოვანი მახასიათებელია და განისაზღვრება მოცემულ წერტილში დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის შეფარდებით ამ მუხტის მოდულთან. მისი მიმართულება დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას ემთხვევა.

**აქტივობა 2. წერტილოვანი მუხტის ველი და სუპერპოზიციის პრინციპი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის სისტემატიზაცია და განმტკიცება: მოსწავლეები გააანალიზებენ წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის დამოკიდებულებას მუხტის სიდიდესა და მანძილზე, განსაზღვრავენ ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას და გამოიყენებენ რამდენიმე მუხტის ველთა სუპერპოზიციის პრინციპს. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ვიზუალური მოდელირება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ არის დამოკიდებული წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა ამ მუხტის სიდიდესა და მანძილზე და როგორ ვიპოვოთ რამდენიმე მუხტის მიერ შექმნილი ჯამური ველი? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი კულონის კანონის გახსენებით მოსწავლეებს სთხოვს დააკავშირონ ორი ფორმულა: საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალა და ველის დაძაბულობა. შედეგად მიიღება წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის მოდული. შემდეგ სურ. 1.5.3-ის მიხედვით მოსწავლეები ადგენენ მიმართულების წესს: დადებითი მუხტის ველი მუხტიდან გარეთაა მიმართული, უარყოფითი მუხტის ველი — მუხტისკენ. ბოლოს სურ. 1.5.4-ის დახმარებით განიხილება რამდენიმე მუხტის შემთხვევა და შემოდის სუპერპოზიციის პრინციპი — რეზულტატური (შედეგობრივი, ჯამური) ველი ცალკეული ველების ვექტორული ჯამია. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **წერტილოვანი მუხტის ველის ფორმულა** | მოსწავლეები აანალიზებენ დამოკიდებულებას: ველის დაძაბულობის მოდული პირდაპირპროპორციულია ველის შემქმნელი მუხტის მოდულისა და უკუპროპორციულია ამ მუხტიდან დაკვირვების წერტილამდე მანძილის კვადრატისა. მასწავლებელი პარალელს ავლებს კულონის კანონთან და ხაზს უსვამს, რომ მიღებულ ფორმულაში საცდელი მუხტი აღარ შედის. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. $$E = k \cdot \frac{|q|}{r^2}$$ |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **სუპერპოზიციის პრინციპი** | მასწავლებელი დაფაზე ან პრეზენტაციაზე აჩვენებს $q_0$ საცდელ მუხტს და მის გარშემო რამდენიმე წერტილოვან მუხტს. მოსწავლეები ჯერ თითოეული წყაროს მიერ შექმნილი $E_1$, $E_2$, ... ვექტორების მიმართულებას მონიშნავენ, შემდეგ კი ვექტორული შეკრების წესით განსაზღვრავენ შედეგობრივი ველის მიმართულებას. ხაზგასმულია: ველები ერთმანეთის არსებობას არ „აუქმებს“; საერთო შედეგი მათი ვექტორული ჯამია. განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. $$\vec{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2} + \ldots + \overrightarrow{E_n}$$ |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახალი ფორმულებისა და წესების შემოტანისას** | • რა სიდიდეებზეა დამოკიდებული წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა?<br>• როგორია E ვექტორის მიმართულება დადებითი წერტილოვანი მუხტის ველის ნებისმიერ წერტილში?<br>•როგორია E ვექტორის მიმართულება უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის ველის ნებისმიერ წერტილში?<br>• რას ნიშნავს ელექტრული ველების სუპერპოზიციის პრინციპი?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სქემებისა და ფორმულების გამოყენებისას** | • როგორ შეიცვლება E, თუ ველის შემქმნელი მუხტის მოდული ორჯერ გაიზრდება?<br>• რისი ტოლი იქნება ველის დაძაბულობა ველის შემქმნელი მუხტიდან ორჯერ უფრო შორს?<br>• რამდენიმე მუხტის შემთხვევაში რა თანმიმდევრობით განსაზღვრავთ ჯამურ ველს?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • თუ ელექტროსტატიკური ველის ერთ წერტილში ორი მუხტის მიერ შექმნილი ველები ტოლია და ურთიერთსაპირისპიროდაა მიმართული, როგორი იქნება ჯამური ველი?<br>• ორი დამუხტული სხეულისგან ერთნაირ მანძილზე მდებარე წერტილში შეგვიძლია თუ არა მხოლოდ მუხტების ნიშნით განვსაზღვროთ ჯამური ველის მიმართულება? რა დამატებითი ინფორმაცია გვჭირდება?<br>• როგორ განვსაზღვროთ თავდაპირველად უძრავი დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულება ველის დაძაბულობისა და ნაწილაკის მუხტის ნიშნის მიხედვით?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მოსწავლეებს სთხოვს ყოველი ვექტორის მიმართულება დაასაბუთონ დადებითი საცდელი მუხტის მიმართ ძალის მიმართულებით. ფორმულური დამოკიდებულებებისას კითხვებით მიიყვანს მათ „პირდაპირი დამოკიდებულება / უკუპროპორციულობა კვადრატთან“ დასკვნამდე და სუპერპოზიციისას ყურადღებას ამახვილებს ვექტორულ, არა ალგებრულ შეკრებაზე. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.5.2–1.5.4; დაფა ან პროექტორი; ვექტორების სქემები; მუხტების ნიშნების ბარათები; სახაზავი ვექტორული აგებისთვის. |
| **შეფასება** | კრიტერიუმები: დამოკიდებულებების სიზუსტე; ვექტორის მიმართულების სწორად განსაზღვრა; სუპერპოზიციის პრინციპის გამოყენება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემები, რომლებშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტები და სავარაუდო მიმართულებები ვიზუალურადაა გამოყოფილი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად ასრულებენ ვექტორულ აგებას. მაღალი მზაობის მოსწავლეები განიხილავენ შემთხვევას, როცა ორი ველი ერთმანეთის მართობულია, და სიტყვიერად ხსნიან შედეგობრივი ვექტორის აგების წესს. |

**შუალედური დასკვნა**

წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა იზრდება მუხტის მოდულის ზრდასთან ერთად და მცირდება მანძილის კვადრატის ზრდასთან ერთად. დადებითი მუხტის ველი მუხტიდან გარეთაა მიმართული, უარყოფითის — მუხტისკენ. რამდენიმე მუხტის მიერ შექმნილი ჯამური ელექტრული ველი განისაზღვრება ცალკეული ველების ვექტორული ჯამით.

**აქტივობა 3. ელექტრული ველი — ამოცანის ამოხსნა და შეჯამება**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრობლემის გადაჭრა, შეჯამება და შეფასება — მოსწავლეებმა ერთ ამოცანაში გააერთიანონ წერტილოვანი მუხტის ველის ფორმულა, ველის მიმართულება, სუპერპოზიციის პრინციპი და საბოლოოდ ჩამოაყალიბონ პარაგრაფის ძირითადი დებულებები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ განვსაზღვროთ ორი მუხტის მიერ შექმნილი ჯამური ელექტრული ველი იმ წერტილში, სადაც ორივე წყაროს გავლენა ერთდროულად მოქმედებს? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მუშაობენ წყვილებში. ჯერ ხატავენ ამოცანის სქემას, მონიშნავენ შუა წერტილს, ადგენენ თითოეული მუხტისგან ამ წერტილამდე მანძილს და ცალ-ცალკე განსაზღვრავენ $E_1$ და $E_2$ ვექტორების მიმართულებებს. შემდეგ იყენებენ წერტილოვანი მუხტის ველის ფორმულას, ადარებენ ორი ველის მოდულებს ერთმანეთს და სუპერპოზიციის პრინციპით ადგენენ შედეგობრივი ველის მიმართულებასა და გამოსახულებას. საბოლოო განხილვაში ჯგუფები ასახელებენ, რომელი სამი ძირითადი იდეა გამოიყენეს ამოცანის გადასაჭრელად. განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **ამოცანა — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | მოცემულია d მანძილით დაშორებული ორი დამუხტული ნაწილაკი. მათი მუხტებია q და -q. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტების შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში. |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ნაბიჯები** | 1. სქემატურად გამოსახეთ q და -q წერტილოვანი მუხტები და მათი შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილი.<br>2. განსაზღვრეთ შუა წერტილიდან თითოეულ მუხტამდე მანძილი.<br>3. ცალ-ცალკე მონიშნეთ $E_1$ და $E_2$ ვექტორების მიმართულებები.<br>4. თითოეული ველის მოდულისთვის გამოიყენეთ წერტილოვანი მუხტის ველის ფორმულა.<br>5. შეადარეთ $E_1$ და $E_2$ და სუპერპოზიციის პრინციპით განსაზღვრეთ ჯამური ველი.<br>6. პასუხში აუცილებლად მიუთითეთ როგორც მოდული, ისე მიმართულება.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოცანის გააზრებისას** | • რა მანძილია შუა წერტილიდან თითოეულ მუხტამდე?<br>• რომელი ფორმულით გამოითვლება თითოეული მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის მოდული?<br>• როგორია დადებითი და უარყოფითი მუხტის ველის მიმართულება?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოხსნისას** | • რატომ უნდა განვსაზღვროთ ჯერ $E_1$ და $E_2$ ცალ-ცალკე?<br>• ერთნაირია თუ არა მათი მოდულები შუა წერტილში? რა მონაცემზე დაყრდნობით?<br>• ერთ მიმართულები აქვს თუ საწინააღმდეგო $E_1$ -ს და $E_2$-ს ?<br>• როგორ ვიყენებთ სუპერპოზიციის პრინციპს ამ შემთხვევაში?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ სიტუაციებში** | • იგივე მუხტები რომ ერთსახელიანი ყოფილიყო, როგორ შეიცვლებოდა შუა წერტილში ვექტორების მიმართულებები და ჯამური ველი?<br>• თუ დაკვირვების წერტილი შუა წერტილიდან ერთ-ერთი მუხტისკენ გადავიტანეთ, დარჩება თუ არა ამ ველების მოდულები ტოლი? რატომ?<br>• რომელ ტექნიკურ მოწყობილობებსა თუ პროცესებშია საჭირო ორი ან მეტი ელექტრული ველის ერთდროული მოქმედების გათვალისწინება დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის მართვისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; პრობლემის გადაჭრა. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი არ კარნახობს საბოლოო პასუხს. იგი კითხვებით აკონტროლებს მსჯელობის თანმიმდევრობას: „რა არის მანძილი?“, „სად არის მიმართული თითოეული ვექტორი?“, „ტოლია თუ არა მოდულები?“, „ვექტორები უნდა შევკრიბოთ თუ გამოვაკლოთ და რატომ?“. შეჯამებისას მოსწავლეებს სთხოვს ჩამოაყალიბონ სამი ძირითადი დებულება: E-ს განმარტება, წერტილოვანი მუხტის ველის დამოკიდებულება მუხტსა და მანძილზე და სუპერპოზიციის პრინციპი. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ამოცანა; დაფა; q და -q მუხტების სქემა; სამუშაო ფურცელი ვექტორების დასახატად; კალკულატორი საჭიროების შემთხვევაში. |
| **შეფასება** | განმავითარებელი შეფასება — „ერთი სქემა, სამი დებულება“: მოსწავლე ამოცანის სქემაზე სწორად აღნიშნავს $E_1$, $E_2$ და ტოლქმედ E ვექტორს და ქვემოთ წერს სამ მოკლე დებულებას: 1) რას ნიშნავს E; 2) როგორაა E დამოკიდებული q-სა და r-ზე; 3) სუპერპოზიციის პრინციპის არსი. კრიტერიუმები: ვექტორების აგების სიზუსტე; მათემატიკურ-ფიზიკური კავშირების სიზუსტე; დასკვნის არგუმენტირებულობა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ამოცანის წინასწარ დახაზული სქემა და ისრებით მონიშვნის ეტაპობრივი ბარათი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემასა და ამოხსნის გეგმას დამოუკიდებლად ქმნიან. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით პროგნოზირებენ, რა შეიცვლება, თუ მუხტების მოდულები ერთმანეთისგან განსხვავებული გახდება. |

### სასურველი დასკვნა

ელექტრული ველის დაძაბულობა ველის ძალოვანი მახასიათებელია. წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის მოდული დამოკიდებულია ველის წყაროს მუხტსა და მანძილზე, ხოლო მიმართულება განისაზღვრება დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებით. რამდენიმე მუხტის შემთხვევაში საერთო ველი ცალკეული ველების ვექტორული ჯამია.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „კონცეპტუალური რუკა“

მოსწავლე ინდივიდუალურად აწყობს მოკლე კონცეპტუალურ რუკას ცნებებით: „ელექტრული მუხტი“, „ელექტრული ველი“, „საცდელი მუხტი“, „ელექტრული ველის დაძაბულობა“, „ძალა“, „სუპერპოზიცია“. მინიმუმ ოთხ კავშირს წერს ისრებზე და ერთ კავშირს ფორმულით ასაბუთებს.

შეფასება ეფუძნება ცნებებს შორის კავშირების სისწორეს, ვექტორული მიმართულების გააზრებასა და არგუმენტის სიზუსტეს.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

ყურადღება გაამახვილეთ, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა არის თავად ველის მახასიათებელი და არ არის დამოკიდებული საცდელი მუხტის მოდულზე. E ვექტორის მიმართულება ყოველთვის განისაზღვრება დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებით. სუპერპოზიციის ამოცანებში მოსწავლეებმა ჯერ ცალ-ცალკე განსაზღვრონ თითოეული ველის დაძაბულობის მოდული და მიმართულება და მხოლოდ ამის შემდეგ შეასრულონ ვექტორული შეკრება.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რა არის ელექტრული ველის ძირითადი თვისება?**
   ელექტრული ველის ძირითადი თვისებაა დამუხტულ სხეულებზე გარკვეული ძალით მოქმედება. სწორედ ამ მოქმედებით ადგენენ ელექტრული ველის არსებობას.
2. **თქვენი აზრით, რატომ უწოდებენ ველს მატერიის განსაკუთრებულ ფორმას?**
   ველს მატერიის განსაკუთრებულ ფორმას უწოდებენ, რადგან დამუხტული სხეული თავის გარშემო ქმნის ელექტრულ ველს და ამ ველის საშუალებით მოქმედებს სხვა დამუხტულ სხეულზე, მათ შორის ნივთიერი გარემოს არსებობის გარეშეც.
3. **რატომ არის ელექტრული ველის დაძაბულობა მისი ძალური მახასიათებელი?**
   ელექტრული ველის დაძაბულობის ცოდნით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ მუხტზე მოქმედი ძალა. დაძაბულობა რიცხობრივად ერთეულოვან დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის ტოლია, ამიტომ იგი ველის ძალური მახასიათებელია.
4. **საით არის მიმართული ელექტრულ ველში შეტანილ დადებით მუხტზე მოქმედი ძალა? უარყოფით მუხტზე მოქმედი ძალა?**
   დადებით მუხტზე მოქმედი ძალა მიმართულია ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებით, ხოლო უარყოფით მუხტზე მოქმედი ძალა — დაძაბულობის ვექტორის საპირისპირო მიმართულებით. ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულებად სწორედ დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებაა მიღებული.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილში შეტანილ $q_1 = 200$ მკკ მუხტზე $F_1 = 0{,}6$ ნ ელექტრული ძალა მოქმედებს. ა) რა ძალით იმოქმედებს ველი ამ წერტილში შეტანილ $q_2 = -500$ მკკ მუხტზე? ბ) რისი ტოლია ველის დაძაბულობა ამ წერტილში?

**ამოხსნა**

ველის დაძაბულობა მოცემულ წერტილში სასინჯი მუხტის მნიშვნელობაზე არ არის დამოკიდებული. ამიტომ ჯერ ვიპოვოთ ველის დაძაბულობა:

$$E = \frac{F_1}{q_1} = \frac{0{,}6}{200 \cdot 10^{-6}} = 3000 \text{ ნ/კ}.$$

ა) მეორე მუხტზე მოქმედი ძალის მოდულია:

$$F_2 = q_2 E = 500 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 = 1{,}5 \text{ ნ}.$$

პასუხი: ა) 1,5 ნ; ბ) 3000 ნ/კ.

**ამოცანა 2**

600 ნკ წერტილოვანი მუხტიდან რა მანძილით დაშორებულ წერტილშია ველის დაძაბულობა 3750 ნ/კ-ის ტოლი?

**ამოხსნა**

წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობაა:

$$E = k\frac{q}{r^2}$$

აქედან:

$$r = \sqrt{\frac{kq}{E}} = \sqrt{\frac{9\cdot10^9\cdot600\cdot10^{-9}}{3750}} = 1{,}2 \text{ მ}$$

პასუხი: 1,2 მ.

**ამოცანა 3**

წერტილოვანი მუხტის ველის გარკვეულ წერტილში დაძაბულობა 8000 ნ/კ-ის ტოლია. რისი ტოლია ველის დაძაბულობა მუხტიდან 2-ჯერ მეტი მანძილით დაშორებულ წერტილში?

**ამოხსნა**

წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. თუ მანძილი 2-ჯერ იზრდება, დაძაბულობა 4-ჯერ მცირდება:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{{r_1}^2}{{r_2}^2} = \frac{1}{4}$$

$$E_2 = \frac{8000}{4} = 2000 \text{ ნ/კ}.$$

პასუხი: 2000 ნ/კ.

**ამოცანა 4**

წერტილოვანი მუხტის ველის ძალწირის A და B წერტილში დაძაბულობის მნიშვნელობები შესაბამისად 1000 ნ/კ და 9000 ნ/კ-ის ტოლია. რისი ტოლია დაძაბულობის მნიშვნელობა AB მონაკვეთის შუაწერტილში?

**ამოხსნა**

წერტილოვანი მუხტის ველში დაძაბულობა მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. რადგან B წერტილში დაძაბულობა უფრო დიდია, B მუხტთან უფრო ახლოსაა.

$$\frac{E_B}{E_A} = \frac{{r_A}^2}{{r_B}^2} = \frac{9000}{1000} = 9$$

$$\frac{r_A}{r_B} = 3$$

დავუშვათ $r_B = x$. მაშინ $r_A = 3x$. AB მონაკვეთის შუაწერტილის დაშორება მუხტიდან იქნება:

$$r_M = \frac{r_A + r_B}{2} = \frac{3x + x}{2} = 2x$$

შუაწერტილში დაძაბულობისთვის:

$$\frac{E_M}{E_B} = \frac{{r_B}^2}{{r_M}^2} = \frac{x^2}{(2x)^2} = \frac{1}{4}$$

$$E_M = \frac{9000}{4} = 2250 \text{ ნ/კ}.$$

პასუხი: 2250 ნ/კ.

**ამოცანა 5**

რამდენი ჭარბი ელექტრონი აქვს 32 მგ მასის ზეთის წვეთს, თუ იგი გაწონასწორებულია 500 ნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში? რა აჩქარებით ამოძრავდება წვეთი, თუ მასზე ელექტრონების რაოდენობა მომენტალურად განახევრდება?

**ამოხსნა**

წვეთზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა და ელექტრული ძალა. რადგან წვეთი გაწონასწორებულია, ამ ძალების მოდულები ერთმანეთის ტოლია:

$$qE = mg$$

აქედან მუხტის მოდული:

$$q = \frac{mg}{E}$$

m = 32 მგ = $32\cdot10^{-6}$ კგ, g ≈ 10 მ/წმ², E = 500 ნ/კ.

$q = \frac{32\cdot10^{-6}\cdot10}{500} = 6{,}4\cdot10^{-7}$ კ.

ამრიგად, მუხტის მოდულია q = $6{,}4\cdot10^{-7}$ კ.

ელექტრონის მუხტის მოდულია e = $1{,}6\cdot10^{-19}$ კ. ჭარბი ელექტრონების რაოდენობაა:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{6{,}4\cdot10^{-7}}{1{,}6\cdot10^{-19}} = 4\cdot10^{12}$$

თუ ელექტრონების რაოდენობა განახევრდება, მუხტიც და ელექტრული ძალაც 2-ჯერ შემცირდება. თავდაპირველად ელექტრული ძალა სიმძიმის ძალის ტოლი იყო, ამიტომ შემდეგ ელექტრული ძალა mg/2 გახდება. ჯამური ძალა მიმართული იქნება ქვემოთ:

$$F = mg - \frac{mg}{2} = \frac{mg}{2}$$

$a = \frac{F}{m} = \frac{g}{2} = 5$ მ/წმ².

პასუხი: $4\cdot10^{12}$ ჭარბი ელექტრონი; 5 მ/წმ².

## პარაგრაფი №1.6 — ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | მოტივაცია, ვიზუალური დაკვირვება და ახალი ცოდნის აგება | როგორ „ვხედავთ“ ელექტრულ ველს? — ძალწირების დემონსტრაცია | მოსწავლე შეძლებს ელექტრული ველის სხვადასხვა სურათისა და მოდელის დაკვირვებას, დადებითი და უარყოფითი წერტილოვანი მუხტებისა და ორი მუხტის ველის ძალწირების მიმართულებების ამოცნობას, ნახაზებს შორის მსგავსებისა და განსხვავებების აღმოჩენას და პირველადი კანონზომიერებების ჩამოყალიბებას. | ნივთიერება და ველი — ელექტრული ველის თვისებების ზოგადი აღწერა და ველის შემქმნელი მუხტის დაკავშირება მის მიერ შექმნილ ველთან. |
| 2 | ახალი ცოდნის გააზრება და სისტემატიზაცია | რას გვიჩვენებს ელექტრული ველის ძალწირები? | მოსწავლე შეძლებს განმარტოს ელექტრული ველის ძალწირის არსი, დააკავშიროს ძალწირის ყოველ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებასთან, განსაზღვროს ძალწირების მიმართულება, დააკავშიროს ძალწირების | ნივთიერება და ველი — ელექტრული ველის თვისებრივი აღწერა და დაძაბულობის ვექტორის მიმართულების გააზრება. ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური კანონზომიერების გამოყენებით ველის სურათის ინტერპრეტაცია. |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| | | | სიმჭიდროვე ველის დაძაბულობის მოდულთან და ამოიცნოს ერთგვაროვანი ელექტრული ველი. | |
| 3 | პრობლემის გადაჭრა, ცოდნის განმტკიცება და შეფასება | ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული | მოსწავლე შეძლებს წერტილოვანი მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის განსაზღვრისას გამოიყენოს წინა პარაგრაფში შესწავლილი ფორმულა და ვექტორული შეკრების პრინციპი, ხოლო ინტერაქციული კითხვა-პასუხით ცოდნა გადაიტანოს ახალ სქემებსა და სიტუაციებში. | ნივთიერება და ველი — ველის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების გამოყენებით პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანის გადაჭრა.<br>ძალა — ელექტრული ურთიერთქმედების მახასიათებელი ძალის მიმართულებისა და რაოდენობრივი კანონზომიერების გააზრება. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს ელექტრული ველის ძალწირი , როგორც წარმოსახვითი წირი, რომლის ყოველ წერტილში გავლებული მხები მიმართულება ემთხვევა ამ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას;
- განსაზღვროს დადებითი და უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის ძალწირების მიმართულება;
- აღწეროს ორი ერთსახელიანი და სხვადასხვასახელიანი მუხტის ელექტრული ველის ძალწირების სურათი;
- დააკავშიროს ძალწირების სიმჭიდროვე ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულთან და განმარტოს, რატომ არ იკვეთება ძალწირები;
- ამოიცნოს ერთგვაროვანი ელექტრული ველი და აღწეროს მისი ძალწირები, როგორც პარალელური, ერთნაირი მიმართულებისა და თანაბარი სიმჭიდროვის წირები;
- წერტილოვანი მუხტების სისტემისთვის განსაზღვროს ცალკეული ველების მიმართულებები და გამოიყენოს დაძაბულობის ფორმულა და ვექტორული შეკრება ამოცანის ამოხსნისას;
- გამოიყენოს ძალწირების შესახებ ცოდნა ახალ სქემებსა თუ სიტუაციებში ველის მიმართულების დასადგენად და სხვადასხვა წერტილში ველის დაძაბულობების ერთმანეთთან შესადარებლად.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (მასა და მუხტი) დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა.
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა.
- ურთიერთქმედების სახეების (გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური) თვისებრივი დახასიათება (გრავიტაციული და ელექტრული ურთიერთქმედების რაოდენობრივი დახასიათება); ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით.
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება.
- ფიზიკურ მოვლენათა/პროცესთა შედარება მათი მახასიათებლების მიხედვით.

### წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად განმარტავს ძალწირის მნიშვნელობას; სქემაზე განსაზღვრავს დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას; ერთმანეთისგან განასხვავებს დადებითი და უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის, ერთსახელიანი და სხვადასხვასახელიანი წერტილოვანი მუხტების ველის ძალწირების სურათებს; ძალწირების სიმჭიდროვეს უკავშირებს ველის დაძაბულობის მოდულს; ამოიცნობს ერთგვაროვან ელექტრულ ველს; ამოცანის ამოხსნისას სწორად განსაზღვრავს ცალკეული ველების მიმართულებებს, იყენებს შესაბამის ფორმულებს და ვექტორული შეკრების წესით ადგენს რამდენიმე წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი რეზულტატური ველის დაძაბულობას.

**აქტივობა 1. როგორ „ვხედავთ“ ელექტრულ ველს? — ძალწირების დემონსტრაცია**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოტივაცია, ვიზუალური დაკვირვება და ახალი ცოდნის აგება — მოსწავლეებმა სხვადასხვა ნახაზისა და მოდელის შედარებით აღმოაჩინონ ელექტრული ველის ძალწირების მიმართულებისა და განლაგების ძირითადი კანონზომიერებები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; ვიზუალური მოდელირება. |
| **საკვლევი კითხვა** | რა ინფორმაციის ამოკითხვა შეგვიძლია ელექტრული ველის შესახებ ძალწირების სურათიდან? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ეკრანზე ან დაფაზე თანმიმდევრულად აჩვენებს მოსწავლის წიგნის სურ. 1.6.1–1.6.8-ის ტიპის სქემებს: დადებითი და უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის ველს, სხვადასხვა ნიშნიანი და ერთსახელიანი მუხტების ველს, ერთგვაროვანი ველის სურათს და სხვადასხვა სიმჭიდროვის ძალწირებს. დამატებით შესაძლებელია გამოვიყენოთ ციფრული სიმულაცია ან წინასწარ მომზადებული ისრებიანი ბარათები. მოსწავლეები წყვილებში აკვირდებიან სქემებს და ჯერ ახსნის გარეშე აფიქსირებენ განმეორებად ნიშნებს: სად იწყება/სრულდება ისრები, როგორ იცვლება მათი მიმართულება, სად არის ხაზები უფრო მჭიდროდ და იკვეთება თუ არა ისინი. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **დემონსტრაცია 1 — დადებითი და უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის ველი** | მასწავლებელი აჩვენებს +q და -q მუხტების გარშემო რადიალურად განლაგებულ ძალწირებს. მოსწავლეები ისრების მიმართულებით ადგენენ, რომ დადებითი მუხტის შემთხვევაში ძალწირები მუხტიდან გამოდის, უარყოფითის შემთხვევაში კი მუხტისკენაა მიმართული. შემდეგ თითოეულ სქემაზე რამდენიმე წერტილში მოსწავლეები ხატავენ სავარაუდო E ვექტორს. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პირველი დემონსტრაციისას** | • რომელი სქემა ეკუთვნის დადებით და რომელი უარყოფით მუხტს?<br>• რა მიმართულება აქვს ისრებს თითოეულ შემთხვევაში?<br>• რას აღნიშნავს სქემაზე E ვექტორი?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **დემონსტრაცია 2 — ორი მუხტის ველი** | მოსწავლეები ადარებენ სხვადასხვასახელიანი და ერთსახელიანი მუხტების ველის სურათებს. ისინი აკვირდებიან, რომ სხვადასხვასახელიანი მუხტების შემთხვევაში ძალწირები დადებითიდან უარყოფითისკენაა მიმართული, ხოლო ერთსახელიანი მუხტების მიდამოში ძალწირები ერთმანეთისგან თითქოს „განიზიდებიან“. მასწავლებელი ყურადღებას ამახვილებს იმაზე, რომ სურათი აღწერს ველის მიმართულებას სივრცის სხვადასხვა წერტილში და არა დამუხტული ნაწილაკების რეალურ ტრაექტორიებს. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სქემების შედარებისას** | • როგორ განასხვავეთ ერთსახელიანი და სხვადასხვასახელიანი მუხტების ველები?<br>• როგორ განსაზღვრეთ E ვექტორის მიმართულება ძალწირის კონკრეტულ წერტილში?<br>• რომელ სქემაზე ჩანს ძალწირების უფრო დიდი სიმჭიდროვე და როგორ დააკავშირებთ ამ ფაქტს ველის დაძაბულობის მოდულთან?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახალ სქემებზე** | • თუ უცნობ სქემაზე ძალწირების ისრები ცენტრისკენაა მიმართული, რა ნიშნის მუხტს შეიძლება ეკუთვნოდეს ეს ველი?<br>• თუ ორ უბანში ძალწირების მიმართულება ერთნაირია, მაგრამ ერთ უბანში ხაზები უფრო მჭიდროდაა, სად არის ველი უფრო ძლიერი?<br>• თუ ორი ძალწირი ერთმანეთს გადაკვეთდა, რას ნიშნავდა ეს იმავე წერტილში E ვექტორის მიმართულებისთვის? შესაძლებელია ასეთი რამ?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი თავიდან არ აძლევს მოსწავლეებს ძალწირების ყველა წესს მზა სახით. იგი სვამს შედარებით და დამაზუსტებელ კითხვებს, მოსწავლეთა დაკვირვებებს აჯგუფებს და მხოლოდ შემდეგ აკავშირებს მათ პარაგრაფში მოცემულ ტერმინებთან. განსაკუთრებულად აზუსტებს, რომ ძალწირები წარმოსახვითი ხაზებია და არა მუხტების მატერიალური „ძაფები“ ან აუცილებლად ნაწილაკის მოძრაობის ტრაექტორია. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.6.1–1.6.8; პროექტორი ან დაფა; ძალწირების წინასწარ მომზადებული ბარათები; ფერადი ისრები/მარკერები; სურვილის შემთხვევაში ელექტრული ველის ციფრული სიმულაცია. |
| **შეფასება** | ვიზუალური კლასიფიკაცია — მოსწავლე იღებს ორ უცნობ ძალწირების სქემას და თითოეულზე აღნიშნავს მუხტის სავარაუდო ნიშანს, E ვექტორის მიმართულებას ერთ წერტილში და იმ უბანს, სადაც ველი შედარებით ძლიერია. კრიტერიუმები: E ვექტორის მიმართულების ზუსტი განსაზღვრა; ძალწირების სიმჭიდროვის სწორად ინტერპრეტაცია; პასუხის მოკლე დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემები და წინასწარ მონიშნული ერთი საწყისი E ვექტორი, რომლის ანალოგიითაც დანარჩენ მიმართულებებს ადგენენ. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემებს დამოუკიდებლად აანალიზებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები უცნობი ორი-მუხტიანი სქემის მიხედვით ასაბუთებენ, სად შეიძლება იყოს ველი უფრო ძლიერი ან სუსტი. |

**შუალედური დასკვნა**

ელექტრული ველის ძალწირები ველის წარმოსახვითი გრაფიკული მოდელია. მათი მიმართულება გვიჩვენებს ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას, ხოლო ძალწირების განლაგებისა და სიმჭიდროვის შედარება საშუალებას გვაძლევს ველის დაძაბულობის მოდულზე ვიმსჯელოთ.

**აქტივობა 2. რას გვიჩვენებს ელექტრული ველის ძალწირები?**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის გააზრება და სისტემატიზაცია — მოსწავლეებმა პარაგრაფის ტექსტისა და წინა აქტივობაში აღმოჩენილი კანონზომიერებების საფუძველზე ზუსტად ჩამოაყალიბონ ძალწირების არსი, წესები და ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ნიშნები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; მიმართულებითი კითხვა-პასუხი. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ უნდა წავიკითხოთ ძალწირების ნახაზი, რომ დავადგინოთ ველის მიმართულება და შევადაროთ დაძაბულობები სივრცის სხვადასხვა წერტილში? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლეთა წინა დასკვნებს აერთიანებს მოკლე, ლოგიკურ საინფორმაციო ბლოკებად. ჯერ განმარტავს ძალწირს: ეს არის წარმოსახვითი წირი, რომლის ყოველ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება ემთხვევა ამ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას. შემდეგ განიხილება წერტილოვანი მუხტის ძალწირები, ორი მუხტის ველის სურათები, ხაზების სიმჭიდროვე და ერთგვაროვანი ველის მაგალითი. ყოველი ბლოკის შემდეგ მოსწავლეები პასუხობენ მოკლე კითხვას ან ხატავენ ერთ E ვექტორს, რათა ახსნა აქტიურ გააზრებად გადაიქცეს. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — ძალწირის განსაზღვრება და მიმართულება** | მასწავლებელი სურათზე არჩევს ძალწირის ერთ წერტილს და ამ წერტილში ავლებს მხებს. მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ მხების მიმართულება ემთხვევა E ვექტორის მიმართულებას. ხაზგასმულია , დადებითი წერტილოვანი მუხტის ძალწირები რადიალურად გარეთაა მიმართული, უარყოფითი მუხტისა — რადიალურად მუხტისკენ; ელექტრული ველის ძალწირები ერთმანეთს არ კვეთს. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პირველი ბლოკის შემდეგ** | • რას ვუწოდებთ ელექტრული ველის ძალწირს?<br>• როგორ განვსაზღვრავთ E ვექტორის მიმართულებას ძალწირის მიხედვით?<br>• საით არის მიმართული დადებითი და უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის ძალწირები?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — ძალწირების სიმჭიდროვე და ველის სიძლიერე** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.6.6–1.6.8-ის მიხედვით განიხილება ძალწირების სიმჭიდროვე. მასწავლებელი აყალიბებს წესს: ველის იმ უბანში, სადაც ძალწირები უფრო მჭიდროდაა განლაგებული, ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული უფრო დიდია; სადაც ხაზები უფრო იშვიათია — ველი შედარებით სუსტია. მოსწავლეები განსხვავებული მუხტების ან სხვადასხვა უბნების სურათებზე ადარებენ ველის სიძლიერეს. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სქემის ინტერპრეტაციისას** | • როგორ განსაზღვრავთ სქემაზე, რომელ უბანშია ველი უფრო ძლიერი?<br>• რა ნაბიჯებით დაადგენთ უცნობ წერტილში E ვექტორის მიმართულებას?<br>• რატომ არ არის საკმარისი მხოლოდ ერთი ძალწირის ნახვა ველის სიძლიერის ანუ დაძაბულობის მოდულის შესაფასებლად?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; მონაცემების გაანალიზება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — ერთგვაროვანი ელექტრული ველი** | მასწავლებელი სურ. 1.6.5-ს იყენებს ერთგვაროვანი ველის ცნების შესატანად. ერთგვაროვანია ველი, რომლის ყველა წერტილში დაძაბულობის ვექტორი ერთნაირია მოდულითა და მიმართულებით. ასეთი ველის ძალწირები პარალელურია, ერთი მიმართულება აქვთ და თანაბარი სიმჭიდროვითაა განლაგებული. მოსწავლეები ადარებენ ამ სურათს წერტილოვანი მუხტის რადიალურ ველს. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • თუ უცნობ სქემაზე ძალწირები პარალელურია, მაგრამ ერთმანეთთან დაშორება სხვადასხვა უბანში იცვლება, შეიძლება თუ არა ველი ერთგვაროვნად ჩავთვალოთ? რატომ?<br>• როგორ შეიცვლება ძალწირების სურათი, თუ ერთი დადებითი წერტილოვანი მუხტის მოდული გაიზრდება?<br>• ელექტრული ველის სქემაზე ისეთ წერტილში, სადაც ძალწირი მრუდდება, როგორ განსაზღვრავთ E ვექტორის მიმართულებას?<br>• თუ ძალწირების სიმჭიდროვე მოძრაობის მიმართულებით თანდათან იზრდება, რას დაასკვნით E-ს მოდულის შესახებ?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი თითოეულ წესს აკავშირებს წინასწარ ნანახ კონკრეტულ სქემასთან და მოსწავლეებს სთხოვს წესის სიტყვიერად ჩამოყალიბებას. იგი არ აძლევს დასამახსოვრებელ ჩამონათვალს კონტექსტის გარეშე; შეცდომის შემთხვევაში აბრუნებს მოსწავლეს სურათზე და სთხოვს E ვექტორის, ისრებისა და ხაზების სიმჭიდროვის ხელახლა გაანალიზებას. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.6.1–1.6.8; დაფა ან პროექტორი; ძალწირების სქემები; სახაზავი და ფერადი მარკერები; მოკლე სამუშაო ფურცელი უცნობი ველის სურათებით. |
| **შეფასება** | „იპოვე შეცდომა სქემაში“ — მოსწავლეებს ეძლევათ სამი მცირე ნახაზი, რომლებშიც ერთში ძალწირები იკვეთება, მეორეში დადებითი მუხტის ისრები შიგნითაა მიმართული, მესამეში კი ერთგვაროვანი ველის ხაზები არათანაბარი სიმჭიდროვითაა დახატული. მოსწავლეები პოულობენ შეცდომას, ასწორებენ მას და არგუმენტირებულად ასაბუთებენ შესწორებას. კრიტერიუმები: წესის სწორად გამოყენება; არგუმენტის სიზუსტე. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული სქემა: სამი წესიდან თითოეულს შესაბამისი ნახაზი უნდა დაუკავშირონ. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები შეცდომიან სქემებს დამოუკიდებლად ასწორებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები თავად ქმნიან ერთ შეცდომიან სქემას თანაკლასელისთვის და მიუთითებენ, თუ რომელი წესის გამოყენებას მოითხოვს სქემაში შეცდომის აღმოჩენა. |

**შუალედური დასკვნა**

ელექტრული ველის ძალწირის ყოველ წერტილში გავლებული მხები გვიჩვენებს E ვექტორის მიმართულებას. დადებითი მუხტის ძალწირები მუხტიდან გამოდის, უარყოფითის — მუხტისკენ მიემართება; ძალწირები ერთმანეთს არ კვეთს. რაც უფრო მჭიდროა ძალწირები, მით უფრო დიდია ველის დაძაბულობის მოდული. ერთგვაროვანი ველის ძალწირები პარალელური და თანაბარი სიმჭიდროვისაა.

### აქტივობა 3. ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრობლემის გადაჭრა, ცოდნის განმტკიცება და შეფასება — მოსწავლეებმა გამოიყენონ ელექტრული ველის დაძაბულობის გამოთვლისა და ვექტორული შეკრების შესახებ წინარე ცოდნა კონკრეტულ ამოცანაში და კითხვა-პასუხით შეაჯამონ ძალწირების ძირითადი თვისებები და წესები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება; მიზანმიმართული კითხვა-პასუხი ( დამხმარე კითხვები) |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ გადავიდეთ ნახაზიდან - ველის მიმართულებებისა და გეომეტრიის ანალიზიდან ტოლქმედი დაძაბულობის რაოდენობრივ გამოთვლაზე? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები ჯერ ინდივიდუალურად კითხულობენ საკლასო აქტივობის ამოცანას, შემდეგ წყვილებში ადგენენ ამოხსნის გეგმას. ისინი ხატავენ მუხტებისა და საძიებელი წერტილის სქემას, განსაზღვრავენ თითოეული მუხტის მიერ შექმნილი $E_1$ და $E_2$ ვექტორების მიმართულებებს და მხოლოდ ამის შემდეგ გადადიან მოდულების გამოთვლაზე. ამოცანის განხილვის შემდეგ მასწავლებელი ატარებს მოკლე ინტერაქციულ კითხვა-პასუხს უცნობი ძალწირების სქემებით.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **ამოცანა — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | $q_1$ = 180 ნკ და $q_2$ = -240 ნკ წერტილოვანი მუხტები ვაკუუმში ერთმანეთისგან დაშორებულია 1 მ-ით. რის ტოლია მუხტების მიერ შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა, რომელიც $q_1$-დან დაშორებულია 60 სმ-ით და $q_2$-დან 80 სმ-ით? |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ნაბიჯები** | 1. გადაიყვანეთ მოცემული სიდიდეები SI სისტემაში და დახაზეთ $q_1$, $q_2$ და საძიებელი წერტილი.<br>2. შეამოწმეთ სამკუთხედის გვერდების კავშირი და დაადგინეთ $E_1$ და $E_2$ ვექტორებს შორის კუთხე.<br>3. თითოეული მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის მოდული გამოთვალეთ წერტილოვანი მუხტის ველის ფორმულით.<br>4. ძალწირების მიმართულების წესით განსაზღვრეთ $E_1$ და $E_2$ ვექტორების მიმართულებები.<br>5. გამოიყენეთ ვექტორული შეკრების შესაბამისი წესი და განსაზღვრეთ ჯამური E.<br>6. საბოლოო პასუხში მიუთითეთ ერთეული და რეზულტატური ველის მიმართულება სქემაზე.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება.<br>$$E = k \cdot \frac{\lvert q \rvert}{r^2}$$<br>$$E = \sqrt{(E_1{}^2 + E_2{}^2)}$$ |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოცანის დაწყებისას** | • რა ფორმულით გამოითვლება წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა?<br>• როგორია დადებითი მუხტის მიერ შექმნილი $E_1$ ვექტორის მიმართულება? უარყოფითის მიერ შექმნილი $E_2$ ვექტორის მიმართულება?<br>• რა არის ელექტრული ველის დაძაბულობის SI ერთეული?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოხსნისას** | • რატომ არის აუცილებელი ვექტორების მიმართულებების განსაზღვრა მოდულების შეკრებამდე?<br>• როგორ დაადგენთ მოცემული 60 სმ, 80 სმ და 1 მ მანძილებიდან $E_1$-სა და $E_2$-ს შორის კუთხეს?<br>• რა ნაბიჯებით გადაამოწმებთ, რომ მუხტები და მანძილები SI ერთეულებში სწორად გადაიყვანეთ?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის განმტკიცებისა და ტრანსფერისას** | • როგორ შეიცვლებოდა ამოხსნის ლოგიკა, $q_2$ დადებითი რომ ყოფილიყო?<br>• თუ საძიებელი წერტილი ერთ-ერთი მუხტისკენ გადავა, როგორ შეიცვლება ამ მუხტის მიერ შექმნილი ველის სიძლიერე და ძალწირების სიმჭიდროვე?<br>• ძალწირების უცნობ სქემაზე დაყრდნობით, როგორ დაადგენთ დადებითი ან უარყოფითი მუხტის სავარაუდო მდებარეობასა და ნიშანს?<br>• როგორ ამოიცნობთ ძალწირების სურათიდან, რომ ველი ერთგვაროვანი არ არის?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ამოცანის ამოხსნისას არ კარნახობს რიცხვით პასუხს. იგი კითხვებით ამოწმებს სქემის სისწორეს, SI ერთეულებს, ვექტორების მიმართულებებსა და მათი შეკრების წესს. შეჯამებისას მასწავლებელი აჩვენებს რამდენიმე უცნობ ძალწირების სქემას და მოსწავლეებს სთხოვს სწრაფად დაასაბუთონ ველის წყარო, მიმართულება, ველის სხვადასხვა წერტილში მისი ერთგვაროვნება. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ამოცანა; დაფა; კალკულატორი; სახაზავი; ძალწირების უცნობი სქემების ბარათები; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.6.1–1.6.8. |
| **შეფასება** | მინი-ქვიზი „სქემიდან დასკვნამდე“ — მოსწავლე სამ მოკლე დავალებაში: 1) ერთ სქემაზე აღნიშნავს E ვექტორს; 2) ორ უბანში ადარებს ველის სიძლიერეს; 3) ასახელებს ერთგვაროვანი ველის ერთ ნიშანს და ერთ წესს, რომელსაც ძალწირები ყოველთვის ემორჩილება. კრიტერიუმები: ველის დაძაბულობის მიმართულების სიზუსტე; სიმჭიდროვის სწორი ინტერპრეტაცია; ძირითადი წესების გააზრება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ამოცანისთვის ეძლევათ ეტაპებად დაყოფილი სამუშაო ფურცელი, რომელზეც ცალკე სივრცეა SI გარდაქმნებისთვის, $E_1$ და $E_2$ ვექტორების მიმართულებების დასახატად და ვექტორული შეკრებისთვის. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ამოხსნის გეგმას თავად ადგენენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით მსჯელობენ, როგორ შეიცვლება რეზულტატური ველის მიმართულება, თუ ერთი მუხტის მოდული გაიზრდება. |

### სასურველი დასკვნა

ელექტრული ველის ძალწირები საშუალებას გვაძლევს გრაფიკულად აღვწეროთ ველის მიმართულება და შევადაროთ ველის სიძლიერე სხვადასხვა წერტილში. ძალწირის ყოველ წერტილში E ვექტორის მიმართულება ემთხვევა ამ წერტილში წირის მხების მიმართულებას; ძალწირების სიმჭიდროვე თვისობრივად ახასიათებს ველის დაძაბულობის მოდულს; ძალწირები ერთმანეთს არ კვეთს. ერთგვაროვან ელექტრულ ველში E ყველა წერტილში ერთნაირია, ამიტომ ძალწირები პარალელური და თანაბარი სიმჭიდროვისაა.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „სქემის კორექტორი“

მოსწავლე ინდივიდუალურად იღებს მცირე ძალწირების სქემას, რომელშიც განზრახ შეტანილია ერთი შეცდომა. მან უნდა მონიშნოს შეცდომა, დახატოს სწორი ვარიანტი და ერთი წინადადებით მიუთითოს შესაბამისი წესი. შეფასება ეფუძნება ძალწირების მიმართულების, სიმჭიდროვის, გადაკვეთისა და ერთგვაროვანი ველის ნიშნების სწორ გამოყენებას.

### მასწავლებლის ინსტრუქცია

ყურადღება გაამახვილეთ, რომ ძალწირები არის ელექტრული ველის გრაფიკული მოდელი და არა დამუხტული ნაწილაკების აუცილებლად რეალური მოძრაობის ტრაექტორიები. E ვექტორი მოცემულ წერტილში ძალწირის მხების მიმართულებას ემთხვევა. მოსწავლეებმა ძალწირების სიმჭიდროვე გამოიყენონ მხოლოდ ველის დაძაბულობის მოდულის შესაფასებლად და ერთგვაროვანი ველი ამოიცნონ როგორც მიმართულებითა და მოდულით უცვლელი ველი.

### მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:

1. **რას მიუთითებს ელექტრული ველის ძალწირზე აღნიშნული ისარი?**
   ისარი მიუთითებს ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულებას ძალწირის მოცემულ წერტილში.
2. **რატომაა წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის ძალწირი წრფე?**
   რადგან წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობა ყოველ წერტილში მიმართულია რადიალურად, ანუ მუხტისა და მოცემული წერტილის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. ამიტომ მისი ძალწირებიც წრფივია. დადებითი მუხტის შემთხვევაში ისინი მუხტიდან გარეთაა მიმართული, უარყოფითის შემთხვევაში კი — მუხტისკენ.
3. **რატომ არ შეიძლება ელექტრული ველის ძალწირები ერთმანეთს კვეთდეს?**
   რადგან გადაკვეთის წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობას ერთდროულად ორი მიმართულება ექნებოდა, რაც შეუძლებელია.
4. **როგორ შეიძლება შევქმნათ ერთგვაროვანი ელექტრული ველი?**
   ერთგვაროვანი ელექტრული ველი შეიძლება შევქმნათ **სიდიდით ტოლი და საპირისპირო ნიშნით** დამუხტული ორი ბრტყელი, პარალელური ლითონის ფირფიტით, თუ მათი ზომები მათ შორის მანძილზე ბევრად დიდია. ასეთ შემთხვევაში ფირფიტებს შორის ველის დაძაბულობას ყველა წერტილში ერთნაირი მოდული და მიმართულება აქვს.
5. **შეიცვლება თუ არა საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალა, თუ მას ერთგვაროვანი ველის ერთი წერტილიდან მეორეში გადავიტანთ?**
   თუ საცდელი მუხტის სიდიდე არ იცვლება, მასზე მოქმედი ძალაც არ შეიცვლება, რადგან ერთგვაროვან ელექტრულ ველში დაძაბულობას ყველა წერტილში ერთნაირი მოდული და მიმართულება აქვს.

### საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:

#### ამოცანა 1

ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილში დაძაბულობა 7000 ნ/კ-ის ტოლია. როცა ამ წერტილში სასინჯი მუხტი შეიტანეს, მასზე ველმა დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებით 28 მნ ძალით იმოქმედა. რისი ტოლია სასინჯი მუხტის მნიშვნელობა?

**მოც.:**

$\mathrm{E} = 7000$ ნ/კ

$\mathrm{F} = 28$ მნ $= 28 \cdot 10^{-3}$ ნ

**უ.ვ.:** $\mathrm{q}$

**ამოხსნა.** ელექტრული ველის დაძაბულობა მოცემულ წერტილში განისაზღვრება ფორმულით

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{F}}{|\mathrm{q}|}.$$

აქედან მუხტის მოდულია:

$$|q| = \frac{F}{E}.$$

რიცხვითი მონაცემების ჩასმით მივიღებთ:

$$|q| = \frac{28 \cdot 10^{-3}}{7000} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ კ}.$$

რადგან ძალა მიმართულია დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებით, სასინჯი მუხტი დადებითია. ამიტომ:

$$q = +4 \cdot 10^{-6} \text{ კ} = +4 \text{ მკკ}.$$

**პასუხი:** სასინჯი მუხტის მნიშვნელობაა **+4 მკკ**.

**ამოცანა 2**

რისი ტოლია წერტილოვანი მუხტის მნიშვნელობა, თუ ვაკუუმში მისი ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი მისგან 60 სმ მანძილზე მიმართულია მუხტისკენ და მოდულით 2000 ნ/კ-ის ტოლია.

**მოც.:**

$r = 60 \text{ სმ} = 0{,}6 \text{ მ}$

$E = 2000 \text{ ნ/კ}$

$k = 9 \cdot 10^9 \text{ ნ·მ²/კ²}$

**უ.ვ.:** $q$

**ამოხსნა.** წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულია

$$E = k\frac{|q|}{r^2}.$$

აქედან

$$|q| = \frac{Er^2}{k}.$$

რიცხვითი მონაცემების ჩასმით:

$$|q| = \frac{2000 \cdot (0{,}6)^2}{9 \cdot 10^9} = 8 \cdot 10^{-8} \text{ კ} = 80 \text{ ნკ}.$$

დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია მუხტისკენ. წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა მუხტისკენ მხოლოდ უარყოფითი მუხტის შემთხვევაშია მიმართული. ამიტომ:

$$q = -80 \text{ ნკ}.$$

**პასუხი:** მუხტის მნიშვნელობაა **-80 ნკ**.

**ამოცანა 3***

რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა ვაკუუმში 1 მ-ით დაშორებული 800 ნკ და 600 ნკ წერტილოვანი მუხტების შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში?

**მოც.:**

$q_1 = 800 \text{ ნკ} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ კ}$

$q_2 = 600 \text{ ნკ} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ კ}$

$R = 1 \text{ მ}$

$k = 9 \cdot 10^9 \text{ ნ·მ²/კ²}$

**უ.ვ.:** $E$

**ამოხსნა.** შუა წერტილი ორივე მუხტიდან ერთნაირი მანძილითაა დაშორებული:

$$r = \frac{R}{2} = 0{,}5 \text{ მ}.$$

ორივე მუხტი დადებითია, ამიტომ შუა წერტილში მათ მიერ შექმნილი დაძაბულობის ვექტორები ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არის მიმართული. შესაბამისად, ჯამური დაძაბულობის მოდული მათი მოდულების სხვაობაა:

$$E = E_1 - E_2.$$

პირველი მუხტის ველის დაძაბულობაა:

$$E_1 = k\frac{q_1}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-7}}{(0{,}5)^2} = 28800 \text{ ნ/კ}.$$

მეორე მუხტის ველის დაძაბულობაა:

$$E_2 = k\frac{q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-7}}{(0{,}5)^2} = 21600 \text{ ნ/კ}.$$

ამიტომ:

$$E = 28800 - 21600 = 7200 \text{ ნ/კ}.$$

რადგან $q_1 > q_2, E_1 > E_2$, ამიტომ ჯამური ვექტორი მიმართულია $q_1$ – დან $q_2$-სკენ, ანუ 600 ნკ მუხტისკენ.

**პასუხი:** 7200 ნ/კ, მიმართულია 600 ნკ მუხტისკენ.

**ამოცანა 4***

9q და 25q წერტილოვანი მუხტები ერთმანეთისგან დაშორებულია 80 სმ-ით. 9q მუხტიდან რა მანძილით დაშორებულ წერტილში იქნება ამ მუხტების ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი?

**მოც.:**

$q_1 = 9q$

$q_2 = 25q$

$R = 80$ სმ

**უ.ჯ.:** $x$ — მანძილი 9q მუხტიდან იმ წერტილამდე, სადაც $E = 0$.

**ამოხსნა.** ორივე მუხტი ერთნაირი ნიშნითაა დამუხტული, ამიტომ ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი შეიძლება იყოს მათ შორის მდებარე წერტილში, სადაც ორი მუხტის მიერ შექმნილი დაძაბულობის ვექტორები ურთიერთსაწინააღმდეგოდ იქნება მიმართული.

თუ ამ წერტილის დაშორება 9q მუხტიდან არის $x$, მაშინ 25q მუხტიდან მისი დაშორება იქნება $R - x$.

ნულოვანი ჯამური დაძაბულობისთვის მოცემული მუხტების მიერ შექმნილი დაძაბულობების მოდულები ერთმანეთის ტოლი უნდა იყოს:

$$E_1 = E_2.$$

ანუ:

$$k\frac{9q}{x^2} = k\frac{25q}{(R-x)^2}.$$

შეკვეცის შემდეგ:

$$\frac{9}{x^2} = \frac{25}{(R-x)^2}.$$

ტოლობის ორივე მხრიდან დადებითი ფესვის ამოღებით:

$$\frac{3}{x} = \frac{5}{R - x}.$$

აქედან:

$$3(R - x) = 5x,$$

$$3R = 8x,$$

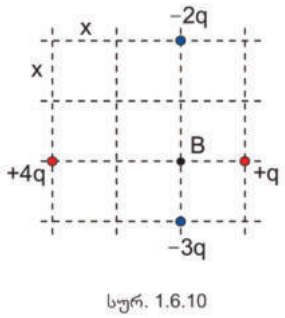
$$x = \frac{3R}{8}.$$

რადგან $R = 80$ სმ,

$$x = \frac{3 \cdot 80}{8} = 30 \text{ სმ}.$$

**პასუხი:** ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია 9q მუხტიდან 30 სმ მანძილზე, მუხტებს შორის, მათ შემაერთებელ მონაკვეთზე მდებარე წერტილში.

**ამოცანა 5**



სურ. 1.6.10

სურ. 1.6.10-ზე ბადის ზომა:
$x = 10$ სმ და წერტილოვანი მუხტის მნიშვნელობა $q = 4$ ნკ. დახაზეთ ჯამური ველის დაძაბულობის ვექტორი B წერტილში და დაადგინეთ მისი მოდულის მნიშვნელობა.

**მოც.:**

$x = 10$ სმ $= 0{,}1$ მ

$q = 4$ ნკ $= 4 \cdot 10^{-9}$ კ

$k = 9 \cdot 10^9$ ნ·მ²/კ²

**უ.ვ.:** $E_B$

**ამოხსნა.** სურ. 1.6.10-ის მიხედვით B წერტილის მიმართ მუხტები განლაგებულია ასე:

- მარცხნივ, $2x$ მანძილზე $+4q$;
- მარჯვნივ, $x$ მანძილზე $+q$;
- ზემოთ, $2x$ მანძილზე $-2q$;
- ქვემოთ, $x$ მანძილზე $-3q$.

ჯერ განვიხილოთ ჰორიზონტალური მიმართულებით B წერტილში ჯამური დაძაბულობა.

$+4q$ მუხტის მიერ B წერტილში შექმნილი ველის დაძაბულობა მიმართულია მარჯვნივ და მისი მოდულია

$$E_{4q} = k\frac{4q}{(2x)^2} = k\frac{q}{x^2}.$$

$+q$ მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობა მიმართულია მარცხნივ და მისი მოდულია

$$E_q = k\frac{q}{x^2}.$$

ამიტომ ჰორიზონტალური მდგენელები ერთმანეთს აბათილებს:

$$E_x = E_{4q} - E_q = 0.$$

ახლა განვიხილოთ ვერტიკალური მიმართულება.
$-2q$ მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობა B წერტილში მიმართულია ზემოთ:

$$E_{2q} = k\frac{2q}{(2x)^2} = \frac{1}{2}k\frac{q}{x^2}.$$

$-3q$ მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობა B წერტილში მიმართულია ქვემოთ:

$$E_{3q} = k\frac{3q}{x^2} = 3k\frac{q}{x^2}.$$

რადგან ქვემოთ მიმართული დაძაბულობა უფრო დიდია, ჯამური ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად ქვემოთ. მისი მოდულია

$$E_B = E_{3q} - E_{2q} = \left(3 - \frac{1}{2}\right)k\frac{q}{x^2} = \frac{5}{2}k\frac{q}{x^2}.$$

რიცხვითი მონაცემების ჩასმით

$$E_B = \frac{5}{2}\cdot 9\cdot 10^9 \cdot \frac{4\cdot 10^{-9}}{(0{,}1)^2} = 9000 \text{ ნ/კ}.$$

**პასუხი:** B წერტილში ჯამური ველის დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად ქვემოთ, ხოლო მისი მოდულია 9000 ნ/კ.

## პარაგრაფი №1.7 — ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი. ძაბვა

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი და ძაბვა — ფორმულებიდან შინაარსამდე | მოსწავლე შეძლებს ინტერაქტიული ახსნისა და ვიზუალური მოდელების საფუძველზე დააკავშიროს ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა მუხტის პოტენციურ ენერგიასთან, განმარტოს პოტენციალი და პოტენციალთა სხვაობა, გაიაზროს ფორმულების ფიზიკური შინაარსი და ერთგვაროვან ველში დააკავშიროს ძაბვა ველის დაძაბულობასთან. | ნივთიერება და ველი — ელექტრული ველის ფიზიკური თვისებების რაოდენობრივი დახასიათება და ველის მახასიათებელი სიდიდეების გამოყენება ველის ენერგეტიკული მახასიათებლების (პოტენციალი, პოტენციალთა სხვაობა, მუშაობა) დასახასიათებლად და ერთგვაროვან ველში ძაბვასა და დაძაბულობას შორის დამოკიდებულების დასამყარებლად. |
| 2 | პრობლემის გადაჭრა და ცოდნის გამოყენება | პოტენციალი და ძაბვა ამოცანებში | მოსწავლე შეძლებს საკლასო აქტივობის ამოცანებში მოცემული სიდიდეების გაანალიზებას, შესაბამისი დამოკიდებულებების შერჩევას, ერთეულების გარდაქმნას, ერთგვაროვან ველში ძაბვისა და დაძაბულობის გამოთვლას და შედეგის ფიზიკური აზრის შეფასებას. | ნივთიერება და ველი — ველის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების გამოყენებით პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების გადაჭრა. ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური კანონზომიერების რაოდენობრივი გამოყენება. |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, ტრანსფერი და შეფასება | კითხვა–პასუხი — პოტენციალი, ძაბვა და ველის მუშაობა | მოსწავლე შეძლებს ძირითადი ცნებებისა და ფორმულების ურთიერთკავშირის ახსნას, განსხვავებულ სიტუაციებში პოტენციალის, ძაბვისა და ელექტრული ველის დაძაბულობის შესახებ მსჯელობას, გავრცელებული შეცდომების აღმოჩენას და პასუხის არგუმენტირებას. | ნივთიერება და ველი — ელექტრული ველის თვისებებისა და მახასიათებელი სიდიდეების გააზრება. ენერგია — პოტენციალური ენერგიის ცვლილების დაკავშირება ველის მუშაობასთან |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- დააკავშიროს ელექტროსტატიკური ველის მიერ შესრულებული მუშაობა მუხტის პოტენციალური ენერგიის ცვლილებასთან;
- განმარტოს ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი, როგორც მოცემულ წერტილში მოთავსებული მუხტის პოტენციური ენერგიის შეფარდება ამ მუხტთან;
- განასხვავოს პოტენციალი, პოტენციალური ენერგია და პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა);
- განმარტოს ძაბვა როგორც ელექტროსტატიკური ველის მუშაობის შეფარდება გადაადგილებულ მუხტთან და გამოიყენოს ძაბვის ერთეული — ვოლტი;
- ერთგვაროვანი ელექტრული ველისთვის გამოიყენოს კავშირი $U = Ed$ და საჭიროების მიხედვით $E = U/d$;
- ამოცანის პირობის მიხედვით, სწორად განსაზღვროს ველის მიმართულების გასწვრივ მუხტის გადაადგილება და გამოიყენოს შესაბამისი ფორმულა;
- მიღებული ცოდნა გამოიყენოს ახალ სიტუაციებში და ფორმულების ფიზიკური შინაარსი არგუმენტირებულად განმარტოს.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (მასა და მუხტი) დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა;
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;
- ენერგიის სახეების ურთიერთგარდაქმნის თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; ენერგიის შენახვის კანონის გამოყენებით ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების ახსნა;
- თითოეული სახის ენერგიის დაკავშირება სხეულის/სხეულთა სისტემის მიერ მუშაობის შესრულების უნართან;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად აკავშირებს ელექტროსტატიკური ველის მუშაობას პოტენციალური ენერგიის ცვლილებასთან; ერთმანეთისგან განასხვავებს პოტენციალს, პოტენციალურ ენერგიასა და ძაბვას; ხსნის ფორმულებში შემავალი სიდიდეების ფიზიკურ შინაარსს; ერთგვაროვან ველში სწორად იყენებს $U = Ed$ და $E = U/d$ კავშირებს; ამოცანაში გადააქვს სიდიდეები SI ერთეულებში, ადგენს ველის მიმართულების გასწვრივ მუხტის გადაადგილებას და პასუხს საჭირო ერთეულით და დასაბუთებით წარმოადგენს.

**აქტივობა 1. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი და ძაბვა — ფორმულებიდან შინაარსამდე**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა თანმიმდევრულად გაიაზრონ ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, პოტენციალური ენერგია, პოტენციალი, პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა) და ერთგვაროვან ველში ძაბვისა და დაძაბულობის კავშირი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ უკავშირდება ერთმანეთს ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, მუხტის პოტენციალური ენერგია, ველის პოტენციალი, ძაბვა და ველის დაძაბულობა? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ინფორმაციას აწვდის მოკლე, ერთმანეთთან დაკავშირებულ ბლოკებად და ეყრდნობა მოსწავლის წიგნის სურ. 1.7.1-ს. თითოეული ახალი ფორმულის შემდეგ მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ, რას გამოხატავს ფორმულა, რა სიდიდეები მონაწილეობს მასში და რომელი მათგანი ახასიათებს ველს. მასწავლებელი პარალელს ავლებს სიმძიმის ველში პოტენციალური ენერგიის ცვლილებასთან, მაგრამ ყურადღებას ამახვილებს ელექტროსტატიკურ ველზე. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — ველის მუშაობა და პოტენციური ენერგია** | ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია მუხტის სიდიდეზე, ველის დაძაბულობაზე და ველის მიმართულების გასწვრივ გადაადგილებაზე. ხაზგასმულია, რომ ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა დაკავშირებულია პოტენციალური ენერგიის ცვლილებასთან და დამოკიდებულია მუხტის მხოლოდ საწყის და საბოლოო მდებარეობაზე, მაგრამ არაა დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე. მასწვლებელი ხაზს უსვამს ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალურობას (გრავიტაციული ველის მსგასად). მოსწავლეები სურ. 1.7.1-ზე აკვირდებიან $l_1$, $l_2$ და $d = l_1 - l_2$ სიდიდეებს. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; მონაცემების გაანალიზება.<br>$$A = q_0 E d = q_0 E (l_1 - l_2)$$<br>$$A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2}$$<br>$$W_p = q_0 E l$$ |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პირველი ბლოკის შემდეგ** | • რა სიდიდეებით განისაზღვრება ერთგვაროვან ველში ელექტრული ძალის მუშაობა?<br>• როგორ უკავშირდება ველის მუშაობა მუხტის პოტენციალური ენერგიის ცვლილებას?<br>• რას აღნიშნავს d სიდიდე სურ. 1.7.1-ში?<br>• როგორ იცვლება დადებითი მუხტის პოტენციალური ენერგია ველის მიმართულებით გადაადგილებისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — პოტენციალი** | მასწავლებელი შემოიტანს ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალის ცნებას: მოცემულ წერტილში ველის პოტენციალი განისაზღვრება ამ წერტილში მოთავსებული მუხტის პოტენციალური ენერგიის შეფარდებით მუხტთან. პოტენციალი ველის სკალარული მახასიათებელია და მისი მნიშვნელობა არ არის დამოკიდებული იმ საცდელი მუხტის მოდულზე, რომლითაც ველს ვიკვლევთ. მოსწავლეები პოტენციალს ადარებენ პოტენციალურ ენერგიას და ასახელებენ განსხვავებას: $W_p$ დამოკიდებულია მუხტზეც, $\varphi$ კი ველის მოცემული წერტილს ახასიათებს.<br>$$\varphi = W_p / q_0$$ |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულების კავშირის გააზრებისას** | • როგორ მივიღებთ პოტენციალის გამოსახულებას $W_p$-სა და $q_0$-ს შორის კავშირიდან?<br>• თუ ერთსა და იმავე წერტილში საცდელი მუხტი ორჯერ გაიზარდა, როგორ შეიცვლება მისი პოტენციალური ენერგია და ველის პოტენციალი?<br>• როგორ განვასხვავოთ ამოცანაში პოტენციალი და პოტენციალური ენერგია ერთეულებისა და ფორმულის მიხედვით?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; მონაცემების გაანალიზება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — პოტენციალთა სხვაობა, ძაბვა და კავშირი E-სთან** | მასწავლებელი განმარტავს, რომ ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობას ძაბვა ეწოდება. ძაბვა გვიჩვენებს, რა მუშაობას ასრულებს ელექტროსტატიკური ველი ერთეული დადებითი მუხტის ერთი წერტილიდან მეორეში გადაადგილებისას. SI-ში ძაბვის ერთეულია ვოლტი. ერთგვაროვანი ველისთვის, როდესაც d აღნიშნავს ველის მიმართულების გასწვრივ წერტილებს შორის დაშორებას, მიიღება U = Ed და E = U/d. თუ გადაადგილება ველის მიმართულებასთან კუთხე ქმნის, d განიხილება როგორც ამ გადაადგილების პროექცია (მანძილი უშუალოდ ველის მიმართულებით) ველის მიმართულებაზე.<br>$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$$<br>$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = A / q_0$$<br>$$U = Ed$$<br>$$E = U / d$$ |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • ორი წერტილის პოტენციალები ერთნაირია. როგორ განვსაზღვროთ მათ შორის ძაბვა და ველის მუშაობა ერთი წერტილიდან მეორეში გადაადგილებაზე?<br>• თუ ერთგვაროვან ველში ორ წერტილს შორის მანძილი ველის მიმართულებით ორჯერ გაიზარდა, როგორ შეიცვლება ძაბვა?<br>• რატომ არ შეიძლება U = Ed ფორმულაში d-ის ნაცვლად ყოველთვის პირდაპირ ტრაექტორიის სრული სიგრძის ჩაწერა?<br>• თუ დადებითი მუხტი გადაადგილდება ველის მიმართულებით, როგორ იცვლება პოტენციალი? რა შეიცვლება დადებითი მუხტის საპირისპირო მიმართულებით გადაადგილებისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ფორმულებს არ წარმოადგენს მხოლოდ დასამახსოვრებელ ჩანაწერებად. ყოველი ფორმულის შემდეგ სვამს კითხვას „რას გვეუბნება ეს დამოკიდებულება?“ და მოსწავლეებს სთხოვს სიტყვიერად აღწერონ ეს დამოკიდებულება, სიდიდეების მნიშვნელობა და გამოყენების პირობა. განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობს პოტენციალისა და პოტენციალური ენერგიის, ასევე პოტენციალისა და ძაბვის ერთმანეთისგან გამიჯვნას. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.7.1; დაფა ან პროექტორი; ფორმულების სქემა/პრეზენტაცია; ერთგვაროვანი ელექტრული ველის სქემა; მოკლე სამუშაო ფურცელი „სიდიდე — ფორმულა — ფიზიკური აზრი“. |
| **შეფასება** | „ფორმულა — ფიზიკური აზრი“ — მოსწავლე იღებს ერთ ფორმულას და ერთ წინადადებაში განმარტავს, რა ფიზიკურ კავშირს აღწერს იგი და რა პირობებში გამოიყენება. კრიტერიუმები: სიდიდეების სწორად დასახელება; ფიზიკური აზრის სიზუსტე; გამოყენების პირობის მითითება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ვიზუალური ფორმულების რუკა, რომელშიც ისრებითაა ნაჩვენები A, $W_p$, $\varphi$, U და E-ს კავშირები და რამდენიმე ადგილი შესავსებია. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები რუკას დამოუკიდებლად ავსებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები თითოეულ ფორმულას ურთავენ ერთ პირობას, რომლის დარღვევისას მისი პირდაპირი გამოყენება შეუძლებელია |

### შუალედური დასკვნა

ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა მუხტის პოტენციალური ენერგიის ცვლილებას უკავშირდება. პოტენციალი ველის სკალარული (ენერგეტიკული) მახასიათებელია, ხოლო ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობას ძაბვა ეწოდება. ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ველის ძალისმიერ (დაძაბულობა) და ენერგეტიკულ (ძაბვა) მახასიათებლებს შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა: U = Ed.

### აქტივობა 2. პოტენციალი და ძაბვა ამოცანებში

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრობლემის გადაჭრა და ცოდნის გამოყენება — მოსწავლეებმა საკლასო აქტივობის ორ ამოცანაში სწორად შეარჩიონ U = Ed ან E = U/d დამოკიდებულება, გაითვალისწინონ SI ერთეულები და მეორე ამოცანაში ველის მიმართულების გასწვრივ მანძილი განსაზღვრონ გადაადგილების პროექციით. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ განვსაზღვროთ, რომელი გეომეტრიული მანძილი და რომელი ფორმულა უნდა გამოვიყენოთ ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ძაბვისა და დაძაბულობის გამოსათვლელად? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მუშაობენ წყვილებში. თითოეული ამოცანისთვის ჯერ წერენ მოცემულობასა და საძიებელ სიდიდეს, შემდეგ ირჩევენ შესაბამის ფორმულას, საჭიროების შემთხვევაში გადააქვთ სიდიდეები SI ერთეულებში და მხოლოდ ამის შემდეგ აკეთებენ გამოთვლას. მეორე ამოცანაში მოსწავლეები სურ. 1.7.3-ს იყენებენ და AB მონაკვეთის ველის მიმართულებაზე პროექციას ადგენენ. განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **ამოცანა 1 — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის ძალწირზე 5 სმ-ით დაშორებულ წერტილებს შორის ძაბვა 40 ვ-ია. რისი ტოლია ამ ველის დაძაბულობა? |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ამოცანა 1** | 1. გამოყავით მოცემული სიდიდეები U და d და განსაზღვრეთ საძიებელი E.<br>2. გადაიყვანეთ 5 სმ მეტრებში.<br>3. შეარჩიეთ ერთგვაროვანი ველის კავშირი E = U/d.<br>4. შეასრულეთ გამოთვლა და პასუხს დაურთეთ ველის დაძაბულობის ერთეული.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება.<br>$E = U / d$ |
| **ამოცანა 2 — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | რისი ტოლია ძაბვა 1 მ-ით დაშორებულ A და B წერტილებს შორის (სურ. 1.7.3), თუ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა 6000 ვ/მ-ის ტოლია? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ამოხსნის ორგანიზება — ამოცანა 2** | 1. მონიშნეთ ველის მიმართულება და AB მონაკვეთი; სურათიდან განსაზღვრეთ α = 60°.<br>2. გაიაზრეთ, რომ U = Ed ფორმულაში d არის AB მონაკვეთის პროექცია ველის მიმართულებაზე.<br>3. განსაზღვრეთ d = AB · cos α.<br>4. მიღებული d გამოიყენეთ U = Ed ფორმულაში.<br>5. პასუხი წარმოადგინეთ ვოლტებში.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება.<br>$$d = AB \cdot \cos\alpha$$<br>$$U = Ed$$ |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოცანების დაწყებისას** | • რა კავშირია ერთგვაროვან ველში U, E და d სიდიდეებს შორის?<br>• რა ერთეულში უნდა იყოს d, თუ E მოცემულია ვ/მ-ში?<br>• რა არის ძაბვის SI ერთეული?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოხსნისას** | • რატომ გადავიყვანეთ 5 სმ მეტრებში?<br>• მეორე ამოცანაში რატომ არ ვწერთ პირდაპირ d = 1 მ?<br>• როგორ განვსაზღვრეთ AB მონაკვეთის პროექცია ველის მიმართულებაზე?<br>• როგორ გადაამოწმებთ მიღებული პასუხის ერთეულს?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისა და ტრანსფერისას** | • თუ პირველ ამოცანაში იგივე ძაბვის პირობებში წერტილებს შორის დაშორება ორჯერ გაიზრდებოდა, როგორ შეიცვლებოდა ველის დაძაბულობა?<br>• თუ მეორე ამოცანაში AB მონაკვეთი ველის მიმართულების მართობული იქნებოდა, როგორი იქნებოდა A და B წერტილებს შორის ძაბვა? რატომ?<br>• როგორ შეიცვლებოდა მეორე ამოცანის პასუხი, თუ α შემცირდებოდა, ხოლო AB და E უცვლელი დარჩებოდა?<br>• ყოველდღიურ ელექტრულ მოწყობილობაში როდესაც ორ წერტილს შორის ძაბვას ვზომავთ, რას ვადარებთ ფიზიკური თვალსაზრისით?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი რიცხვით პასუხს წინასწარ არ აძლევს. იგი ამოწმებს, განსაზღვრეს თუ არა მოსწავლეებმა ფორმულის გამოყენების პირობა, SI ერთეულები და მეორე ამოცანაში პროექციის საჭიროება. შეცდომის შემთხვევაში მოსწავლეებს აბრუნებს სურ. 1.7.3-ზე და სთხოვს გამოყონ ველის მიმართულების გასწვრივ გადაადგილება. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ორი ამოცანა; სურ. 1.7.3; დაფა; კალკულატორი; სახაზავი; სამუშაო ფურცელი ამოხსნის ეტაპებისთვის. |
| **შეფასება** | ურთიერთშეფასება „შეამოწმე ოთხი ნაბიჯი“ — წყვილები ერთმანეთს უმოწმებენ: 1) მოცემულობასა და საძიებელს; 2) ერთეულებს; 3) ფორმულის/პროექციის სწორ არჩევანს; 4) საბოლოო ერთეულს.<br>კრიტერიუმები: ამოხსნის ლოგიკის სიზუსტე; გამოთვლის გამართულობა; დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ამოხსნის ჩარჩო: „მოცემულია — საძიებელია — SI — ფორმულა — გამოთვლა — პასუხი“, ხოლო მეორე ამოცანაში წინასწარ მონიშნულია AB-ის პროექციის მიმართულება. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ამოხსნას დამოუკიდებლად აწყობენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, როგორ იცვლება U კუთხე α-ს ცვლილებისას. |

**შუალედური დასკვნა**

ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში U = Ed კავშირი გამოიყენება მაშინ, როცა d ზუსტად აღწერს ველის მიმართულების გასწვრივ წერტილებს შორის მანძილს. ამოცანის ამოხსნისას აუცილებელია ერთეულების SI სისტემაში გადაყვანა და ფორმულის გამოყენების გეომეტრიული პირობის გააზრება.

**აქტივობა 3. კითხვა–პასუხი — პოტენციალი, ძაბვა და ველის მუშაობა**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის განმტკიცება, ტრანსფერი და შეფასება — მოსწავლეებმა ინტერაქციული მსჯელობით გაამთლიანონ პოტენციური ენერგიის, პოტენციალის, ძაბვის, ველის მუშაობისა და დაძაბულობის ურთიერთკავშირები და გამოიყენონ ისინი უცნობ სიტუაციებში. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმმართველი (გეზის მიმცემი) კითხვა–პასუხი; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ შეგვიძლია ფორმულის დამახსოვრების ნაცვლად შინაარსის გააზრებით დავადგინოთ, რა იცვლება ელექტრულ ველში მუხტის გადაადგილებისას? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი დაფაზე წერს ხუთ სიდიდეს — A, $W_p$, $\varphi$ , U, E — და მოსწავლეებს სთხოვს მათ შორის კავშირების სიტყვიერად და ფორმულებით დაკავშირებას. შემდეგ განიხილება მოკლე სიტუაციები: მუხტის მოძრაობა ველის მიმართულებით და საპირისპიროდ; ერთი და იმავე წერტილის გამოკვლევა სხვადასხვა საცდელი მუხტით; ორი თანაბარი პოტენციალის მქონე წერტილი; ერთგვაროვან ველში მანძილის ცვლილება. რომელ სიდიდეზე ახდენს გავლენას პირობის შეცვლა და რომელი რჩება უცვლელი? პასუხები ჯერ წყვილებში ყალიბდება, შემდეგ კლასში საბუთდება. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას** | • რას ეწოდება ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი?<br>• რას ეწოდება ორ წერტილს შორის ძაბვა?<br>• რა ერთეულით იზომება პოტენციალი და ძაბვა?<br>• რა კავშირი აქვს ველის მუშაობას პოტენციალური ენერგიის ცვლილებასთან?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულების არჩევისას** | • რა ნიშნით გადაწყვეტთ, როდის გამოიყენოთ $U = A/q_0$ და როდის — U = Ed?<br>• თუ მოცემულია $W_p$ და $q_0$, როგორ იპოვით $\varphi$ -ს?<br>• როგორ შეამოწმებთ, რომ E = U/d ფორმულაში d სწორად გაქვთ განსაზღვრული?<br>• რა ნაბიჯებით დაადგენთ, რომელ წერტილს აქვს უფრო მაღალი პოტენციალი ერთგვაროვან ველში?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში** | •თუ საცდელი მუხტი ორჯერ გაიზარდა, შეიცვლება თუ არა მოცემული წერტილის პოტენციალი? რა შეიცვლება?<br>• რატომ შეიძლება მივიღოთ ერთი და იგივე ძაბვა როგორც ძლიერი ველის მცირე მანძილზე, ისე შედარებით სუსტი ველის დიდ მანძილზე?<br>• რა ფიზიკურ აზრს ატარებს წარწერა „12 V“ ელექტრულ მოწყობილობაზე — რას გვიჩვენებს ეს რიცხვი ენერგიისა და მუხტის თვალსაზრისით?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **კონცეპტუალური მინი-დავალება — „დააკავშირე სიდიდეები“** | წყვილებს ეძლევათ ბარათები A, $W_p$, $\varphi$, U, E, $q_0$ და d ნიშნებით. მათ უნდა შექმნან მინიმუმ ოთხი სწორი კავშირი, თითოეულს დაურთონ ფორმულა და ერთი წინადადებით ახსნან ფიზიკური აზრი. მიზანი არის ფორმულებს შორის კავშირების გააზრება და არა მხოლოდ მათი დამახსოვრება. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია.<br>$$\varphi = W_p / q_0$$<br>$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = A / q_0$$<br>$$U = Ed$$ |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი აკონტროლებს ტერმინების ზუსტ გამოყენებას და კითხვებით პოულობს ტიპურ შეცდომებს: პოტენციალისა და პოტენციალური ენერგიის გაიგივება; ძაბვის ერთ წერტილთან დაკავშირება; U = Ed ფორმულაში ნებისმიერი ტრაექტორიის სიგრძის გამოყენება. იგი მოსწავლეებს სთხოვს შეცდომა თავად დაასახელონ და გამოასწორონ შესაბამისი ფორმულით ან სქემით. |
| **რესურსები** | დაფა ან პროექტორი; A, $W_p$, $\varphi$, U, E, $q_0$ და d ბარათები; ერთგვაროვანი ველის სქემები; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.7.1 და 1.7.3; ფორმულების სამუშაო რუკა. |
| **შეფასება** | „ერთი შეცდომა — ერთი არგუმენტი“ — მასწავლებელი აჩვენებს სამ დებულებას, რომელთაგან ერთ-ერთი მცდარია. მოსწავლე ირჩევს მცდარ დებულებას და ერთი ფორმულით ან ფიზიკური არგუმენტით ასწორებს მას. კრიტერიუმები: ცნებების ზუსტი გამიჯვნა; ფორმულის შესაბამის კონტექსტში გამოყენება; არგუმენტის სიზუსტე. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული კონცეპტუალური რუკა: ველის მახასიათებლები ერთ ფერშია, მუხტზე დამოკიდებული სიდიდეები — მეორეში; მოსწავლე აკავშირებს მათ ფორმულებით. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები რუკას ცარიელი ბარათებით ქმნიან. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ქმნიან ერთ უცნობ სიტუაციას, სადაც U = Ed-ის გამოსაყენებლად საჭიროა პროექციის პოვნა. |
| **შეჯამება** | მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ოთხ ძირითად დებულებას:<br>1) ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა პოტენციური ენერგიის ცვლილებას უკავშირდება; 2) პოტენციალი ახასიათებს ველის წერტილს; 3) ძაბვა არის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა; 4) ერთგვაროვან ველში U = Ed, სადაც d არის ველის მიმართულების გასწვრივ დაშორება. |

**სასურველი დასკვნა**

ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, პოტენციალური ენერგია, პოტენციალი და ძაბვა ერთმანეთთან დაკავშირებული სიდიდეებია. პოტენციალი მოცემულ წერტილში ველს ახასიათებს და საცდელი მუხტის მნიშვნელობაზე არ არის დამოკიდებული; ძაბვა ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობაა. ერთგვაროვან ველში U = Ed კავშირი გვაძლევს ძაბვისა და ველის დაძაბულობის ერთმანეთთან დაკავშირების საშუალებას.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

**„კონცეპტუალური რუკა“**

მოსწავლე ინდივიდუალურად ავსებს პატარა რუკას, რომელშიც უნდა დააკავშიროს A, $W_p$, φ, U და E სიდიდეები მინიმუმ სამი სწორი კავშირით და ერთ-ერთ კავშირს დაურთოს მოკლე სიტყვიერი განმარტება. შეფასება ეფუძნება ცნებების სწორ გამიჯვნას, ფორმულის შესაბამისობასა და ფიზიკური აზრის ზუსტ გადმოცემას.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

ყურადღება გაამახვილეთ, რომ პოტენციალური ენერგია დამოკიდებულია როგორც ველზე, ისე ველში მოთავსებულ მუხტზე, ხოლო პოტენციალი ველის მოცემული წერტილის მახასიათებელია. ძაბვა არის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა. U = Ed და E = U/d კავშირების გამოყენებისას d უნდა იყოს ველის მიმართულების გასწვრივ წერტილებს შორის მანძილი (ან შესაბამისი პროექცია). ფორმულების დამახსოვრებაზე მეტად მოითხოვეთ მათი ფიზიკური აზრისა და გამოყენების პირობების დასაბუთება.

**მასწავლებლისთვის — საკლასო აქტივობის ამოცანების ამოხსნები**

**ამოცანა 1**

პირობა: ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის ძალწირზე 5 სმ-ით დაშორებულ წერტილებს შორის ძაბვა 40 ვ-ია. რისი ტოლია ამ ველის დაძაბულობა?

ნაბიჯი 1 — მოცემულობა: U = 40 ვ; d = 5 სმ; საძიებელია E.

ნაბიჯი 2 — SI ერთეულში გადაყვანა: d = 5 სმ = 0,05 მ.

ნაბიჯი 3 — ერთგვაროვანი ველისთვის ვიყენებთ დამოკიდებულებას: E = U/d.

ნაბიჯი 4 — გამოთვლა: E = 40 ვ / 0,05 მ = 800 ვ/მ.

**პასუხი: E = 800 ვ/მ.**

**ამოცანა 2**

პირობა: რისი ტოლია ძაბვა 1 მ-ით დაშორებულ A და B წერტილებს შორის (სურ. 1.7.3), თუ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა 6000 ვ/მ-ის ტოლია?

ნაბიჯი 1 — მოცემულობა: AB = 1 მ; E = 6000 ვ/მ; α = 60°; საძიებელია U.

ნაბიჯი 2 — U = Ed ფორმულაში d არის AB მონაკვეთის პროექცია ელექტრული ველის მიმართულებაზე.

ნაბიჯი 3 — პროექცია: d = AB · cos 60° = 1 მ · 0,5 = 0,5 მ.

ნაბიჯი 4 — ძაბვა: U = Ed = 6000 ვ/მ · 0,5 მ = 3000 ვ.

**პასუხი: A და B წერტილებს შორის ძაბვის მოდულია 3000 ვ.**

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რა მიმართულებით უნდა გადაადგილდეს დადებითი მუხტი ელექტრული ველის ძალწირის გასწვრივ, რომ ველმა დადებითი მუშაობა შეასრულოს?**
   დადებითი მუხტი უნდა გადაადგილდეს ელექტრული ველის ძალწირის მიმართულებით, ანუ მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალის წერტილისკენ. ამ შემთხვევაში ველი დადებით მუშაობას ასრულებს.

2. **რა მიმართულებით უნდა გადაადგილდეს უარყოფითი მუხტი ელექტრული ველის ძალწირის გასწვრივ, რომ ველმა უარყოფითი მუშაობა შეასრულოს?**
   უარყოფითი მუხტი უნდა გადაადგილდეს ელექტრული ველის ძალწირის მიმართულებით. რადგან უარყოფით მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალა ძალწირის საპირისპიროდაა მიმართული, მუხტის გადაადგილება და ძალა საპირისპირო მიმართულების იქნება და ველი უარყოფით მუშაობას შეასრულებს.
3. **რისი ტოლია ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ელექტრული ველის ძალწირის მართობულად მუხტის გადაადგილებისას?**
   ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია, რადგან გადაადგილება ელექტრული ძალის მიმართულების მართობულია.
4. **ნულოვან დონედ დადებითად დამუხტული ფირფიტა რომ აგვერჩია, შეიცვლებოდა თუ არა ველის მიერ შესრულებული მუშაობა? მუხტის საწყისი და საბოლოო პოტენციალური ენერგია?**
   ველის მიერ შესრულებული მუშაობა არ შეიცვლებოდა, რადგან ის დამოკიდებულია მხოლოდ საწყის და საბოლოო მდგომარეობებს შორის მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიის სხვაობაზე და არა ნულოვანი დონის არჩევაზე. თუმცა საწყისი და საბოლოო პოტენციალური ენერგიების მნიშვნელობები შეიცვლებოდა, რადგან პოტენციალური ენერგია ნულოვანი დონის არჩევაზეა დამოკიდებული.
5. **თუ ელექტრონი ველის ძალწირის მიმართულებით იმოძრავებს, როგორ შეიცვლება მისი კინეტიკური ენერგია? პოტენციალური?**
   ელექტრონის კინეტიკური ენერგია შემცირდება, რადგან ველი მასზე უარყოფით მუშაობას შეასრულებს. შესაბამისად, მისი პოტენციალური ენერგია გაიზრდება.
6. **ელექტრული ველის როგორი მახასიათებელია პოტენციალი, ძალური თუ ენერგეტიკული?**
   პოტენციალი ელექტრული ველის ენერგეტიკული მახასიათებელია.
7. **როგორ იცვლება პროტონის კინეტიკური ენერგია, თუ ის მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალის წერტილში გადადის?**
   პროტონი დადებითად დამუხტული ნაწილაკია, ამიტომ მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალის წერტილისკენ მოძრაობისას ველი მასზე დადებით მუშაობას ასრულებს და მისი კინეტიკური ენერგია იზრდება.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილში შეტანილი 200 ნკ მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია $12 \cdot 10^{-5}$ ჯ-ია.

ა) რისი ტოლია ველის პოტენციალი მოცემულ წერტილში?

ბ) რა მუხტი უნდა შევიტანოთ მოცემულ წერტილში, რომ მისი პოტენციალური ენერგია 6 მჯ იყოს?

**ამოხსნა.** ველის პოტენციალი განისაზღვრება ფორმულით

$$\varphi = \frac{W_{პოტ}}{q}.$$

მოცემული მუხტია:

$q_1 = 200 \cdot 10^{-9}$ კ,

ხოლო პოტენციალური ენერგია

$W_{პოტ1} = 12 \cdot 10^{-5}$ ჯ.

ამიტომ:

$\varphi = \frac{12 \cdot 10^{-5}}{200 \cdot 10^{-9}} = 600$ ვ.

ამრიგად, მოცემულ წერტილში ველის პოტენციალია 600 ვ.

ბ) იმავე წერტილში ველის პოტენციალი უცვლელია. ამიტომ

$$q_2 = \frac{W_{პოტ2}}{\varphi}.$$

რადგან

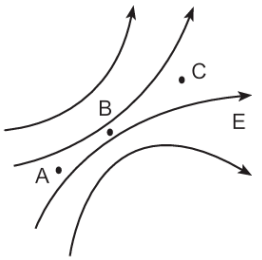
$W_{პოტ2} = 6 \cdot 10^{-3}$ ჯ,

მივიღებთ:

$$q_2 = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{600} = 10^{-5}$$ კ.

ეს არის **10 მკკ**.

**პასუხი:** ა) 600 ვ; ბ) 10 მკკ.



სურ. 1.7.5

**ამოცანა 2**

შეადარეთ ერთმანეთს A, B და C წერტილებში:

ა) ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობები;

ბ) ველის პოტენციალები (სურ. 1.7.5).

**ამოხსნა.** ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული მით მეტია, რაც უფრო მჭიდროდ არის განლაგებული ძალწირები. სურ. 1.7.5-ზე ძალწირები ყველაზე მჭიდროდ B წერტილის მიდამოშია, შემდეგ — A წერტილთან, ხოლო ყველაზე იშვიათად — C წერტილთან. ამიტომ

$$E_B > E_A > E_C.$$

ველის პოტენციალი ძალწირის მიმართულებით მცირდება. სურათზე ველის მიმართულება მარცხნიდან მარჯვნივაა, ხოლო A, B და C წერტილები ამ მიმართულებით თანმიმდევრულად არის განლაგებული. ამიტომ

$$\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C.$$

**პასუხი:** ა) $E_B > E_A > E_C$; ბ) $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$.

**ამოცანა 3**

750 ნკ მუხტი გადაადგილდა ელექტროსტატიკურ ველში 150 ვ პოტენციალის წერტილიდან -50 ვ პოტენციალის წერტილში. რა მუშაობა შეასრულა ამ დროს ველმა? პოტენციალები ათვლილია ერთი და იმავე ნულოვანი დონიდან.

**ამოხსნა.** ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა გამოითვლება ფორმულით

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

მუხტი:

$q = 750 \cdot 10^{-9}$ კ.

პოტენციალთა სხვაობაა:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 150 - (-50) = 200$$ ვ

ამიტომ:

$$A = 750 \cdot 10^{-9} \cdot 200 = 1.5 \cdot 10^{-4}$$ ჯ

ანუ

$A = 15 \cdot 10^{-5}$ ჯ.

**პასუხი:** $15 \cdot 10^{-5}$ ჯ.

**ამოცანა 4**

2000 ვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა 100 ვ-ია. ძალწირის გასწვრივ რა მანძილით არიან ისინი ერთმანეთისგან დაშორებული?

**ამოხსნა.** ერთგვაროვან ველში ძალწირის გასწვრივ

$$U = Ed.$$

აქედან:

$$d = \frac{U}{E} = \frac{100}{2000} = 0.05 \text{ მ}.$$

**პასუხი:** 5 სმ.

**ამოცანა 5**

ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის წირზე მდებარე ორი წერტილის პოტენციალებია: 100 ვ

და -40 ვ. რისი ტოლია ველის პოტენციალი ამ წერტილების შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში? პოტენციალები ათვლილია ერთი და იმავე ნულოვანი დონიდან.

**ამოხსნა.** ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ძალწირის გასწვრივ პოტენციალი მანძილთან წრფივად იცვლება. ამიტომ მონაკვეთის შუა წერტილის პოტენციალი ბოლო წერტილების პოტენციალების საშუალო არითმეტიკულია:

$$\varphi_{\text{შუა}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \frac{100 + (-40)}{2} = 30 \text{ ვ}$$

**პასუხი:** 30 ვ.

**ამოცანა 6**

სურ. 1.7.6-ზე წარმოდგენილია

$E = 500\frac{ვ}{მ}$ დაძაბულობის ერთგვაროვან ველში ოთხი დამაგრებული წერტილოვანი მუხტი:

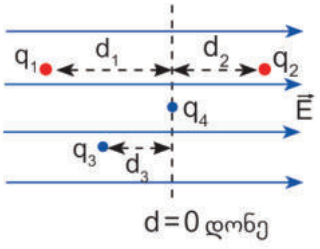
$q_1 = 300$ მკკ, $q_2 = 200$ მკკ, $q_3 = -100$ მკკ, $q_4 = -400$ მკკ.

მათი დაშორებები წინასწარ არჩეული ნულოვანი დონის მიმართ ასეთია:

$d_1 = 5$ სმ, $d_2 = 4$ სმ, $d_3 = 2$ სმ, $d_4 = 0$ სმ.

ა) დაადგინეთ მუხტების პოტენციალური ენერგიები ნულოვანი დონის მიმართ.

ბ) რომელ მუხტზე მოქმედებს ყველაზე დიდი ძალა და რა მიმართულებით?



სურ. 1.7.6

**ამოხსნა.** ერთგვაროვან ველში პოტენციალი ნულოვანი დონის მიმართ გამოითვლება ფორმულით

$$\varphi = E\ell,$$

ხოლო მუხტის პოტენციალური ენერგიაა

$$W_{\text{პოტ}} = q\varphi = qE\ell.$$

სურათზე ველის დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია მარჯვნივ. ამიტომ ნულოვანი დონის მარცხნივ პოტენციალი დადებითია, ხოლო მარჯვნივ — უარყოფითი.

**პირველი მუხტი.** იგი ნულოვანი დონის მარცხნივაა, ამიტომ

$$\varphi_1 = 500 \cdot 0.05 = 25 \text{ ვ}.$$

შემდეგ:

$W_1 = 300 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 7.5 \cdot 10^{-3}$ ჯ.

ანუ $W_1 =$ **7,5 მჯ**.

**მეორე მუხტი.** იგი ნულოვანი დონის მარჯვნივაა, ამიტომ

$\varphi_2 = -500 \cdot 0.04 = -20_3$.

$W_2 = 200 \cdot 10^{-6} \cdot (-20) = -4 \cdot 10^{-3}$ ჯ.

ანუ $W_2 =$ **-4 მჯ**.

**მესამე მუხტი.** იგი ნულოვანი დონის მარცხნივაა, ამიტომ

$$\varphi_3 = 500 \cdot 0.02 = 10_3$$

$$W_3 = -100 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = -10^{-3} \text{ ჯ}.$$

ანუ $W_3 =$ **-1 მჯ**.

**მეოთხე მუხტი.** იგი ნულოვან დონეზეა, ამიტომ

$$\varphi_4 = 0, \qquad W_4 = q_4\varphi_4 = 0.$$

ბ) ერთგვაროვან ველში მუხტზე მოქმედი ძალის მოდულია

$$F = |q|E.$$

ყველაზე დიდი მუხტის მოდული აქვს მეოთხე მუხტს:

$$|q_4| = 400 \cdot 10^{-6} \text{ კ}.$$

ამიტომ

$$F_4 = 400 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0.2 \text{ ნ}.$$

რადგან $q_4 < 0$, ძალა მიმართულია ველის დაძაბულობის ვექტორის საწინააღმდეგოდ, ანუ **მარცხნივ**.

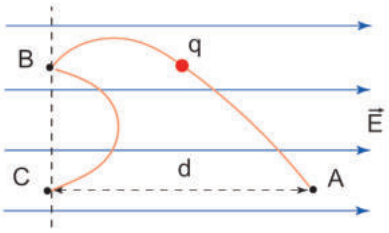
**პასუხი:**

ა) 7,5 მჯ; -4 მჯ; -1 მჯ; 0 ჯ.

ბ) ყველაზე დიდი ძალა მოქმედებს მეოთხე მუხტზე; ძალის მოდულია 0,2 ნ და მიმართულია მარცხნივ.

**ამოცანა 7**

400 მკკ წერტილოვანი მუხტი გადაადგილდა 2000 ვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ჯერ A-დან B წერტილში, შემდეგ კი B-დან C წერტილში (სურ. 1.7.7). რა მუშაობა შეასრულა ველმა თითოეულ შემთხვევაში, თუ $d = 20$ სმ?



სურ. 1.7.7

**ამოხსნა.** ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა დამოკიდებულია მხოლოდ საწყის და საბოლოო წერტილების დონეთა სხვაობაზე.

A-დან B-მდე მუხტი გადაადგილდება ველის მიმართულების საწინააღმდეგოდ. ჰორიზონტალური გადაადგილების მოდულია

$$d = 0.20 \text{ მ}.$$

ამიტომ:

$$A_{AB} = -qEd = -400 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 0.20 = -0.16 \text{ ჯ}.$$

ანუ $A_{AB} =$ -0,16 ჯ.

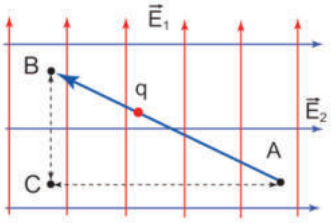
B-დან C-მდე გადაადგილებისას მუხტი არ იცვლის ნულოვანი დონის მიმართ დაშორებას, ამიტომ:

$$A_{BC} = 0.$$

**პასუხი:** A-დან B-მდე -0,16 ჯ; B-დან C-მდე 0 ჯ.

**ამოცანა 8**

სივრცეში, სადაც ერთდროულად არის $E_1 = 7000\frac{ვ}{მ}$ და $E_2 = 3000\frac{ვ}{მ}$ დაძაბულობის მქონე ურთიერთმართობული ერთგვაროვანი ველები, წერტილოვანი $q = 600$ მკკ მუხტი გადაადგილდა A წერტილიდან B წერტილში (სურ. 1.7.8). იპოვეთ ჯამური ველის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ $AC = 40$ სმ და $BC = 30$ სმ.



სურ. 1.7.8

**ამოხსნა.** ჯამური მუშაობა თითოეული ველის მიერ შესრულებული მუშაობების ალგებრული ჯამია:

$$A = A_1 + A_2.$$

სურათიდან ჩანს, რომ A-დან B-მდე გადაადგილების ვერტიკალური კომპონენტი $E_1$ – ის მიმართულებითაა და მისი მოდულია $BC = 0.30$ მ. ამიტომ

$$A_1 = qE_1|BC|.$$

ჰორიზონტალური კომპონენტი კი $E_2$ – ის მიმართულების საწინააღმდეგოდაა და მისი მოდულია $AC = 0.40$ მ. ამიტომ

$$A_2 = -qE_2|AC|,$$

შესაბამისად:

$$A = q(E_1|BC| - E_2|AC|).$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით:

$$A = 600 \cdot 10^{-6}(7000 \cdot 0.30 - 3000 \cdot 0.40).$$

$$A = 600 \cdot 10^{-6}(2100 - 1200) = 600 \cdot 10^{-6} \cdot 900 = 0.54\ ჯ.$$

**პასუხი:** 0,54 ჯ.

**ამოცანა 9***

v სიჩქარით მოძრავი პროტონი შეიჭრა ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ძალწირის გასწვრივ, დაძაბულობის ვექტორის საწინააღმდეგო მიმართულებით და გარკვეული მანძილის გავლის შემდეგ სიჩქარე ნულს გაუტოლდა. რა სიჩქარით უნდა შეიჭრას იმავე ველში ალფა ნაწილაკი, რომ იმავე მანძილზე შეჩერდეს? ნაწილაკებზე მოქმედ სიმძიმის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($m_\alpha = 4m_p$ და $q_\alpha = 2q_p = 2e$).

**ამოხსნა.** ორივე ნაწილაკი ველში მოძრაობს დაძაბულობის ვექტორის საწინააღმდეგოდ, ამიტომ ველი მათზე უარყოფით მუშაობას ასრულებს და საწყისი კინეტიკური ენერგია სრულად იხარჯება ელექტრული ძალის საწინააღმდეგოდ მოძრაობაზე.

პროტონისთვის, თუ შეჩერებამდე გავლილი მანძილია d:

$$\frac{m_p v^2}{2} = eEd.$$

ალფა ნაწილაკისთვის იგივე მანძილზე შეჩერების პირობაა

$$\frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} = q_\alpha Ed.$$

ჩავსვათ $m_\alpha = 4m_p$ და $q_\alpha = 2e$:

$$\frac{4m_p v_\alpha^2}{2} = 2eEd.$$

პროტონისთვის დაწერილი განტოლებიდან:

$$eEd = \frac{m_p v^2}{2},$$

ამიტომ:

$$2m_p v_\alpha^2 = m_p v^2.$$

აქედან:

$$v_\alpha^2 = \frac{v^2}{2},$$

და საბოლოოდ

$$v_\alpha = \frac{v}{\sqrt{2}}.$$

**პასუხი:** $\frac{v}{\sqrt{2}}$.

**ამოცანა 10***

ელექტრონმა უძრაობის მდგომარეობიდან 250 ვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში, ველის მოქმედებით 18,2 სმ გაიარა. ელექტრონზე მოქმედ სიმძიმის ძალას ნუ გაითვალისწინებთ და უპასუხეთ კითხვებს:

ა) რა მუშაობა შეასრულა ამ დროს ველმა?

ბ) რა სიჩქარე შეიძინა ელექტრონმა?

გ) რა დროში გაიარა ელექტრონმა ეს მანძილი?

**ამოხსნა:**

ელექტრონის მუხტის მოდულია

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ კ,

ხოლო მისი მასაა

$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ კგ.

გავლილი მანძილია

$$d = 18.2 \text{ სმ} = 0.182 \text{ მ}.$$

ა) ელექტრონი ველის მოქმედებით მოძრაობს, ამიტომ ველის მუშაობა დადებითია. მისი მოდულია

$$A = eEd.$$

$$A = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 250 \cdot 0.182 = 7.28 \cdot 10^{-18} \text{ ჯ}.$$

ანუ

$A = 728 \cdot 10^{-20}$ ჯ.

ბ) რადგან ელექტრონი უძრაობიდან იწყებს მოძრაობას,

$$A = \Delta E_k = \frac{m_e v^2}{2}.$$

აქედან:

$$v = \sqrt{\frac{2A}{m_e}}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით:

$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.28 \cdot 10^{-18}}{9.109 \cdot 10^{-31}}} \approx 4.0 \cdot 10^6$ მ/წმ.

ამრიგად, ელექტრონის სიჩქარეა $4 \cdot 10^6$ მ/წმ.

გ) მოძრაობა თანაბარაჩქარებულია და საწყისი სიჩქარე ნულია. ამიტომ საშუალო სიჩქარეა

$$v_{საშ} = \frac{0 + v}{2} = \frac{v}{2}.$$

დრო:

$$t = \frac{d}{v_{საშ}} = \frac{2d}{v}.$$

$$t = \frac{2 \cdot 0.182}{4 \cdot 10^6} = 9.1 \cdot 10^{-8} \text{ წმ}.$$

ეს არის 91 ნწმ.

**პასუხი:** ა) $728 \cdot 10^{-20}$ ჯ; ბ) $4 \cdot 10^6$ მ/წმ; გ) 91 ნწმ.

## პარაგრაფი №1.8 — ელექტრული დენი. დენის წყარო. ელექტრული წრედი

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | პირველი გაკვეთილი — პრაქტიკული სამუშაო | ელექტრული წრედის აწყობა და სქემატური გამოსახვა | მოსწავლე შეძლებს მარტივი ელექტრული წრედის აწყობას, მისი ძირითადი კომპონენტების ფუნქციის გააზრებას, გახსნილი და ჩაკეტილი წრედის განსხვავებას და აწყობილი წრედის შესაბამისი სქემის შედგენას. | ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი. ინდიკატორები: ნივთიერების აგებულების დახასიათება მისი ელექტრული გამტარებლობის შესასწავლად; გამტარებში არსებული თავისუფალი მუხტების მოძრაობის დახასიათება გამტარის ელექტრულ ველში მოთავსებამდე და მოთავსების შემდეგ, მასში დენის წარმოქმნის მექანიზმის გასაანალიზებლად. |
| 2 | პირველი გაკვეთილი — ექსპერიმენტი და განმტკიცება | ელექტრული დენის მოქმედებები — მაგნიტური მოქმედების ექსპერიმენტი და კითხვა–პასუხი | მოსწავლე შეძლებს ექსპერიმენტით დენის მაგნიტური მოქმედების გამოვლენას, სითბური და ქიმიური მოქმედებების სიტყვიერად ახსნას და დენის მოქმედებების ყოველდღიურ მაგალითებთან დაკავშირებას. | ფიზიკური პროცესი; ენერგია. ინდიკატორები: თავისუფალ მუხტებზე მოქმედ ელექტრულ ძალასა და გამტარებში დენის წარმოქმნას შორის მიზეზშედეგობრივი კავშირის დადგენა; გამტარებში არსებული თავისუფალი მუხტების მოძრაობის დახასიათება დენის წარმოქმნის მექანიზმის გასაანალიზებლად. |

**სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:**

- განმარტავს ელექტრულ დენს, როგორც დამუხტული ნაწილაკების მიმართულებით მოძრაობას და ასახელებს დენის არსებობის ძირითად პირობებს.
- ასახელებს ელექტრული წრედის ძირითად კომპონენტებს და ხსნის დენის წყაროს, მომხმარებლის, ჩამრთველისა და შემაერთებელი სადენების დანიშნულებას.
- აწყობს რამდენიმე მარტივ ელექტრულ წრედს დაბალძაბვიანი სასწავლო კომპონენტებით და პრაქტიკულად ასხვავებს.

- პირობითი ნიშნების გამოყენებით ადგენს რეალურად აწყობილი ელექტრული წრედის სქემატურ ნახაზს და პირიქით, მოცემული სქემის მიხედვით აწყობს წრედს.
- ექსპერიმენტულად ავლენს ელექტრული დენის მაგნიტურ მოქმედებას და მაგალითებით ხსნის დენის სითბურ და ქიმიურ მოქმედებებს.

**სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები**

- ნივთიერების აგებულების დახასიათება მისი ელექტრული გამტარებლობის შესასწავლად;
- თავისუფალ მუხტებზე მოქმედ ელექტრულ ძალასა და გამტარებში დენის წარმოქმნას შორის მიზეზშედეგობრივი კავშირის დადგენა პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების გადასაჭრელად;
- გამტარებში არსებული თავისუფალი მუხტების მოძრაობის დახასიათება გამტარის ელექტრულ ველში მოთავსებამდე და მოთავსების შემდეგ, მასში დენის წარმოქმნის მექანიზმის გასაანალიზებლად.

**წარმატების კრიტერიუმები**

- მოსწავლე სწორად აერთებს დენის წყაროს, ჩამრთველს, მომხმარებელსა და სადენებს ისე, რომ ჩაკეტილ წრედში ჩართული მომხმარებელი ამოქმედდეს.
- წრედის გახსნისა და ჩაკეტვის მაგალითზე აანალიზებს მომხმარებლის ფუნქციონირებას ჩაკეტილ წრედთან მიმართებით და განმარტავს დენის წყაროს დანიშნულებას.
- აწყობილი წრედისთვის ადგენს სქემას და იყენებს მოსწავლის წიგნში მოცემულ შესაბამის პირობით ნიშნებს.
- დენის მაგნიტური მოქმედების ექსპერიმენტში დაკვირვების შედეგებს უკავშირებს დენის არსებობას და აყალიბებს დასაბუთებულ დასკვნას.
- სითბურ, მაგნიტურ და ქიმიურ მოქმედებებს არჩევს მაგალითების მიხედვით და ასახელებს მათ სასარგებლო ან არასასურველ გამოვლინებებს.

**აქტივობა 1. ელექტრული წრედის აწყობა და სქემატური გამოსახვა**

| **აქტივობის კომპონენტი** | **აღწერა** |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლე შეძლებს სხვადასხვა მარტივი ელექტრული წრედის პრაქტიკულად აწყობას, წრედის კომპონენტების ფუნქციის გააზრებას, გახსნილი/ჩაკეტილი წრედის განსხვავებას და რეალური წრედის შესაბამისი სქემატური ნახაზის შედგენას. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **განვითარებადი უნარები** | პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **აქტივობის განხორციელება — შესავალი** | მასწავლებელი აჩვენებს დენის წყაროს, ნათურას, ჩამრთველს, ელექტროზარს/ბაზერს, შემაერთებელ სადენებს და, შესაძლებლობის შემთხვევაში, მეორე დაბალძაბვიან მომხმარებელს. მოსწავლეები მოკლედ აკვირდებიან თითოეულ კომპონენტს. მასწავლებელი განმარტავს, რომ ელექტრული წრედი არის სადენებით (გამტარებით) დაკავშირებული კომპონენტების სისტემა, სადაც შეკრული კონტური დენის გავლის საშუალებას იძლევა. დენის წყარო წრედში ქმნის და ინარჩუნებს იმ პირობებს, რომლებიც თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების მიმართულებით მოძრაობას უზრუნველყოფს. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — შესავლისას** | • რას ვუწოდებთ ელექტრულ დენს?<br>• რომელი კომპონენტები გვჭირდება მარტივი ელექტრული წრედის შესაქმნელად?<br>• რა ფუნქცია აქვს დენის წყაროს?<br>• რას აკეთებს ჩამრთველი? |
| **პრაქტიკული სამუშაო — წრედების აწყობა** | მოსწავლეები მუშაობენ მცირე ჯგუფებში. თითოეულ ჯგუფს ეძლევა დაბალძაბვიანი დენის წყარო, ჩამრთველი, სადენები და სხვადასხვა მომხმარებელი. დავალებების ბარათებით ისინი აწყობენ რამდენიმე წრედს, მაგალითად: (ა) წყარო–ჩამრთველი–ნათურა; (ბ) წყარო–ჩამრთველი–ელექტროზარი/ბაზერი; (გ) წყარო–ჩამრთველი–ორი დაბალძაბვიანი მომხმარებელი ერთ შეკრულ კონტურში. ყოველი აწყობისას ჯერ წრედი რჩება გახსნილი, შემდეგ ჩამრთველით იკეტება და მოსწავლეები აკვირდებიან მომხმარებლის მოქმედებას. საჭიროების შემთხვევაში მასწავლებელი სთხოვს ჯგუფს შეცვალოს მხოლოდ ერთი კომპონენტი და შეადაროს შედეგი. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — აწყობისას** | • რა თანმიმდევრობით შეაერთეთ კომპონენტები?<br>• როგორ შეამოწმეთ, რომ წრედი ჩაკეტილია?<br>• თუ ნათურა/ზარი არ ამოქმედდა, რომელი კავშირები უნდა გადაამოწმოთ პირველ რიგში?<br>• როგორ შეცვლით წრედს ისე, რომ ჩაკეტილი კონტური შეგნებულად გაწყვიტოთ და კვლავ აღადგინოთ? |
| **სქემატური გამოსახვა** | წრედების აწყობის შემდეგ მოსწავლეები მიმართავენ მოსწავლის წიგნში მოცემულ პირობით ნიშნებს (გალვანური ელემენტი/ბატარეა, ჩამრთველი, გამტარი, ნათურა, ელექტროზარი და სხვ.). თითოეული ჯგუფი თავისი აწყობილი წრედიდან ადგენს მინიმუმ ორ სქემატურ ნახაზს. შემდეგ ჯგუფები ცვლიან ერთ სქემას და ცდილობენ პარტნიორი ჯგუფის ნახაზის მიხედვით წრედის აღდგენას. მასწავლებელი ხაზს უსვამს, რომ სქემა ასახავს ელექტრულ კავშირებს და არა კომპონენტების რეალურ სივრცულ განლაგებას. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სქემაზე მუშაობისას** | • რატომ არის სასარგებლო რეალური მოწყობილობის ნაცვლად ელექტრული სქემის გამოყენება?<br>• რა მოხდება, თუ წრედში ერთი სადენი გაწყდება? რატომ?<br>• შესაძლებელია თუ არა ერთი და იგივე სქემის შესაბამისი კომპონენტები მაგიდაზე სხვადასხვაგვარად იყოს განლაგებული? ახსენით.<br>• როგორ დაგეხმარებათ სქემა უცნობი წრედის აწყობის ან გაუმართაობის ძებნისას? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | ამოწმებს კავშირების უსაფრთხოებას წრედის ჩაკეტვამდე; სვამს დამაზუსტებელ კითხვებს; მოსწავლეს არ აძლევს მზა შეერთების სქემას იქ, სადაც მას შეუძლია თავად აღმოაჩინოს შეცდომა; მიმართავს ჯგუფებს რეალური აწყობისა და სქემატური ნახაზის ერთმანეთთან შედარებისკენ. |
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი დენის წყაროები/ბატარეის ბლოკები; ნათურები და ბუდეები; ჩამრთველები; შემაერთებელი სადენები; ელექტროზარი ან ბაზერი; სურვილისამებრ მცირე დაბალძაბვიანი ძრავა/მეორე მომხმარებელი; დავალების ბარათები; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.8.1–1.8.2 და წრედის კომპონენტების პირობითი ნიშნების ცხრილი; ფურცელი/რვეული სქემებისთვის. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენება მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო. ქსელის ძაბვასთან მუშაობა დაუშვებელია.<br><br>წრედის ჩაკეტვამდე შეერთებებს ამოწმებს მასწავლებელი ან ჯგუფი შეთანხმებული საკონტროლო სიის (საკონტროლო სია, წინასწარ შემუშავებული პუნქტების, კრიტერიუმების ან ნაბიჯების ჩამონათვალი, რომლის მიხედვითაც თანმიმდევრულად მოწმდება ამა თუ იმ დავალების, პროცესისა თუ ექსპერიმენტის სისწორე და უსაფრთხოება) მიხედვით. დაუშვებელია დენის წყაროს პოლუსების პირდაპირი შეერთება (მოკლე ჩართვა). სამუშაოს დასრულების შემდეგ წრედი ითიშება. |
| **შეფასება** | მასწავლებელი აკვირდება, შეუძლია თუ არა მოსწავლეს დამოუკიდებლად/ჯგუფთან ერთად წრედის სწორად აწყობა, გახსნილი და ჩაკეტილი მდგომარეობების განსხვავება, კომპონენტების ფუნქციის ახსნა და აწყობილი წრედის შესაბამისი სქემის შედგენა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებისთვის გამოიყენება ილუსტრირებული ნაბიჯების ბარათები და ნაწილობრივ შევსებული სქემა, რომელშიც მხოლოდ ერთი ან ორი სიმბოლოა დასამატებელი. შესაძლებელია თანატოლის მხარდაჭერაც. მაღალი მზაობის მოსწავლეებს ეძლევათ უცნობი სქემა, რომლის მიხედვითაც თავად უნდა შეარჩიონ კომპონენტები და ააწყონ წრედი. |
| **შუალედური დასკვნა** | ელექტრული წრედი არის ერთმანეთთან დაკავშირებული კომპონენტების სისტემა. დენი გაივლის მაშინ, როცა არსებობს დენის წყარო და წრედი ჩაკეტილია. ელექტრული სქემა პირობითი ნიშნებით გვიჩვენებს კომპონენტებს შორის ელექტრულ კავშირებს. |

### აქტივობა 2. ელექტრული დენის მოქმედებები — მაგნიტური მოქმედების ექსპერიმენტი და კითხვა–პასუხი

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლე შეძლებს ექსპერიმენტით ელექტრული დენის მაგნიტური მოქმედების გამოვლენას, სითბური და ქიმიური მოქმედებების სიტყვიერად ახსნას და დენის მოქმედებების ყოველდღიურ/ტექნოლოგიურ მაგალითებთან დაკავშირებას. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; მიმართულებითი კითხვა–პასუხი. |
| **განვითარებადი უნარები** | კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **საკვლევი კითხვა** | როგორ შეიძლება დავადგინოთ დაკვირვებით, რომ ელექტრულ დენს გამტარის გარშემო მაგნიტური მოქმედება ახლავს? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ექსპერიმენტი — დენის მაგნიტური მოქმედება** | მასწავლებელი წინასწარ ამზადებს ელექტრომაგნიტს — რკინის ლურსმანზე დახვეულ იზოლირებულ მავთულს-კოჭას. კოჭას ბოლოები ჩამრთველის გავლით მიერთდება დაბალი ძაბვის კვების წყაროსთან. ლურსმნის სიახლოვეს თავსდება რამდენიმე რკინის საკანცელარიო სამაგრი.<br>სანამ წრედი ღიაა, მოსწავლეები აკვირდებიან და აღწერენ საწყის მდგომარეობას. წრედის შეკვრისას (ჩაკეტვისას) ლურსმანი იზიდავს სამაგრებს, ხოლო წრედის გახსნისას (განრთვისას) მიზიდულობა ქრება (ან მკვეთრად მცირდება). |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტამდე/დაკვირვებისას** | • რომელი კომპონენტებისგან შედგება ექსპერიმენტული წრედი?<br>• რას ვაკვირდებით მაშინ, როცა წრედი ღიაა?<br>• რა იცვლება წრედის შეკვრისას?<br>• დენის რომელი მოქმედება ვლინდება ამ ცდაში? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის შემდეგ** | • რა იყო ექსპერიმენტში ის ცვლილება, რომლის შემდეგაც ლურსმანმა სამაგრები მიიზიდა?<br>• როგორ დავრწმუნდით, რომ ეფექტი დენის გავლასთან იყო დაკავშირებული?<br>• რატომ არის მნიშვნელოვანი ერთსა და იმავე სისტემაზე დაკვირვება წრედის გახსნილ და ჩაკეტილ მდგომარეობებში? |
| **სიტყვიერი ახსნა — დენის სითბური მოქმედება** | მასწავლებელი მოსწავლის წიგნის მაგალითებზე დაყრდნობით მოკლედ ხსნის: დენის გავლისას გამტარი შეიძლება გათბეს — ეს არის დენის სითბური მოქმედება. სითბური მოქმედება სასარგებლოდ გამოიყენება ელექტროჩაიდანში, უთოში, ელექტროგამათბობელში და სხვა გამაცხელებელ მოწყობილობებში; არასასურველი გადახურება კი შეიძლება მიუთითებდეს გაუმართაობაზე ან სახიფათო რეჟიმზე. |
| **სიტყვიერი ახსნა — დენის ქიმიური მოქმედება** | მასწავლებელი ხსნის, რომ ზოგიერთ გამტარ სითხეში დენის გავლას შეუძლია ნივთიერებათა ქიმიური გარდაქმნების გამოწვევა. მოსწავლის წიგნში მოცემულ მაგალითთან კავშირში განიხილება ელექტროლიზის იდეა: ელექტრული დენის მოქმედებით ხსნარში მიმდინარე პროცესის შედეგად ელექტროდებზე შეიძლება ნივთიერება გამოიყოს/დაილექოს. აქ ყურადღება კეთდება მოვლენის არსზე და არა რაოდენობრივ კანონებზე. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის განმტკიცება** | • ელექტროჩაიდანში დენის რომელი მოქმედებაა მიზანმიმართულად გამოყენებული?<br>• ელექტრომაგნიტში (დენიან კოჭაში) დენის რომელი მოქმედებაა გადამწყვეტი?<br>• რატომ შეიძლება დაზიანებული ან ცუდად შეერთებული სადენის გადახურება იყოს არასასურველი და სახიფათო?<br>• სად შეიძლება იყოს სასარგებლო დენის ქიმიური მოქმედება?<br>• აღწერეთ, როგორ შეიცვლება ელექტრომაგნიტის მაგნიტური მოქმედება წრედის მანრთვის შემდეგ და დაასაბუთეთ თქვენი პასუხი.<br>• როგორ დააკავშირებთ წრედის ჩაკეტილ მდგომარეობას დენის სხვადასხვა მოქმედების გამოვლენასთან? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | ასწორებს მხოლოდ აუცილებელ ცნებით შეცდომებს, მოსწავლეებს სთხოვს ექსპერიმენტის სიტყვიერ აღწერას და მტკიცებულებაზე დაფუძნებულ დასკვნას. სითბური და ქიმიური მოქმედებების ახსნისას იყენებს მოსწავლის წიგნის ილუსტრაციებს/მაგალითებს და შესაბამის კითხვებს. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი დენის წყარო; ჩამრთველი; იზოლირებული სპილენძის მავთული; რკინის ლურსმანი ან რბილი რკინის გულარი; რკინის სამაგრები; სურვილისამებრ კომპასი; მოსწავლის წიგნის დენის მოქმედებების ილუსტრაციები (მათ შორის სურ. 1.8.4–1.8.5). |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენება მხოლოდ დაბალძაბვიანი წყარო. კოჭა ერთდება მხოლოდ ხანმოკლე პერიოდით; დაუშვებელია მოკლე ჩართვა. მავთულის იზოლაცია წინასწარ მოწმდება. თუ გამტარი შესამჩნევად გახურდა, დაუყოვნებლივ გახსენით წრედი და ხელის შეხებამდე აცადეთ გაგრილება. |
| **შეფასება** | კითხვა–პასუხისას ფასდება, შეუძლია თუ არა მოსწავლეს დაკვირვებიდან დასკვნის გამოტანა, დენის სამივე მოქმედების ერთმანეთისგან გარჩევა და შესაბამისი ყოველდღიური მაგალითის დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ სამი ვიზუალური მინიშნება — „გათბობა“, „მიზიდვა/მაგნიტური ეფექტი“, „ნივთიერების ცვლილება“ — და წინადადების დასაწყისები: „დენის ... მოქმედება ვლინდება, როცა...“. შესაძლებელია პასუხის ზეპირად წარმოდგენა. მაღალი მზაობის მოსწავლეებს სთხოვენ ერთ მოწყობილობაში სასარგებლო და არასასურველი ეფექტების ერთდროულად განხილვას. |
| **სასურველი დასკვნა** | წრედში ელექტრული დენის გავლას შეიძლება ახლდეს სითბური, მაგნიტური და ქიმიური მოქმედებები. კონკრეტულ მოწყობილობაში ამ მოქმედებებიდან ერთი შეიძლება იყოს მიზანმიმართულად გამოყენებული, ხოლო სხვა — თანმხლები ან არასასურველი. დენის მოქმედება ვლინდება მაშინ, როცა შესაბამის წრედში დენი რეალურად გადის. |

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „იპოვე შეცდომა“

- „თუ დენის წყარო წრედშია, ნათურა აუცილებლად აინთება, მიუხედავად იმისა, წრედი გახსნილია თუ ჩაკეტილი.“
- „ელექტრული სქემა გვიჩვენებს კომპონენტებს შორის ელექტრულ კავშირებს და აუცილებელი არ არის მათი რეალური სივრცული განლაგების ზუსტად გამეორება.“
- „დენიანი კოჭის რკინის გულარმა შეიძლება გამოავლინოს მაგნიტური მოქმედება.“
- „დენის სითბური მოქმედება ყოველთვის სასარგებლოა და არასოდეს ქმნის საფრთხეს.“
- „ზოგიერთ გამტარ სითხეში დენის გავლას შეიძლება ქიმიური გარდაქმნები ახლდეს.“

**ინსტრუქცია:** მოსწავლე ასახელებს მცდარ დებულებებს, ასწორებს მათ და ერთი წინადადებით ასაბუთებს შესწორებას. შეფასებისას ყურადღება ექცევა წრედის მთლიანობის, სქემის დანიშნულებისა და დენის მოქმედებების სწორ გააზრებას.

### მასწავლებლის ინსტრუქცია

- საშინაო დავალების შემოწმებისას პირველ რიგში შეფასდეს სქემის ელექტრული ლოგიკა და პირობითი ნიშნების გამოყენება და არა ნახაზის მხატვრული სიზუსტე.
- თუ მოსწავლე სქემაში შეცდომას უშვებს, მასწავლებელმა სთხოვოს რეალური წრედის შესაძლო მუშაობის სიტყვიერად აღწერა და ამ გზით მიიყვანოს შეცდომის აღმოჩენამდე.

- შემდეგ გაკვეთილზე შესაძლებელია რამდენიმე განსხვავებული სქემის სწრაფი შედარება, რათა მოსწავლეებმა კიდევ ერთხელ დააკავშირონ ფიზიკური აწყობა და სქემატური წარმოდგენა.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **მიუხედავად იმისა, რომ ლითონის სხეულში უამრავი თავისუფალი ელექტრონია, მისი თანაბარი გადაადგილებით ელექტრული დენი არ მიიღება. რატომ?**
   ელექტრული დენი არის დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობა. ამიტომ მხოლოდ თავისუფალი ელექტრონების არსებობა საკმარისი არ არის — ისინი გარკვეული მიმართულებით უნდა გადაადგილდებოდნენ. ამისათვის გამტარში საჭიროა ელექტრული ველის არსებობა, ანუ მის ბოლოებს შორის ძაბვა.
2. **რა იგულისხმება გამოთქმაში: „შიგა წრედი“?**
   შიგა წრედი არის დენის წყარო და ყველაფერი, რაც დენის წყაროშია მოთავსებული.
3. **რა კომპონენტებისგან შედგება გარე წრედი?**
   გარე წრედი შედგება შემაერთებელი სადენებისგან, მომხმარებლისგან და ჩამრთველისგან (ამომრთველისგან).
4. **ელექტროზარის დარეკვისას, რა ფუნქცია აქვს ღილაკს?**
   ღილაკი წრედის შეკვრასა და გაწყვეტას უზრუნველყოფს. ღილაკზე დაჭერისას წრედი იკვრება და დენი გადის, ხოლო გაშვებისას წრედი წყდება და დენი შეწყდება.
5. **რაში გამოიხატება დენის სითბური მოქმედება? რომელ ხელსაწყოებში გამოიყენება ის?**
   დენის სითბური მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ გამტარში დენის გავლისას გამტარი თბება. ამ მოქმედებაზეა დამყარებული, მაგალითად, ელექტროჩაიდნის, ტოსტერისა და ელექტროქურის მუშაობა.
6. **რაში გამოიხატება დენის ქიმიური მოქმედება? ხომ არ იცით, რა გამოყენება აქვს მას?**
   დენის ქიმიური მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ მჟავების, მარილებისა და ტუტეების ხსნარებში დენის გატარებისას ელექტროდებზე მიმდინარეობს ქიმიური რეაქციები და გამოიყოფა ხსნარში შემავალი ნივთიერებები. მაგალითად, შაბიამნის ხსნარში უარყოფითად დამუხტულ ელექტროდზე გამოიყოფა სუფთა სპილენძი.
7. **რაში გამოიხატება დენის მაგნიტური მოქმედება? რომელ ხელსაწყოებში გამოიყენება ის?**
   დენის მაგნიტური მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ დენიანი გამტარი მაგნიტურ თვისებებს იძენს. მაგალითად, ლურსმანზე დახვეულ მავთულში დენის გატარებისას ლურსმანი რკინის საგნებს იზიდავს. ამ მოქმედებაზეა დამყარებული ელექტროძრავებისა და ელექტროგამზომი ხელსაწყოების მუშაობა.

## პარაგრაფი №1.9 — დენის ძალა და მისი ერთეული

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | დენის ძალა — ფიზიკური აზრი, ფორმულა, ერთეული და მიმართულება | მოსწავლე შეძლებს განმარტოს დენის ძალა, როგორც გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გამავალი ელექტრული მუხტის მახასიათებელი სიდიდე, გამოიყენოს $I = q/t$ დამოკიდებულება, დაასახელოს დენის ძალის ერთეული (ამპერი) და ახსნას დენის შეთანხმებული (პირობითი) მიმართულება. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული დენის რაოდენობრივი და თვისებრივი დახასიათება; ფიზიკური პროცესის მახასიათებელი სიდიდეების ფიზიკური აზრის გააზრება. |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 2 | პრაქტიკული გაზომვა და სქემური მოდელირება | ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი — ჩართვის წესები და პრაქტიკული გაზომვა | მოსწავლე შეძლებს ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის დანიშნულების გამიჯვნას, მათი პირობითი ნიშნების ამოცნობას, ელექტრულ წრედში ხელსაწყოების სწორად (პოლარობის დაცვით) ჩართვას და შესაბამისი სიდიდეების გაზომვას. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესის მახასიათებელი სიდიდეების გაზომვა და შედეგების გაანალიზება; სადემონსტრაციო/საკლასო ექსპერიმენტული სამუშაოს ორგანიზება და მიღებული შედეგის შეფასება. |
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, ტრანსფერი და შეფასება | კითხვა–პასუხი — დენის ძალა, ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი | მოსწავლე შეძლებს ძირითადი ცნებებისა და საზომი ხელსაწყოების გამოყენების წესების ინტეგრირებასა და განზოგადებას, განსხვავებულ სქემებში სწორი შეერთების ამოცნობას, ტიპური შეცდომების ახსნას და ცოდნის ახალ სიტუაციაში გამოყენებას. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესის მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნა და მიღებული ცოდნის სიტუაციურ კონტექსტში გამოყენება. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს დენის ძალა როგორც ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ახასიათებს გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გამავალი მუხტის რაოდენობას;
- გამოიყენოს დენის ძალის გამოსათვლელი დამოკიდებულება I = q/t და ახსნას მასში შემავალი სიდიდეების ფიზიკური მნიშვნელობა;
- დაასახელოს დენის ძალის SI ერთეული — ამპერი — და დააკავშიროს 1 ა ერთ წამში 1 კ მუხტის გადატანასთან;
- ახსნას ელექტრული დენის პირობითი მიმართულება და ლითონში ელექტრონების მოძრაობის მიმართულებასთან მისი მიმართება;
- ამოიცნოს ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი, მათი პირობითი ნიშნები და განმარტოს თითოეული ხელსაწყოს დანიშნულება;
- პრაქტიკულად ჩართოს ამპერმეტრი წრედში მიმდევრობით, ხოლო ვოლტმეტრი — გასაზომ უბანთან პარალელურად, პოლარობის დაცვით;
- წაიკითხოს საზომი ხელსაწყოს ჩვენება და კითხვებით/სქემებით დაასაბუთოს, რატომ არის თითოეული ხელსაწყოს ჩართვის წესი განსხვავებული.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების (მაგალითად: ელექტომაგნიტური; თერმოდინამიკური; მექანიკური) თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად განმარტავს დენის ძალის ფიზიკურ არსს (შინაარსს) და იყენებს I = q/t დამოკიდებულებას; ასახელებს დენის ძალის ერთეულს (ამპერს) და ხსნის დენის პირობით მიმართულებას; ამოიცნობს ამპერმეტრს, ვოლტმეტრსა და მათ პირობით ნიშნებს (აღნიშვნებს სქემაზე). ამპერმეტრს სწორად რთავს წრედში მიმდევრობით, ვოლტმეტრს — გასაზომ უბანთან პარალელურად და იცავს პოლარობას; საზომი ხელსაწყოს ჩვენებას სწორად კითხულობს; კითხვა–პასუხისას ასაბუთებს, რატომ არის კონკრეტული შეერთება სწორი ან მცდარი.

**აქტივობა 1. დენის ძალა — ფიზიკური აზრი, ფორმულა, ერთეული და მიმართულება**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა გაიაზრონ დენის ძალის ფიზიკური შინაარსი, მისი გამოსათვლელი ფორმულა და ერთეული, ასევე ელექტრული დენის პირობითი (შეთანხმებული) მიმართულება. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რომელი ფიზიკური სიდიდით შეგვიძლია რაოდენობრივად დავახასიათოთ გამტარში მუხტის გადატანის სისწრაფე? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი განმარტებას აწყობს მოსწავლის წიგნის 1.9.1 ქვეთავისა და სურ. 1.9.1-ის საფუძველზე. ჯერ განიხილება, რომ სხვადასხვა წრედში დროის ერთსა და იმავე შუალედში გამტარის განივკვეთში შეიძლება განსხვავებულმა მუხტმა გაიაროს. ამ განსხვავების რაოდენობრივი დახასიათებისთვის შემოდის ფიზიკური სიდიდე - დენის ძალა. ფორმულის შემდეგ მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ თითოეული სიდიდის მნიშვნელობას. შემდეგ განიხილება დენის პირობითი (შეთანხმებული) მიმართულება: დენის მიმართულებად მიღებულია დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულება; ლითონებში იგი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საპირისპიროა. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — დენის ძალა და ფორმულა** | დენის ძალა გვიჩვენებს, რა ელექტრული მუხტი გადის გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში. თუ t დროში განივკვეთში q მუხტი გადის, დენის ძალა განისაზღვრება დამოკიდებულებით: $$I = \frac{q}{t}$$ ფორმულიდან ჩანს, რომ ერთი და იმავე დროის შუალედში უფრო დიდი მუხტის გავლისას დენის ძალა უფრო დიდია; ერთი და იმავე მუხტის უფრო მოკლე დროში გავლისას, დენის ძალა ასევე უფრო დიდია. განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფიზიკური დამოკიდებულების გააზრება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — დენის ძალის ერთეული** | SI სისტემაში დენის ძალის ერთეულია ამპერი (ა), ფრანგი ფიზიკოსის ანდრე-მარი ამპერის სახელის მიხედვით. 1 ამპერი არის ისეთი დენის ძალა, რომლის დროსაც გამტარის განივკვეთში 1 წამში 1 კულონი მუხტი გადის: $$1\ \text{ა} = \frac{1\ \text{კ}}{1\ \text{წმ}}$$ საჭიროების შემთხვევაში გაიხსენეთ მცირე ერთეულებიც: 1 მა = 0.001 ა; 1 მკა = 0.000001 ა. განვითარებადი უნარები: მონაცემების გაანალიზება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — დენის მიმართულება** | მასწავლებელი სურ. 1.9.1-ზე ამახვილებს ყურადღებას დენის მიმართულების ისარზე. შეთანხმებით, დენის მიმართულებად დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულება მიიჩნევა. ლითონში მუხტის გადამტანები ელექტრონებია, ამიტომ მათი მიმართული მოძრაობა დენის პირობითი მიმართულების საპირისპიროა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცნების შემოტანის შემდეგ** | • რას გვიჩვენებს დენის ძალა?<br>• რომელი ასოთი აღინიშნება დენის ძალა?<br>• რა სიდიდეები შედის I = q/t ფორმულაში?<br>• რა არის დენის ძალის SI ერთეული?<br>• რომელი მიმართულება ითვლება შეთანხმებით ელექტრული დენის მიმართულებად?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის გააზრებისას** | • როგორ ვიპოვით დენის ძალას, თუ ვიცით განივკვეთში გასული მუხტი და დრო?<br>• როგორ ვიპოვით მუხტს, თუ მოცემულია დენის ძალა და დრო?<br>• რა ნაბიჯებით გადაიყვანთ მილიამპერებს ამპერებში?<br>• როგორ განსაზღვრავთ დენის მიმართულებას სქემაზე დენის წყაროს პოლუსების მიხედვით?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • თუ ერთსა და იმავე დროში გამტარის განივკვეთში ორჯერ მეტი მუხტი გავიდა, როგორ შეიცვლება დენის ძალა?<br>• თუ ერთი და იგივე მუხტი ორჯერ ნაკლებ დროში გავიდა, როგორ შეიცვლება დენის ძალა?<br>• რატომ არ ემთხვევა ლითონში ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება დენის მიმართულებას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ფორმულას არ წარმოადგენს მხოლოდ დასამახსოვრებელ ჩანაწერად. კითხვებით ეხმარება მოსწავლეებს იმის გააზრებაში, რომ დენის ძალა დაკავშირებულია დროის ერთეულში გადატანილ მუხტთან, ხოლო მიმართულების განხილვისას მკაფიოდ მიჯნავს შეთანხმებულ დენის მიმართულებას და ლითონში ელექტრონების მოძრაობის მიმართულებას. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.9.1; დაფა ან პროექტორი; ელექტრული წრედის მარტივი სქემა; მოკლე სამუშაო ფურცელი „სიდიდე — აღნიშვნა — ერთეული — ფიზიკური აზრი“. |
| **შეფასება** | „ფორმულა → ფიზიკური აზრი“ — მოსწავლე ერთ წინადადებაში განმარტავს I = q/t დამოკიდებულებას და ასახელებს, როგორ შეიცვლება დენის ძალა q-ის ან t-ის ცვლილებისას. კრიტერიუმები: სიდიდეების სწორად დასახელება; პროპორციულობის სწორად გააზრება; ერთეულის მითითება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ცხრილი „I — ?; q — ?; t — ?“ და ფორმულის გამოყენების ერთსაფეხურიანი მაგალითი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები თავად ავსებენ ცხრილს. მაღალი მზაობის მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ I = q/t დამოკიდებულებას და ანალიტიკურად მსჯელობენ დენის ძალის ცვლილებაზე q და t პარამეტრების სხვადასხვაგვარი ცვლილების შემთხვევაში. |

**შუალედური დასკვნა**

დენის ძალა რაოდენობრივად ახასიათებს ელექტრული მუხტის მიმართულ მოძრაობას და გვიჩვენებს, რა მუხტი გადის გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში. იგი განისაზღვრება I = q/t დამოკიდებულებით და SI სისტემაში იზომება ამპერებში. დენის პირობითი (შეთანხმებული) მიმართულება დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულებაა.

**აქტივობა 2. ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი — ჩართვის წესები და პრაქტიკული გაზომვა**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრაქტიკული მუშაობის საშუალებით მოსწავლეებმა გაიაზრონ ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის დანიშნულება, პირობითი ნიშნები, ელექტრულ წრედში ჩართვის განსხვავებული წესები და პოლარობის დაცვის მნიშვნელობა. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ ჩავრთოთ ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი ისე, რომ სწორად გავზომოთ შესაბამისი ფიზიკური სიდიდე? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლის წიგნის სურ. 1.9.4–1.9.6 და 1.9.10–1.9.12-ის მიხედვით ჯერ ამოაცნობინებს მოსწავლეებს ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრს და მათ პირობით ნიშნებს. შემდეგ ჯგუფები აწყობენ დაბალძაბვიან წრედს დენის წყაროთი, ნათურითა და ჩამრთველით. პრაქტიკული სამუშაო ორ ეტაპად ტარდება: ჯერ დენის ძალის გაზომვა ამპერმეტრით, შემდეგ — ნათურის ბოლოებს შორის ძაბვის გაზომვა ვოლტმეტრით. მასწავლებელი მუშაობის დაწყებამდე უსვამს ხაზს პოლარობასა და გაზომვის დიაპაზონის სწორ არჩევანს.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება. |
| **მოკლე კონცეპტუალური ჩართვა — ძაბვა და ვოლტმეტრი** | ვოლტმეტრის გამოყენებამდე მასწავლებელი მოკლედ ეყრდნობა 1.9.3–1.9.4 ქვეთავებს: ელექტრულ წრედში დენის გავლისას ელექტრული ველი ასრულებს მუშაობას, ხოლო ძაბვა გვიჩვენებს, რა მუშაობა სრულდება ერთეული მუხტის გადატანისას:<br>$$U = \frac{A}{q}$$<br>$$1_{3} = \frac{1_{\chi}}{1_{3}}$$<br>ძაბვა იზომება ვოლტებში, ხოლო მის გასაზომად გამოიყენება ვოლტმეტრი.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **პრაქტიკული სამუშაო 1 — ამპერმეტრის ჩართვა** | • ააწყვეთ მარტივი წრედი: დენის წყარო — ჩამრთველი — ნათურა — შემაერთებელი სადენები.<br>• წრედის ერთ მონაკვეთში კავშირი გახსენით და ამპერმეტრი ჩართეთ ამ ადგილას ისე, რომ მთელი გასაზომი დენი ამპერმეტრში გადიოდეს— ანუ ამპერმეტრი ჩაირთვება მიმდევრობით.<br>• დაიცავით პოლარობა: ამპერმეტრის „+“ მომჭერი დაუკავშირეთ დენის წყაროს დადებითი პოლუსისკენ მიმართულ მხარეს, „-“ — უარყოფითი პოლუსისკენ.<br>• თუ მოსალოდნელი დენის მნიშვნელობა წინასწარ უცნობია და ხელსაწყოს რამდენიმე დიაპაზონი აქვს, გაზომვა დაიწყეთ უფრო დიდი დიაპაზონით და შემდეგ, საჭიროების შემთხვევაში, გადადით უფრო მცირე დიაპაზონზე.<br>• ჩაკეტეთ წრედი, წაიკითხეთ ამპერმეტრის ჩვენება და ჩაწერეთ შედეგი შესაბამის ერთეულში.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება. |
| **პრაქტიკული სამუშაო 2 — ვოლტმეტრის ჩართვა** | • იმავე წრედში ვოლტმეტრი ჩართეთ ნათურის ორ ბოლოს შორის — ანუ გასაზომ უბანთან პარალელურად. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| | • დაიცავით პოლარობა: ვოლტმეტრის „+“ მომჭერი მიაერთეთ უფრო მაღალი პოტენციალის მხარეს, „-“ — დაბალი პოტენციალის მხარეს; მოცემულ მარტივ წრედში ეს შეესაბამება წყაროს შესაბამის პოლუსებთან კავშირს.<br>• ჩაკეტეთ წრედი და წაიკითხეთ ვოლტმეტრის ჩვენება ვოლტებში.<br>• შეადარეთ სქემაზე ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის მდებარეობა და სიტყვიერად აღწერეთ, რატომ არის მათი ჩართვის წესი განსხვავებული.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება; მონაცემების გაანალიზება. |
| **სქემური სამუშაო — სწორი ჩართვის გამოსახვა** | ჯგუფები თავიანთი რეალური წრედის მიხედვით ხატავენ სქემას: დენის წყარო, ჩამრთველი და ნათურა ერთ ძირითად წრედში; ამპერმეტრი — მიმდევრობით; ვოლტმეტრი — ნათურის პარალელურად. გამოიყენება მოსწავლის წიგნში მოცემული პირობითი ნიშნები A და V. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ხელსაწყოების გაცნობისას** | • რომელი ფიზიკური სიდიდის გასაზომად გამოიყენება ამპერმეტრი?<br>• რომელი ფიზიკური სიდიდის გასაზომად გამოიყენება ვოლტმეტრი?<br>• როგორ გამოისახება ამპერმეტრი სქემაზე? ვოლტმეტრი?<br>• რა ერთეულში იკითხება ამპერმეტრის ჩვენება? ვოლტმეტრის ჩვენება?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — გაზომვისას** | • რატომ გავხსენით ძირითადი წრედი ამპერმეტრის ჩასართავად?<br>• როგორ გადავამოწმეთ ამპერმეტრის პოლარობა?<br>• რატომ არ დაგვჭირდა ძირითადი წრედის გაწყვეტა ვოლტმეტრის ჩასართავად?<br>• როგორ განვსაზღვრეთ, რომელ ორ წერტილს შორის უნდა ჩაგვერთო ვოლტმეტრი?<br>• როგორ განვსაზღვრეთ საზომი ხელსაწყოს დანაყოფის ფასი, სკალის ჩვენება და შესაბამისი ერთეული?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — შეცდომების აღმოჩენისას** | • რატომ არის ამპერმეტრის პარალელურად ჩართვა დაუშვებელი?<br>• რას გვიჩვენებს ვოლტმეტრი, თუ მისი მომჭერები ერთსა და იმავე წერტილთან იქნება დაკავშირებული?<br>• როგორ უნდა მოვიქცეთ, თუ ხელსაწყოს ისარი არასწორი მიმართულებით გადაიხრება?<br>• რატომ არის უცნობი სიდიდის გაზომვისას გონივრული თავიდან უფრო დიდი დიაპაზონის გამოყენება?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; პრობლემის გადაჭრა. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი წინასწარ ამოწმებს ხელსაწყოების გამართულობასა და დიაპაზონებს, მაგრამ წრედს მოსწავლეების ნაცვლად არ აწყობს. შეცდომისას სვამს კითხვებს: „რისი გაზომვა გინდათ?“, „რა გზა უნდა გაიაროს დენმა?“, „რომელ ორ წერტილს შორის ზომავთ ძაბვას?“ და მოსწავლეებს თავად ასწორებინებს შეერთებას. |
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი დენის წყარო; ნათურა; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; სასწავლო ამპერმეტრი; სასწავლო ვოლტმეტრი; საჭიროების შემთხვევაში მულტიმეტრი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.9.4–1.9.12; სამუშაო ფურცელი „ხელსაწყო — რას ზომავს — როგორ ერთდება — ერთეული“. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო; წრედის გადაკეთებისას წყარო გათიშეთ; ამპერმეტრი არასოდეს ჩართოთ უშუალოდ დენის წყაროს პოლუსებზე/გასაზომ უბანთან პარალელურად; დაიცავით ხელსაწყოს პოლარობა და გაზომვის დიაპაზონი; არ დაუშვათ მოკლე ჩართვა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **შეფასება** | საზომი ხელსაწყოების მიერთებისა და გაზომვის კრიტერიუმები: 1) ხელსაწყოს სწორი შერჩევა; 2) ამპერმეტრის მიმდევრობითი ჩართვა; 3) ვოლტმეტრის პარალელური ჩართვა; 4) პოლარობის დაცვა; 5) მონაცემების სწორად ამოკითხვა და ერთეულების მითითება.შეფასება ეფუძნება პრაქტიკული მოქმედების სიზუსტესა და სიტყვიერ დასაბუთებას. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემა: ამპერმეტრის ჩართვის გზა ერთ ფერში, ვოლტმეტრის დასაერთებელი ორი წერტილი — მეორეში; ასევე შეიძლება მიეცეთ ნაწილობრივ შევსებული ჩეკლისტი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემას დამოუკიდებლად აწყობენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები იღებენ შეცდომიან სქემას და ასაბუთებენ, რა უნდა შეიცვალოს. |

**შუალედური დასკვნა**

ამპერმეტრი დენის ძალას ზომავს და გასაზომ მონაკვეთში მიმდევრობით ერთდება, რათა ამ მონაკვეთის დენმა მთლიანად ხელსაწყოშიც გაიაროს. ვოლტმეტრი ძაბვას ზომავს და იმ ორ წერტილს შორის პარალელურად ერთდება, რომელთა შორის ძაბვაც გვაინტერესებს. ორივე შემთხვევაში აუცილებელია პოლარობისა და გაზომვის დიაპაზონის გათვალისწინება.

**აქტივობა 3. კითხვა–პასუხი — დენის ძალა, ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| აქტივობის მიზანი | ცოდნის განმტკიცება, ტრანსფერი და შეფასება — მოსწავლეებმა კითხვა–პასუხით გაამთლიანონ დენის ძალის ფიზიკური აზრი, ერთეული და დენის მიმართულება, ასევე ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის გამოყენებისა და ჩართვის წესები. |
| გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი | მიმმართველი (გეზის მიმცემი) კითხვა–პასუხი; კონცეპტუალური სწავლება. |
| ძირითადი კითხვა | როგორ გადავწყვიტოთ, რომელი ფიზიკური სიდიდე უნდა გავზომოთ, რომელი ხელსაწყო გამოვიყენოთ და სად ჩავრთოთ იგი ელექტრულ წრედში? |
| აქტივობის განხორციელება | მასწავლებელი დაფაზე ქმნის სამ ბლოკს: „დენის ძალა“, „ამპერმეტრი“, „ვოლტმეტრი“. მოსწავლეები ჯერ წყვილებში პასუხობენ მოკლე კითხვებს, შემდეგ პასუხებს ასაბუთებენ. განხილვაში გამოიყენება მოსწავლის წიგნის სურ. 1.9.6 და 1.9.12 ბ — სქემები, რათა მოსწავლეებმა არა მხოლოდ დაიმახსოვრონ შეერთების წესი, არამედ შეძლონ სწორი და მცდარი ჩართვის ამოცნობა.<br><br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
| --- | --- |
| ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას | • რას გვიჩვენებს დენის ძალა და რა ერთეულში იზომება?<br>• რა ფორმულით განისაზღვრება დენის ძალა?<br>• რას ზომავს ამპერმეტრი და რა არის მისი პირობითი ნიშანი?<br>• რას ზომავს ვოლტმეტრი და რა არის მისი პირობითი ნიშანი?<br>• როგორ ერთდება ამპერმეტრი? ვოლტმეტრი?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სქემის გაანალიზებისას | • რა ნაბიჯებით შეამოწმებთ, სწორადაა თუ არა ამპერმეტრი ჩართული მოცემულ სქემაში?<br>• როგორ დაადგენთ, რომელ ორ წერტილს შორის უნდა ჩაირთოს ვოლტმეტრი?<br>• როგორ შეამოწმებთ საზომი ხელსაწყოს პოლარობას ჩართვამდე?<br>• რა ნაბიჯებით წაიკითხავთ ხელსაწყოს ჩვენებას?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახალ სიტუაციებში | • თუ გვინდა ნათურაში გამავალი დენის ძალის გაზომვა, სად უნდა ჩავრთოთ ამპერმეტრი და რატომ?<br>• თუ გვინდა დენის წყაროს ბოლოებს შორის ძაბვის გაზომვა, როგორ უნდა ჩავრთოთ ვოლტმეტრი?<br>• თუ ერთსა და იმავე დროში წრედში გადატანილი მუხტი გაიზარდა, როგორ შეიცვლება დენის ძალა?<br>• თუ ხელსაწყოს ჩვენება სკალის ფარგლებს სცდება, როგორ უნდა შევცვალოთ გაზომვის პროცედურა?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| კონცეპტუალური მინი-დავალება — „დაასრულე სქემა“ | მოსწავლეებს ეძლევათ არასრული ელექტრული სქემა დენის წყაროთი, ნათურითა და ჩამრთველით. დავალება: A სიმბოლო სწორ ადგილას ჩასვან ნათურაში გამავალი დენის ძალის გასაზომად, V სიმბოლო — ნათურის ძაბვის გასაზომად, მონიშნონ პოლარობა და ისრით მიუთითონ დენის მიმართულება. შემდეგ მოკლედ დაასაბუთონ მიღებული გადაწყვეტილება. |
| მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი | მასწავლებელი პასუხის სისწორესთან ერთად ითხოვს დასაბუთებას. თუ მოსწავლე მხოლოდ წესს ამბობს — „ამპერმეტრი მიმდევრობით“, მასწავლებელი სვამს კითხვას „რატომ?“; თუ ამბობს „ვოლტმეტრი პარალელურად“, სთხოვს დაასახელოს კონკრეტული ორი წერტილი, რომელთა შორისაც ძაბვა იზომება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| შრესურსები | დაფა ან პროექტორი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.9.6 და 1.9.12 ბ; ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის პირობითი ნიშნების ბარათები; არასრული სქემების სამუშაო ფურცელი. |
| შეფასება | „დაასრულე სქემა“ — მოსწავლე სწორად ათავსებს A და V სიმბოლოებს, მონიშნავს პოლარობასა და დენის მიმართულებას და მოკლედ ასაბუთებს საკუთარ გადაწყვეტილებას. კრიტერიუმები: ხელსაწყოს სწორი არჩევა; ჩართვის წესის დაცვა; პოლარობის სისწორე; დასაბუთების ფიზიკური სიზუსტე. |
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ შემცირებული არჩევანი — ორი შესაძლო ადგილი A-სთვის და ორი V-სთვის — და წინადადების დასაწყისები: „ამპერმეტრი აქ ჩავრთე, რადგან...“, „ვოლტმეტრი ამ ორ წერტილს შორის ჩავრთე, რადგან...“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ავსებენ სრულად ცარიელ სქემას. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად ადგენენ სქემას შეცდომით, რომელშიც თანაკლასელმა ხარვეზი უნდა იპოვოს და შეასწოროს. |

### შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ოთხ ძირითად დებულებას: 1) დენის ძალა გვიჩვენებს დროის ერთეულში გამტარის განივკვეთში გასულ მუხტს და განისაზღვრება $I = q/t$ დამოკიდებულებით; 2) დენის ძალის ერთეულია ამპერი, ხოლო დენის შეთანხმებული მიმართულება დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულებაა; 3) ამპერმეტრი დენის ძალას ზომავს და მიმდევრობით ერთდება წრედში; 4) ვოლტმეტრი ძაბვას ზომავს და გასაზომ უბანთან პარალელურად ერთდება.

### სასურველი დასკვნა

დენის ძალა ელექტრული დენის რაოდენობრივი მახასიათებელია. მისი გაზომვისთვის აუცილებელია ამპერმეტრის წრედში მიმდევრობით ჩართვა, ხოლო ძაბვის გასაზომად ვოლტმეტრი გასაზომ უბანთან პარალელურად ერთდება. საზომი ხელსაწყოების გამოყენებისას მნიშვნელოვანია პოლარობის, დიაპაზონისა და სქემური კავშირების გათვალისწინება.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „დაასრულე სქემა“

მოსწავლეს ინდივიდუალურად ეძლევა მარტივი წრედის არასრული სქემა. უნდა: 1) ჩასვას ამპერმეტრი ისე, რომ გაზომოს ნათურაში გამავალი დენის ძალა; 2) ჩასვას ვოლტმეტრი ისე, რომ გაზომოს ნათურის ძაბვა; 3) მონიშნოს ხელსაწყოების პოლარობა; 4) ისრით მიუთითოს დენის მიმართულება. შეფასება ეფუძნება შეერთების სისწორეს, პირობითი ნიშნების სწორ გამოყენებასა და მოკლე ფიზიკურ დასაბუთებას.

### მასწავლებლის ინსტრუქცია

ყურადღება გაამახვილეთ დენის ძალის ფიზიკურ არსზე და არა მხოლოდ ფორმულის დამახსოვრებაზე. დენის მიმართულების განხილვისას მკაფიოდ განასხვავეთ შეთანხმებული მიმართულება და ლითონში ელექტრონების მოძრაობა. პრაქტიკული მუშაობისას ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩართვის წესები მოსწავლეებმა რეალურ წრედსა და სქემაზე ერთდროულად უნდა გაიაზრონ; თითოეულ შეერთებას აუცილებლად დაურთონ სიტყვიერი დასაბუთება. უსაფრთხოების მიზნით ყველა პრაქტიკული გაზომვა ჩატარდეს მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყაროთი.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რას ნიშნავს, რომ გამტარში გამავალი დენის ძალა 2 ა-ია?**
   ეს ნიშნავს, რომ გამტარის განივკვეთში 1 წმ-ის განმავლობაში 2 კ მუხტი გადის.
2. **თუ ელექტრულ დენს ქმნის უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა, მაშინ ემთხვევა თუ არა დენის მიმართულება დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულებას?**
   არა. თუ მუხტის გადამტანები უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკებია, დენის მიმართულება მათი მოძრაობის მიმართულების საპირისპიროა.
3. **როგორია ამპერმეტრის სქემატური აღნიშვნა?**
   ელექტრულ სქემაზე ამპერმეტრი აღინიშნება წრით, რომელშიც ჩაწერილია ასო A.
4. **რა უდევს საფუძვლად ამპერმეტრის მუშაობას?**
   ამპერმეტრის მუშაობას საფუძვლად უდევს ელექტრული დენის მაგნიტური მოქმედება.
5. **როგორ უნდა ჩავრთოთ ამპერმეტრი წრედში მომჭერებზე მითითებული ნიშნაკების მიხედვით?**
   „+“ ნიშნიანი მომჭერი უნდა მივუერთოთ იმ გამტარს, რომელიც მოდის დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან, ხოლო „–“ ნიშნიანი მომჭერი — იმ გამტარს, რომელიც მიდის დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსისკენ. ამპერმეტრი წრედში მომხმარებელთან მიმდევრობით ირთვება.
6. **რატომაა მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში/მოწყობილობებში დენის ძალა ერთნაირი?**
   რადგან მიმდევრობით შეერთებულ წრედში გამტარების ნებისმიერ განივკვეთში დროის ერთეულში გასული მუხტის რაოდენობა ერთნაირია. ამიტომ დენის ძალაც ყველა უბანზე ერთნაირია.
7. **რას უწოდებენ დენის მუშაობას?**
   დენიან გამტარში ელექტრული ველი დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს ძალით და ნაწილაკი ამ ძალის მიმართულებით გადაადგილდება. ამ დროს შესრულებულ მუშაობას დენის მუშაობას უწოდებენ.
8. **რატომ არის საჭირო დენის მომხმარებლის მომჭერებზე ძაბვის ცოდნა?**
   რადგან დენის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია არა მხოლოდ დენის ძალაზე, არამედ მომხმარებლის ბოლოებზე არსებულ ძაბვაზეც. ერთნაირი დენის ძალისას დენი მეტ მუშაობას ასრულებს იმ მომხმარებელში, რომლის ბოლოებზეც მეტი ძაბვაა.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

რისი ტოლია დენის ძალის მნიშვნელობა გამტარში, თუ მის განივკვეთში 5 წამში 4 კ მუხტი გადის?

**ამოხსნა**

დენის ძალა ტოლია გამტარის განივკვეთში გასული მუხტის ფარდობისა იმ დროის შუალედთან, რომელშიც ეს მუხტი გავიდა:

$$I = \frac{q}{t}$$

მოცემულია: q = 4 კ; t = 5 წმ.

$I = \frac{4}{5} = 0{,}8$ ა.

პასუხი: 0,8 ა.

**ამოცანა 2**

რა მუხტი გაივლის გამტარის განივკვეთში 5 წუთის განმავლობაში, როცა დენის ძალის მნიშვნელობა ამ გამტარში 300 მა-ია?

**ამოხსნა**

დენის ძალის ფორმულიდან მუხტი გამოითვლება ასე:

$$q = It$$

ჯერ ერთეულები გადავიყვანოთ SI-ში:

I = 300 მა = 0,3 ა.
t = 5 წთ = 300 წმ.
ახლა შევიტანოთ რიცხვითი მონაცემები:
$q = 0{,}3 \cdot 300 = 90$ კ.
პასუხი: 90 კ.

**ამოცანა 3**

რა დროის განმავლობაში გაივლის ლითონის გამტარის განივკვეთში $5 \cdot 10^{20}$ ელექტრონი მასში 2 ა დენის ძალის მნიშვნელობისას?

**ამოხსნა**

ჯერ ვიპოვოთ $5 \cdot 10^{20}$ ელექტრონის მიერ გადატანილი მუხტის მოდული. ერთი ელექტრონის მუხტის მოდულია $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ, ამიტომ:
$q = Ne = 5 \cdot 10^{20} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 80$ კ.
ანუ გამტარის განივკვეთში გაივლის q = 80 კ მუხტი. დენის ძალის ფორმულიდან:

$$t = \frac{q}{I}$$

$t = \frac{80}{2} = 40$ წმ.
პასუხი: 40 წმ.

**ამოცანა 4**

სურ. 1.9.15-ზე ნაჩვენებია აკუმულატორის დამუხტვისას მასში დაგროვილი მუხტის დროზე დამოკიდებულების დიაგრამა. რა მნიშვნელობისაა ამ დროს დამუხტვის დენის ძალა?

**ამოხსნა**

დიაგრამიდან ჩანს, რომ 8 წუთში აკუმულატორში დაგროვილი მუხტი 0,2 ა·სთ-ია. მუდმივი დენის შემთხვევაში I = q/t.
მუხტისა და დროის ერთეულები ისე შევარჩიოთ, რომ გამოთვლა მოსახერხებელი იყოს:
8 წუთი = 8/60 სთ.
$I = \frac{0{,}2}{8/60} = 1{,}5$ ა.

პასუხი: 1,5 ა.

**ამოცანა 5**

სურ. 1.9.16-ზე ნაჩვენებია გამტარში გამავალი დენის ძალის დროზე დამოკიდებულების დიაგრამა. ამ დიაგრამის მიხედვით რა მუხტი გაივლის გამტარის განივკვეთში დროის [2;4] წმ შუალედში?

**ამოხსნა**

დიაგრამაზე დენის ძალა დროის განმავლობაში წრფივად იზრდება: t = 4 წმ მომენტში I = 0,2 ა, ამიტომ t = 2 წმ მომენტში I = 0,1 ა.

[2;4] წმ შუალედში გამავალი მუხტი ტოლია I(t) გრაფიკის ქვეშ ამ შუალედში მოთავსებული ტრაპეციის ფართობისა. რადგან დენის ძალა წრფივად იცვლება, შეგვიძლია გამოვიყენოთ საშუალო დენის ძალა:

$\bar{I} = \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{0{,}1 + 0{,}2}{2} = 0{,}15$ ა.

დროის შუალედია:

$\Delta t = 4 - 2 = 2$ წმ.

ამრიგად, Δt = 2 წმ.

ამიტომ გამავალი მუხტი იქნება:

$q = \bar{I} \cdot \Delta t = 0{,}15 \cdot 2 = 0{,}3$ კ.

პასუხი: 0,3 კ.

**ამოცანა 6**

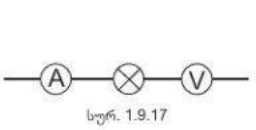
წარმოდგენილი ექვსი სურათიდან (სურ. 1.9.17÷1.9.22) რომელ შემთხვევებშია სწორად ჩართული იდეალური ვოლტმეტრი და ამპერმეტრი ნათურაზე ძაბვისა და მასში გამავალი დენის ძალის დასადგენად?

**ამოხსნა**

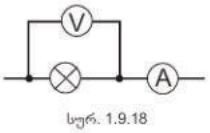
ამპერმეტრი უნდა ჩაირთოს ნათურასთან მიმდევრობით, რადგან მან უნდა გაზომოს სწორედ ნათურაში გამავალი დენის ძალა. ვოლტმეტრი კი უნდა ჩაირთოს ნათურის ბოლოებს შორის პარალელურად, რადგან მან ნათურაზე ძაბვა უნდა გაზომოს.

სურ. 1.9.18-ში ვოლტმეტრი ნათურასთან პარალელურადაა ჩართული, ხოლო ამპერმეტრი — ნათურასთან მიმდევრობით, ამიტომ ეს შეერთება სწორია.

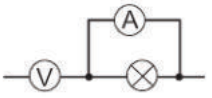
სურ. 1.9.22-ში ამპერმეტრი ნათურასთან მიმდევრობითაა ჩართული, ვოლტმეტრი კი ამ უბნის ბოლოებზეა მიერთებული. იდეალური ამპერმეტრის ძაბვის ვარდნა ნულის ტოლია, ამიტომ ვოლტმეტრის ჩვენება ნათურაზე ძაბვის ტოლი იქნება. ეს შეერთებაც სწორია.



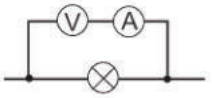
სურ. 1.9.17



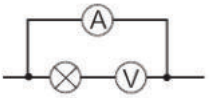
სურ. 1.9.18



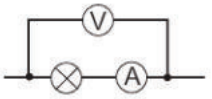
სურ. 1.9.19



სურ. 1.9.20



სურ. 1.9.21



სურ. 1.9.22

დანარჩენ სქემებში ამპერმეტრი ან ვოლტმეტრი საჭირო წესით არ არის ჩართული.

პასუხი: სურ. 1.9.18 და სურ. 1.9.22.

## პარაგრაფი №1.10 — ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამტარის წინაღობა. კუთრი წინაღობა

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და ექსპერიმენტული გააზრება | ომის კანონი წრედის უბნისთვის — ძაბვისა და დენის ძალის კავშირი | მოსწავლე შეძლებს სადემონსტრაციო გაზომვების საფუძველზე დაადგინოს მუდმივი ტემპერატურის პირობებში დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულება, განმარტოს გამტარის წინაღობის ფიზიკური აზრი და გამოიყენოს ომის კანონი I = U/R. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესის თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; ექსპერიმენტის შედეგების პროგნოზირება, გაზომვა და მიზეზ–შედეგობრივი კავშირის ახსნა. |
| 2 | ახალი ცოდნის აგება და ექსპერიმენტული განზოგადება | კუთრი წინაღობა — რაზეა დამოკიდებული გამტარის წინაღობა? | მოსწავლე შეძლებს სადემონსტრაციო ცდების მიხედვით გააანალიზოს გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა და ნივთიერების გვარობაზე, განმარტოს კუთრი წინაღობის ფიზიკური აზრი და გაიაზროს R = ρℓ/S ფორმულის მართებულობა. | ნივთიერება და ველი — სხვადასხვა ნივთიერების ფიზიკური თვისებების შედარება; ფიზიკური პროცესი — ექსპერიმენტული მონაცემებით კანონზომიერების გამოვლენა და რაოდენობრივი აღწერა. |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, ტრანსფერი და შეფასება | კითხვა–პასუხი — ომის კანონი, წინაღობა და კუთრი წინაღობა | მოსწავლე შეძლებს ომის კანონისა და R = ρℓ/S დამოკიდებულების ფიზიკური შინაარსის გამთლიანებას, გრაფიკებისა და ექსპერიმენტული სიტუაციების გაანალიზებას, ტიპური შეცდომების აღმოჩენასა და ცოდნის ახალ სიტუაციაში გამოყენებას. | ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური კანონზომიერებების გამოყენება და მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების დასაბუთება; ნივთიერება და ველი — ნივთიერების თვისებების დაკავშირება ელექტრულ წინაღობასთან. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი, როგორც დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება;
- სადემონსტრაციო გაზომვების საფუძველზე აღმოაჩინოს, რომ მოცემული გამტარისთვის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში დენის ძალა ძაბვის პირდაპირპროპორციულია;
- განმარტოს გამტარის წინაღობა როგორც სიდიდე, რომელიც ახასიათებს გამტარის მიერ ელექტრული დენისადმი გაწეულ წინააღმდეგობას, და გამოიყენოს R = U/I და I = U/R დამოკიდებულებები ექსპერიმენტული დავალების შესრულებისას;
- დაასახელოს წინაღობის SI ერთეული — ომი — და განმარტოს 1 ომ = 1 ვ / 1 ა დამოკიდებულება;
- ექსპერიმენტულად გააანალიზოს გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა და ნივთიერების გვარობაზე;
- განმარტოს კუთრი წინაღობის ფიზიკური აზრი და გამოიყენოს R = ρℓ/S დამოკიდებულება თვისებრივი მსჯელობისას;
- შეადაროს სხვადასხვა მასალის ერთნაირი გეომეტრიული ზომების გამტარები მათი კუთრი წინაღობის მიხედვით და გააკეთოს არგუმენტირებული დასკვნა.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ერთი და იგივე აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფ ნივთიერებათა შედარება მათი ფიზიკური თვისებების მიხედვით; სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფი ერთი და იმავე ნივთიერების ფიზიკური თვისებების შედარება;
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების (მაგალითად: ელექტომაგნიტური; თერმოდინამიკური; მექანიკური) თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მათი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით სწორად აღწერს დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულებას და უკავშირებს მას ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს; განმარტავს წინაღობის ფიზიკურ აზრს და სწორად იყენებს I = U/R და R = U/I კავშირებს; ასახელებს წინაღობის ერთეულს; ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით ადგენს და გამტარის წინაღობის დამოკიდებულებას მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა (გამტარის სიგრძის ზრდით წინაღობა იზრდება, ხოლო განივკვეთის ფართობის ზრდით — მცირდებადა მასალაზე) და გვარობაზე; განმარტავს კუთრი წინაღობის ფიზიკურ შინაარსს და არგუმენტირებულად ხსნის წინაღობის დამოკიდებულებას R = ρℓ/S ფორმულის თითოეულ პარამეტრზე.

**აქტივობა 1. ომის კანონი წრედის უბნისთვის — ძაბვისა და დენის ძალის კავშირი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მინი-ლექციისა და სადემონსტრაციო ექსპერიმენტის კომბინაციით მოსწავლეებმა დაადგინონ დენის ძალის დამოკიდებულება ძაბვაზე, გაიაზრონ გამტარის წინაღობის ფიზიკური აზრი და ჩამოაყალიბონ ომის კანონი წრედის უბნისთვის. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; ინტერაქტიული მინი-ლექცია. |
| **საკვლევი კითხვა** | როგორ იცვლება დენის ძალა მოცემულ გამტარში, თუ მის ბოლოებზე ძაბვას ვცვლით, ხოლო გამტარის ტემპერატურასა და ზომებს უცვლელად ვინარჩუნებთ? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლის წიგნის სურ. 1.10.1–1.10.3-ზე დაყრდნობით აწყობს სადემონსტრაციო წრედს: დენის წყარო, საკვლევი გამტარი/რეზისტორი, ამპერმეტრი მიმდევრობით და ვოლტმეტრი საკვლევ უბანთან პარალელურად. ძაბვას რამდენიმე საფეხურად ცვლის, ყოველ ჯერზე ზომავს U-სა და I-ს და მონაცემებს ცხრილში აფიქსირებს. მნიშვნელოვანია, რომ გამტარის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად არ შეიცვალოს. მიღებული წყვილებით მოსწავლეები ადგენენ I(U) დამოკიდებულებას და ამჩნევენ, რომ ლითონის გამტარისთვის გრაფიკი კოორდინატთა სათავიდან გამავალი წრფეა. ამის შემდეგ მინი-ლექციით შემოდის წინაღობის ცნება და ომის კანონი.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი — ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის მიღება** | • ააწყვეთ წრედი მოსწავლის წიგნის სურ. 1.10.1-ის პრინციპით: ამპერმეტრი — მიმდევრობით, ვოლტმეტრი — საკვლევი გამტარის ბოლოებთან პარალელურად.<br>• შეარჩიეთ ძაბვის საწყისი მნიშვნელობა და ჩაწერეთ ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენებები.<br>• გაიმეორეთ გაზომვა კიდევ 2–3 განსხვავებული ძაბვისთვის; თითოეულ შემთხვევაში გამტარი დიდხანს არ დატოვოთ ჩართულ მდგომარეობაში, რათა ტემპერატურის ცვლილებამ შედეგი არ დაამახინჯოს.<br>•ააგეთ I(U) გრაფიკი (ვოლტ-ამპერული მახასითებელი).<br>• მიღებული მონაცემების მიხედვით, შეადარეთ U/I შეფარდება ალუმინისთვის და სპილენძისთვის.<br>• მოსწავლეები აყალიბებენ დასკვნას: მოცემული გამტარისთვის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში დენის ძალა ძაბვის პირდაპირპროპორციულია, ხოლო U/I შეფარდება მუდმივია.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი — წინაღობა და ომის კანონი** | მუდმივი U/I შეფარდება მოცემული გამტარის ელექტრულ წინაღობას ახასიათებს. წინაღობა გვიჩვენებს, რამდენად ეწინააღმდეგება გამტარი ელექტრული დენის გავლას:<br>$$R = \frac{U}{I}$$<br>$$I = \frac{U}{R}$$<br>$$1\,\text{ო} = \frac{1\,\text{ვ}}{1\,\text{ა}}$$<br>წრედის უბანში დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებს შორის ძაბვის და უკუპროპორციულია უბნის წინაღობის — ეს არის ომის კანონი წრედის უბნისთვის. ფორმულა გამოიყენება მაშინ, როცა განსახილველი გამტარის ზომები და ტემპერატურა უცვლელია.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფიზიკური დამოკიდებულების გააზრება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის განხილვისას** | • რას ეწოდება ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი?<br>• რომელი სიდიდეებით გამოითვლება გამტარის წინაღობა R = U/I ფორმულის გამოყენებით?<br>• რა არის წინაღობის SI-ის ერთეული?<br>• როგორ ჩამოვაყალიბოთ ომის კანონი წრედის უბნისთვის?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — გაზომვისა და გრაფიკის აგებისას** | • როგორ მივუერთეთ ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი წრედის უბანს, რომელსაც ვიკვლევთ?<br>• როგორ ავსახოთ გაზომვის შედეგები I(U) გრაფიკზე?<br>• გამოთვლების საფუძველზე როგორ დავადგინეთ, რომ U/I შეფარდება თითქმის მუდმივი (უცვლელი) რჩება?<br>• რატომ უნდა ავიცილოთ თავიდან გამტარის ძლიერი გათბობა (გახურება) გაზომვების პროცესში?<br>განვითარებადი უნარები: მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; პრობლემის გადაჭრა. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — კანონზომიერების გამოყენებისას** | • თუ მოცემული გამტარის ძაბვა ორჯერ გაიზარდა და წინაღობა უცვლელია, როგორ შეიცვლება დენის ძალა?<br>• თუ ერთსა და იმავე ძაბვაზე ერთ გამტარში დენის ძალა ნაკლებია, რა დასკვნის გამოტანა შეგვიძლია მისი წინაღობის შესახებ?<br>• რას ნიშნავს I(U) გრაფიკის მეტი დახრილობა და რა დასკვნის გამოტანაშეიძლება იმ გამტარის შესახებ, რომლის ვოლტ-ამპერულ მახასიათბელს მეტი დახრილობა გააჩნია?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ომის კანონს მზა ფორმულად არ აძლევს ექსპერიმენტამდე. მოსწავლეებს ჯერ მონაცემებში კანონზომიერებას აღმოაჩენინებს, შემდეგ უკავშირებს U/I მუდმივ შეფარდებას - წინაღობის ცნებას. გრაფიკის განხილვისას სვამს კითხვებს: „რა რჩება უცვლელი?“, „რა იცვლება?“, „რა მიუთითებს პირდაპირპროპორციულ და უკუპროპორციულ კავშირზე? |
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი რეგულირებადი დენის წყარო ან რამდენიმე ძაბვის საფეხურის წყარო; საკვლევი რეზისტორი/გამტარი; ამპერმეტრი; ვოლტმეტრი; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; დაფა/პროექტორი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.10.1–1.10.3; მონაცემთა მცირე ცხრილი. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო; წრედის შეცვლისას წყარო გათიშეთ; არ დაუშვათ მოკლე ჩართვა; ამპერმეტრი არ ჩართოთ წყაროს პოლუსებზე პარალელურად; გაზომვები ჩაატარეთ მოკლე ინტერვალებით, რათა საკვლევი გამტარი მნიშვნელოვნად არ გახურდეს. |
| **შეფასება** | „დაკვირვება → მტკიცებულება → კანონი“ — მოსწავლე ასახელებს ექსპერიმენტით მიღებულ ერთ კანონზომიერებას, უთითებს მონაცემს/გრაფიკს, როგორც მტკიცებულებას და სიტყვიერად აყალიბებს ომის კანონს.<br>კრიტერიუმები: მონაცემის სწორად გამოყენება; U, I და R-ის კავშირის სიზუსტე; გამოყენების პირობის მითითება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული I(U) ცხრილი და გრაფიკის ღერძები წინასწარი ნიშნულებით. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები მონაცემებსა და გრაფიკს დამოუკიდებლად ამუშავებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ადარებენ ორ I(U) წრფეს და ასაბუთებენ, რომელ გამტარს აქვს მეტი წინაღობა. |

### შუალედური დასკვნა

მოცემული ლითონის გამტარისთვის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში დენის ძალა მის ბოლოებს შორის ძაბვის პირდაპირპროპორციულია. U/I შეფარდება გამტარის წინაღობას განსაზღვრავს, ხოლო ომის კანონი I = U/R კავშირით აერთიანებს დენის ძალას, ძაბვასა და წინაღობას.

### აქტივობა 2. კუთრი წინაღობა — რაზეა დამოკიდებული გამტარის წინაღობა?

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მინი-ლექციისა და სადემონსტრაციო ექსპერიმენტების კომბინაციით მოსწავლეებმა გაარკვიონ, როგორ არის გამტარის წინაღობა დამოკიდებული მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა და ნივთიერების გვარობაზე, და ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით დაასაბუთონ $R = \rho\ell/S$ ფორმულის სტრუქტურა. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; ინტერაქტიული მინი-ლექცია. |
| **საკვლევი კითხვა** | რომელი თვისებები განსაზღვრავს ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობას და როგორ შეიძლება ეს დამოკიდებულებები ექსპერიმენტით გამოვავლინოთ? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი აწყობს მოსწავლის წიგნის სურ. 1.10.9–1.10.11-ის ლოგიკის შესაბამის სამ სადემონსტრაციო ცდას. თითოეულ ცდაში იცვლება მხოლოდ ერთი ფაქტორი, დანარჩენი კი უცვლელი რჩება. დენის წყაროს ძაბვა ცდების შესადარებელ სერიაში უცვლელია, ამიტომ ამპერმეტრის უფრო დიდი ჩვენება ნიშნავს უფრო მცირე წინაღობას. ყოველი ცდის წინ მოსწავლეები აკეთებენ პროგნოზს; შემდეგ დაკვირვებას ადარებენ პროგნოზს. ბოლოს სამი შედეგი ერთ ფორმულაში ერთიანდება და შემოდის კუთრი წინაღობა $\rho$.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი 1 — განივკვეთის ფართობის გავლენა** | • გამოიყენეთ ერთი და იმავე მასალისა და სიგრძის გამტარები, რომელთა განივკვეთის ფართობებია პირობითად S, 2S და 4S.<br>• თითოეული მათგანი იმავე ძაბვის წყაროსა და ამპერმეტრის წრედში ჩართეთ და შეადარეთ დენის ძალა.<br>• მოსწავლეები აკვირდებიან: უფრო დიდი განივკვეთის ფართობის შემთხვევაში დენის ძალა მეტია, მაშასადამე წინაღობა ნაკლებია.<br>• დასკვნა: ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა განივკვეთის ფართობის უკუპროპორციულია — $R \sim 1/S$.<br>განვითარებადი უნარები: დაკვირვება და მონაცემების გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი 2 — სიგრძის გავლენა** | • გამოიყენეთ ერთი და იმავე მასალისა და განივკვეთის ფართობის გამტარები, რომელთა სიგრძეებია პირობითად $\ell$, $2\ell$ და $4\ell$.<br>• ერთსა და იმავე ძაბვაზე შეადარეთ ამპერმეტრის ჩვენებები.<br>• მოსწავლეები აკვირდებიან: უფრო გრძელი გამტარის შემთხვევაში დენის ძალა ნაკლებია, მაშასადამე წინაღობა მეტია.<br>• დასკვნა: ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა მისი სიგრძის პირდაპირპროპორციულია — $R \sim \ell$.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი 3 — ნივთიერების გვარობის გავლენა** | • შეადარეთ ერთნაირი სიგრძისა და განივკვეთის ფართობის სხვადასხვა მასალის გამტარები, მაგალითად სპილენძი, ალუმინი და უფრო მაღალი წინაღობის შენადნობი/გამტარი.<br>• იმავე ძაბვაზე გაზომეთ დენის ძალა თითოეულ გამტარში.<br>• მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ ერთნაირი გეომეტრიული ზომების მიუხედავად დენის ძალა განსხვავებულია.<br>• დასკვნა: წინაღობა დამოკიდებულია ნივთიერების გვარობაზეც; ამ განსხვავებას რაოდენობრივად კუთრი წინაღობა ρ ახასიათებს.<br>განვითარებადი უნარები: მონაცემების გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი — კუთრი წინაღობა და ფორმულის სამართლიანობა** | სამი ექსპერიმენტული დასკვნა ერთიანდება დამოკიდებულებაში:<br>$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$<br>$$\rho = \frac{R \cdot S}{\ell}$$<br>ρ — ნივთიერების კუთრი წინაღობაა. იგი მოცემულ ტემპერატურაზე ახასიათებს ნივთიერების უნარს გაუწიოს წინააღმდეგობა ელექტრულ დენს. SI-ში კუთრი წინაღობის ფორმულის სტრუქტურა პირდაპირ ასახავს ცდებს: ℓ-ის ზრდა ზრდის R-ს, S-ის ზრდა ამცირებს R-ს, ხოლო ρ მასალის (ნივთიერების) მახასიათებელია და მის ელექტრულ თვისებას წარმოადგენს.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფიზიკური მოდელირება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცდების შეჯამებისას** | • რომელ სამ ფაქტორზეა დამოკიდებული ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა?<br>• რას ახასიათებს კუთრი წინაღობა ρ?<br>• რა ერთეულით იზომება კუთრი წინაღობა SI-ში?<br>• როგორ არის R დამოკიდებული ℓ-ზე? S-ზე?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტების გაანალიზებისას** | • რატომ ვცვლიდით თითოეულ ცდაში მხოლოდ ერთ ფაქტორს?<br>• როგორ დავადგინეთ ამპერმეტრის ჩვენებიდან, რომელ გამტარს ჰქონდა მეტი წინაღობა?<br>• როგორ გავაერთიანოთ სამი ცდის შედეგი ერთ R = ρℓ/S ფორმულაში?<br>• როგორ განვსაზღვრავდით ρ-ს, თუ ვიცით R, ℓ და S?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ტრანსფერისას** | • რატომ იყენებენ ელექტროგადამცემ სადენებში კარგი გამტარობის მქონე მასალებს და შედარებით დიდ განივკვეთს?<br>• თუ გამტარის დიამეტრი გაიზარდა, როგორ შეიცვლება წინაღობა?<br>• თუ მასალის გამტარი ორჯერ დაგრძელდა და განივკვეთის ფართობი უცვლელი დარჩა, როგორ შეიცვლება წინაღობა?<br>• ორი ერთნაირი ზომის სადენიდან (გამტარიდან) რომელს ექნება მეტი წინაღობა — უფრო დიდი ρ-ის მქონე გამტარს თუ უფრო მცირე ρ-ის მქონე გამტარს? რატომ?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი თითოეულ ცდაში მკაფიოდ გამოყოფს დამოუკიდებელ და უცვლელ პირობებს. პასუხს წინასწარ არ ამბობს: მოსწავლეებს ჯერ პროგნოზს აკეთებინებს, შემდეგ ამპერმეტრის ჩვენებას მტკიცებულებად აყენებინებს და ბოლოს აერთიანებს ცდების შედეგებს R = ρℓ/S დამოკიდებულების დასასაბუთებლად. განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობს იმას, რომ ρ მასალის (ნივთიერების) მახასიათებელია და არა კონკრეტული გამტარის გეომეტრიული ზომა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი წყარო; ამპერმეტრი; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; ერთი მასალის სხვადასხვა სიგრძისა და სხვადასხვა განივკვეთის გამტარები; ერთნაირი ზომების სხვადასხვა მასალის გამტარები (სასწავლო კომპლექტის მიხედვით); მოსწავლის წიგნის სურ. 1.10.9 – 1.10.11; დაფა/პროექტორი. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო; წრედის შეცვლისას წყარო გათიშეთ; არ დაუშვათ მოკლე ჩართვა; თხელი/მაღალი წინაღობის გამტარი დენში ჩართული დიდხანს არ დატოვოთ, რომ არ გადახურდეს; გახურებულ გამტარს არ შეეხოთ. |
| **შეფასება** | „დაკვირვება → დამოკიდებულება → ფორმულა“ — მოსწავლე ირჩევს ერთ ცდას, ასახელებს რა შეიცვალა და რა დარჩა უცვლელი, აღწერს R-ის ცვლილებას და შესაბამის ნაწილს აკავშირებს $R = \rho\ell/S$ ფორმულასთან. კრიტერიუმები: საკვლევი ფაქტორის (ცვლადის) სწორად გამოყოფა; სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების სწორად განსაზღვრა; ფორმულასთან შესაბამისობის დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული სამსვეტიანი სქემა: „ვცვლით — უცვლელია — R როგორ იცვლება“. შესაძლებელია ფერებით კოდირება $\ell$, S და $\rho$-სთვის. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სამ ცდას დამოუკიდებლად აჯამებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ხსნიან ერთ კომბინირებულ შემთხვევას, როცა ერთდროულად იცვლება $\ell$ და S. |

### შუალედური დასკვნა

ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა განისაზღვრება არა მხოლოდ მისი გეომეტრიული ზომებით, არამედ ნივთიერების გვარობითაც: $R \sim \ell$, $R \sim 1/S$, ხოლო მასალის( ნივთიერების) ელექტრულ თვისებებს კუთრი წინაღობა $\rho$ ახასიათებს. ეს დამოკიდებულებები ერთიანდება ფორმულაში $R = \rho\ell/S$.

### აქტივობა 3. კითხვა–პასუხი — ომის კანონი, წინაღობა და კუთრი წინაღობა

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის განმტკიცება, ტრანსფერი და შეფასება — მოსწავლეებმა გაამთლიანონ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის, ომის კანონის, წინაღობისა და კუთრი წინაღობის შესახებ ცოდნა და გამოიყენონ იგი გრაფიკულ, ექსპერიმენტულ და ცხოვრებისეულ სიტუაციებში. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმმართველი (გეზის მიმცემი) კითხვა–პასუხი; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ გვაძლევს U, I, R, $\rho$, $\ell$ და S სიდიდეების ურთიერთკავშირი საშუალებას წინასწარ განვსაზღვროთ გამტარში დენის ცვლილება? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი დაფაზე წერს ორ ძირითად კავშირს — $I = U/R$ და $R = \rho\ell/S$ — და მოსწავლეებს სთხოვს სიტყვიერად აღწერონ თითოეული ფორმულის მიზეზ–შედეგობრივი აზრი. შემდეგ განიხილება მოკლე სიტუაციები: დენის ძალის ცვლილება იმავე გამტარში ძაბვის გაზრდისას; განსხვავებული დენის ძალა ტოლი ძაბვის პირობებში, როცა გამტარებს სხვადასხვა წინაღობა აქვთ; წინაღობის ცვლილება გამტარის დაგრძელების ან მისი განივკვეთის ფართობის გაზრდისას; განსხვავებული წინაღობა სხვადასხვა მასალის, მაგრამ ტოლი ზომის გამტარებში; წინაღობების შედარება ორი I(U) გრაფიკის დახრილობის მიხედვით. პასუხები ჯერ წყვილებში ყალიბდება, შემდეგ კლასში საბუთდება.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას** | • როგორ ჩამოვაყალიბოთ ომის კანონი წრედის უბნისთვის?<br>• რას ეწოდება გამტარის წინაღობა და რა ერთეულით იზომება?<br>• რას ახასიათებს კუთრი წინაღობა?<br>• რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა?<br>• რა ინფორმაციას გვაძლევს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დამოკიდებულებების გამოყენებისას** | • როგორ დაადგენთ I(U) გრაფიკებიდან, რომელ გამტარში გადის მეტი დენი ერთსა და იმავე ძაბვაზე?<br>• როგორ შეაფასებთ წინაღობის ცვლილებას, თუ მხოლოდ გამტარის სიგრძე შეიცვალა?<br>• რა ნაბიჯებით შეადარებთ ორი სხვადასხვა მასალის ერთნაირი ზომის გამტარის წინაღობებს?<br>• როგორ გამოთვლით R = ρℓ/S ფორმულიდან ρ-ს?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ სიტუაციებში** | • რატომ შეიძლება ელექტროსადენის არასაკმარისად დიდი განივკვეთი არასასურველ გათბობას უწყობდეს ხელს?<br>• ერთსა და იმავე ძაბვაზე რომელი სადენი გაატარებს მეტ დენს — მოკლე თუ გრძელი, თუ სხვა პირობები უცვლელია? რატომ?<br>• რატომ გამოიყენება ზოგ მოწყობილობაში მაღალი კუთრი წინაღობის მქონე მასალა, ხოლო შემაერთებელ სადენებში — დაბალი კუთრი წინაღობის მქონე?<br>• თუ ძაბვაც და წინაღობაც ერთნაირ გაიზარდა, როგორ შეიცვლება დენის ძალა?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **კონცეპტუალური მინი-დავალება — „იპოვე შეცდომა“** | • „ერთსა და იმავე გამტარში ძაბვის გაზრდისას დენის ძალა მცირდება.“<br>• „თუ გამტარის სიგრძე იზრდება და სხვა პირობები უცვლელია, მისი წინაღობაც იზრდება.“<br>• „უფრო დიდი განივკვეთის ფართობის მქონე იმავე მასალის გამტარს უფრო დიდი წინაღობა აქვს.“<br>• „კუთრი წინაღობა მასალის მახასიათებელია, ხოლო კონკრეტული გამტარის R მის ზომებზეც არის დამოკიდებული.“<br>მოსწავლე პოულობს მცდარ დებულებებს, ასწორებს და თითოეულ შესწორებას ერთ-ერთი ძირითადი ფორმულით ან ექსპერიმენტული არგუმენტით ამყარებს.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი პასუხის მიღების შემდეგ აუცილებლად სვამს დამაზუსტებელ კითხვას: „რომელი ფორმულა ან ცდა ადასტურებს ამას?“ გრაფიკის განხილვისას მასწავლებელი მოსწავლეთა ყურადღებას ამახვილებს არა უბრალოდ წრფის ფორმაზე, არამედ მის ფიზიკურ შინაარსზე — ერთსა და იმავე ძაბვაზე (U) დენის ძალის (I) მეტ მნიშვნელობას უკავშირებს გამტარის ნაკლებ წინაღობას (R). კუთრი წინაღობის შემოტანისას იგი უზრუნველყოფს უშუალოდ მასალის თვისებისა (ρ) და და კონკრეტული გამტარის წინაღობის (R) მკაფიო გამიჯვნას. |
| **რესურსები** | დაფა/პროექტორი; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.10.3, 1.10.7–1.10.11; ფორმულების ბარათები I = U/R და R = ρℓ/S; მცირე სიტუაციური ბარათები; საჭიროების შემთხვევაში კუთრი წინაღობების ცხრილი. |
| **შეფასება** | „იპოვე შეცდომა“ — მოსწავლე ასწორებს მინიმუმ ორ მცდარ დებულებას და ასაბუთებს ფორმულით ან ექსპერიმენტული კანონზომიერებით. კრიტერიუმები: R და ρ-ის სწორად გამიჯვნა; ფიზიკური სიდიდეების დამოკიდებულებების სიზუსტე; არგუმენტის შესაბამისობა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ორი ფორმულის ვიზუალური ბარათი, სადაც ისრებითაა ნაჩვენები U, I, R, ρ, ℓ და S-ის კავშირები, და შემცირებული არჩევანი „იზრდება/მცირდება/არ იცვლება“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები პასუხებს დამოუკიდებლად ასაბუთებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები ქმნიან ერთ ახალ სიტუაციას, რომელშიც ერთდროულად ორი პარამეტრი იცვლება. |

### შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ოთხ ძირითად დებულებას: 1) მოცემული ლითონის გამტარისთვის მუდმივი ტემპერატურისას I ~ U; 2) წინაღობა R = U/I სიდიდით ახასიათებს გამტარის მიერ დენისადმი გაწეულ წინააღმდეგობას და ომის კანონი იწერება I = U/R; 3) ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა იზრდება მისი სიგრძის ზრდისას და მცირდება განივკვეთის ფართობის გაზრდისას; 4) კუთრი წინაღობა ρ ნივთიერების ელექტრული თვისებაა იგი ახასიათებს ნივთიერების უნარს, შეაფერხოს მასში დენის გავლა და გამტარის წინარობას R = ρℓ/S ფორმულით უკავშირდება.

### სასურველი დასკვნა

ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ექსპერიმენტულად გვიჩვენებს დენის ძალის დამოკიდებულებას ძაბვაზე. ლითონის გამტარისთვის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში სამართლიანია ომის კანონი I = U/R. გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა და ნივთიერების კუთრ წინაღობაზე, რაც გამოიხატება R = ρℓ/S დამოკიდებულებით.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „იპოვე შეცდომა“

მოსწავლეს ეძლევა ოთხი მოკლე დებულება ომის კანონისა და კუთრი წინაღობის შესახებ. იგი პოულობს მცდარ დებულებებს, ასწორებს მათ და თითოეულ შესწორებას ერთ-ერთი ფორმულით — I = U/R ან R = ρℓ/S — ან შესაბამისი ექსპერიმენტული კანონზომიერებით ასაბუთებს. შეფასება ეფუძნება ცნებების სწორ გამიჯვნას (დიფერენცირებას), სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების ხასიათის სწორად დადგენას და არგუმენტაციის ფიზიკურ სიზუსტეს.

### მასწავლებლის ინსტრუქცია

ომის კანონი შემოიტანეთ ექსპერიმენტული მონაცემებიდან და არა მხოლოდ მზა ფორმულის სახით; ხაზი გაუსვით მუდმივი ტემპერატურის პირობას. კუთრი წინაღობის ფორმულამდე მოსწავლეებმა ცალ-ცალკე უნდა დაინახონ ℓ-ის, S-ისა და ნივთიერების გვარობის გავლენა, რათა R = ρℓ/S მათთვის ექსპერიმენტული დასკვნების გაერთიანება იყოს. განსაკუთრებით გაამიჯნეთ წინაღობა R, რომელიც კონკრეტულ გამტარს ახასიათებს, და კუთრი წინაღობა ρ, რომელიც მოცემულ პირობებში ნივთიერების თვისებაა.

### მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:

1. **რა მიზეზშედეგობრივი კავშირია გამტარში დენის ძალასა და მის ბოლოებზე არსებულ ძაბვას შორის?**
   გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა იწვევს ელექტრულ ველს, რომელიც თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედებს. რაც უფრო დიდია ძაბვა, მით მეტია მათზე მოქმედი ძალა, მათი მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და, შესაბამისად, დენის ძალაც. ერთგვაროვან გამტარში დენის ძალა მის ბოლოებს შორის ძაბვის პირდაპირპროპორციულია.
2. **რა უშლის ხელს ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას ლითონის გამტარში?**
   ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას ხელს უშლის მათი ურთიერთქმედება კრისტალური მესრის კვანძებში მყოფ იონებთან. ეს ურთიერთქმედება ამცირებს ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარეს.

3. **R = U/I ფორმულიდან გამომდინარეობს თუ არა, რომ გამტარის წინაღობა მის ბოლოებს შორის ძაბვის პირდაპირპროპორციულია?**
   არა. ომის კანონი სრულდება მაშინ, როდესაც მოცემული გამტარის წინაღობა მუდმივია და მის ბოლოებს შორის ძაბვაზე არ არის დამოკიდებული. ძაბვის გაზრდისას დენის ძალაც იმავე რაოდენობით იზრდება, ამიტომ მათი შეფარდება უცვლელი რჩება.
4. **როგორ შეიძლება განვსაზღვროთ რაიმე მასალის კუთრი წინაღობა?**
   უნდა ავიღოთ ამ მასალისგან დამზადებული გამტარი, განვსაზღვროთ მისი წინაღობა R, სიგრძე ℓ და განივკვეთის ფართობი S, შემდეგ კი გამოვიყენოთ ფორმულა:
   $\rho = RS/\ell$.
   კუთრი წინაღობა რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისგან დამზადებული ერთეული სიგრძისა და ერთეული განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარის წინაღობის.
5. **რატომ არ არის მოსახერხებელი პრაქტიკაში კუთრი წინაღობის SI ერთეულის გამოყენება?**
   რადგან პრაქტიკაში ძირითადად იყენებენ მცირე, რამდენიმე მმ² განივკვეთის მქონე გამტარებს. ამიტომ კუთრი წინაღობის გამოხატვა ომი·მ-ში ნაკლებად მოსახერხებელია და ხშირად იყენებენ ომი·მმ²/მ ერთეულს.
6. **რომელია უკეთესი გამტარი, ოქრო თუ ვერცხლი?**
   ვერცხლი, რადგან მისი კუთრი წინაღობა ნაკლებია ოქროს კუთრ წინაღობაზე.
7. **რომელია უკეთესი იზოლატორი, ებონიტი თუ ფაიფური?**
   ებონიტი, რადგან მისი კუთრი წინაღობა მეტია ფაიფურის კუთრ წინაღობაზე.
8. **რას უწოდებენ რეზისტორს?**
   რეზისტორი არის წრედის კომპონენტი, რომლის ერთადერთი დანიშნულებაა დენისათვის გარკვეული წინაღობის შექმნა.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

რისი ტოლი იქნება დენის ძალა 60 ომი წინაღობის ნათურაში, თუ მის ბოლოებზე ძაბვა 12 ვოლტია?

**ამოხსნა.**

მოც.: $R = 60$ ომი, $U = 12$ ვ.
ომის კანონი წრედის უბნისთვის:

$$I = \frac{U}{R}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით:

$I = \frac{12}{60} = 0.2$ ა.

**პასუხი:** დენის ძალაა 0,2 ა.

**ამოცანა 2**

რა ძაბვა უნდა მოვდოთ 4 კომი წინაღობის გამტარზე, რომ მასში დენის ძალა 50 მა აღმოჩნდეს?

**ამოხსნა.**

მოც.:

$R = 4$ კომი $= 4000$ ომი,

$I = 50$ მა $= 0.05$ ა.

ომის კანონიდან:

$$U = IR.$$

ამიტომ:

$U = 0.05 \cdot 4000 = 200$ ვ.

**პასუხი:** საჭირო ძაბვაა 200 ვ.

**ამოცანა 3***

სურ. 1.10.17-ზე წარმოდგენილ სქემაში ვოლტმეტრის ჩვენება 6 ვ-ია, ამპერმეტრისა კი — 2 მა. რისი ტოლია ვოლტმეტრის წინაღობა?

**ამოხსნა.**

სქემაში ვოლტმეტრი და ამპერმეტრი მიმდევრობითაა ჩართული, ამიტომ ვოლტმეტრშიც იგივე დენი გადის, რასაც ამპერმეტრი აჩვენებს.

მოც.: $U_V = 6$ ვ, $I = 2$ მა $= 0.002$ ა.

ვოლტმეტრის წინაღობა:

$$R_V = \frac{U_V}{I}.$$

$R_V = \frac{6}{0.002} = 3000$ ომი.

**პასუხი:** ვოლტმეტრის წინაღობაა 3000 ომი.

**ამოცანა 4**

ნათურაზე 18 ვ ძაბვის მოდებისას, მასში 400 მა დენი გადის. რა ძაბვა უნდა მოვდოთ ნათურაზე, რომ დენის ძალა მასში 200 მა-ით გაიზარდოს?

**ამოხსნა.**

თავდაპირველად: $U_1 = 18$ ვ, $I_1 = 400$ მა $= 0.4$ ა.

ნათურის წინაღობა:

$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{18}{0.4} = 45$ ომი.

დენის ძალა უნდა გაიზარდოს 200 მა-ით, ამიტომ:

$$I_2 = 400 \text{ მა} + 200 \text{ მა} = 600 \text{ მა} = 0.6 \text{ ა}.$$

საჭირო ძაბვა:

$U_2 = I_2 R = 0.6 \cdot 45 = 27$ ვ.

**პასუხი:** ნათურაზე უნდა მოვდოთ 27 ვ ძაბვა.

**ამოცანა 5**

ორ განსხვავებულ ნათურაზე ერთი და იმავე ძაბვის მოდებისას, დენის ძალა პირველ ნათურაში 25%-ით მეტია, ვიდრე მეორეში. რამდენი პროცენტით განსხვავდება პირველი ნათურის წინაღობა მეორისგან?

**ამოხსნა.**

ერთნაირი ძაბვისას, ომის კანონის მიხედვით, წინაღობა დენის ძალის უკუპროპორციულია:

$$R = \frac{U}{I}.$$

თუ მეორე ნათურაში დენის ძალაა $I_2$, მაშინ პირველში:

$$I_1 = 1.25 I_2.$$

წინაღობათა შეფარდება:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U/I_1}{U/I_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{1.25} = 0.8.$$

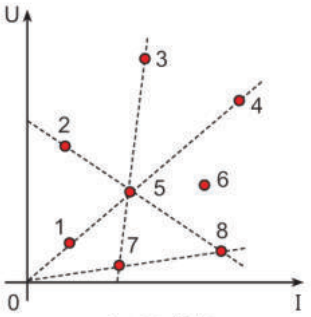
ანუ:

$$R_1 = 0.8 R_2.$$

ეს ნიშნავს, რომ პირველი ნათურის წინაღობა მეორისაზე 20%-ით ნაკლებია.

**პასუხი:** პირველი ნათურის წინაღობა 20%-ით ნაკლებია მეორის წინაღობაზე.

**ამოცანა 6**



სურ. 1.10.18

სურ. 1.10.18-ზე ნაჩვენებია რვა სხვადასხვა წინაღობის რეზისტორში დენის ძალისა და მათ ბოლოებზე ძაბვების შესაბამისობის წერტილოვანი დიაგრამა. დაალაგეთ რეზისტორების წინაღობები ზრდადობის მიხედვით.

**ამოხსნა.**

თითოეული რეზისტორისთვის:

$$R = \frac{U}{I}.$$

$U(I)$ დიაგრამაზე $\frac{U}{I}$ არის სათავიდან მოცემულ წერტილამდე გავლებული სხივის დახრილობის მაჩვენებელი. რაც უფრო მცირეა დახრილობა, მით მცირეა წინაღობა; რაც უფრო დიდია დახრილობა, მით დიდია წინაღობა.

წარმოვიდგინოთ, რომ ყველა წერტილი სათავესთან შევაერთეთ და ვაკვირდებით ზემოთხსენებული სხივის დახრილობას. მივიღებთ:

$$R_7 = R_8 < R_6 < R_1 = R_5 = R_4 < R_3 < R_2.$$

**პასუხი:** $R_7 = R_8 < R_6 < R_1 = R_5 = R_4 < R_3 < R_2$.

**ამოცანა 7**

რამდენი ელექტრონი გაივლის 30 ომი წინაღობის გამტარის განივკვეთში 5 წმ-ის განმავლობაში, თუ მის ბოლოებს შორის ძაბვა 48 ვ-ია?

**ამოხსნა.**

მოც.: $R = 30$ ომი, $U = 48$ ვ, $t = 5$ წმ, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ კ.

ჯერ ვიპოვოთ დენის ძალა:

$I = \frac{U}{R} = \frac{48}{30} = 1.6$ ა.

5 წამში გამტარში გასული მუხტი:

$q = It = 1.6 \cdot 5 = 8$ კ.

რადგან $q = Ne$, ელექტრონების რაოდენობაა:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{8}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{19}.$$

**პასუხი:** გაივლის $5 \cdot 10^{19}$ ელექტრონი.

**ამოცანა 8**

როგორ შეიცვლება მავთულის წინაღობა, თუ მას შუაზე მოვკეცავთ და დავგრეხთ (დაგრეხისას სიგრძის ცვლილება უგულებელყავით)?

**ამოხსნა.**

თავდაპირველად მავთულის წინაღობაა:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}.$$

შუაზე მოკეცვის შემდეგ მავთულის სიგრძე ორჯერ მცირდება:

$$\ell' = \frac{\ell}{2}.$$

ორი ნახევარი ერთმანეთის გვერდით აღმოჩნდება, ამიტომ განივკვეთის ფართობი ორჯერ იზრდება:

$$S' = 2S.$$

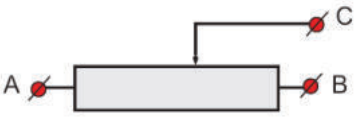
ახალი წინაღობა:

$$R' = \rho\frac{\ell'}{S'} = \rho\frac{\ell/2}{2S} = \rho\frac{\ell}{4S} = \frac{R}{4}.$$

**პასუხი:** მავთულის წინაღობა 4-ჯერ შემცირდება.

**ამოცანა 9***

რეოსტატი დამზადებულია 5 სმ დიამეტრის ცილინდრზე დახვეული 1 მმ² განივკვეთის ნიქრომის მავთულისაგან (სურ. 1.10.19).



სურ. 1.10.19

ა) რა მაქსიმალურ წინაღობაზეა გათვლილი რეოსტატი, თუ მასზე 330 ხვიაა?

ბ) რა დენი გაივლის რეოსტატის AC უბანში, თუ ცოციას მარჯვენა ბოლოდან 1/3 ნაწილზე დავაყენებთ, A და C მომჭერებზე 19 ვ ძაბვას მოვდებთ?

**ამოხსნა.**

ნიქრომის კუთრი წინაღობა ცხრი

ლის მიხედვით არის:

$$\rho = 1.1\ \frac{\text{ომი}\cdot\text{მმ}^2}{\text{მ}}.$$

მოც.: $D = 5$ სმ $= 0.05$ მ, $N = 330$, $S = 1$ მმ$^2$.

ა) ერთი ხვიის სიგრძე ცილინდრის გარშემოწერილობის ტოლია:

$$\ell_1 = \pi D.$$

მთელი მავთულის სიგრძე:

$$\ell = N\pi D = 330\cdot 3.14\cdot 0.05 \approx 51.8 \text{ მ}.$$

მაქსიმალური წინაღობა:

$R_{max} = \rho\frac{\ell}{S} = 1.1\cdot\frac{51.8}{1} \approx 57$ ომი.

**ა) პასუხი:** რეოსტატის მაქსიმალური წინაღობაა 57 ომი.

ბ) ცოცია მარჯვენა ბოლოდან მავთულის სიგრძის $\frac{1}{3}$ **ნაწილზეა, ამიტომ A – დან C –**

**მდე ჩართულია მთლიანი მავთულის** $\frac{2}{3}$ ნაწილი. წინაღობაც სიგრძის პროპორციულია:

$$R_{AC} = \frac{2}{3}R_{max} = \frac{2}{3}\cdot 57 = 38 \text{ ომი}.$$

ომის კანონით:

$I = \frac{U}{R_{AC}} = \frac{19}{38} = 0.5$ ა.

**ბ) პასუხი:** AC უბანში დენის ძალაა 0,5 ა.

**ამოცანა 10***

ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებულ მავთულის ორ ნაჭერს ერთნაირი მასა აქვს, მაგრამ ერთი მათგანის დიამეტრი k-ჯერ მეტია მეორისაზე. რომელ ნაჭერს აქვს მეტი წინაღობა და რამდენჯერ?

**ამოხსნა.**

ორივე ნაჭერი ერთი ნივთიერებისგანაა დამზადებული და მათი მასები ტოლია. ამიტომ მათი მოცულობებიც ტოლია:

$$V_1 = V_2.$$

მავთულის მოცულობაა:

$$V = S\ell.$$

თუ მეორე მავთულის დიამეტრი პირველისაზე $k$-ჯერ მეტია, მისი განივკვეთის ფართობი $k^2$-ჯერ მეტი იქნება:

$$S_2 = k^2 S_1.$$

მოცულობების ტოლობიდან:

$$S_1 \ell_1 = S_2 \ell_2,$$

ამიტომ:

$$\ell_2 = \frac{\ell_1}{k^2}.$$

წინაღობის ფორმულაა:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}.$$

მეორე, უფრო სქელი მავთულის წინაღობა:

$$R_2 = \rho \frac{\ell_2}{S_2} = \rho \frac{\ell_1/k^2}{k^2 S_1} = \frac{R_1}{k^4}.$$

ე.ი. უფრო თხელ მავთულს აქვს უფრო დიდი წინაღობა:

$$R_1 = k^4 R_2.$$

**პასუხი:** უფრო თხელ მავთულს აქვს $k^4$-ჯერ მეტი წინაღობა.

## პარაგრაფი №1.11 — გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ექსპერიმენტული კვლევა და კანონზომიერების ფორმულირება | მიმდევრობითი შეერთება — რომელი ფიზიკური სიდიდეა უცვლელი წრედში და რომელი იცვლება? | მოსწავლე შეძლებს პრაქტიკული გაზომვებით დაადგინოს მიმდევრობით შეერთებულ უბნებში დენის ძალის, ძაბვისა და სრული წინაღობის კანონზომიერებები და მიღებული შედეგები შესაბამის ფორმულებში ასახოს. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; ექსპერიმენტის შედეგების პროგნოზირება, გაზომვა, ვარაუდთან შედარება და მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნა. |
| 2 | ექსპერიმენტული კვლევა და კანონზომიერების ფორმულირება | პარალელური შეერთება — ძაბვა პარალელურ განშტოებებზე და სრული დენის გადანაწილება შტოებს შორის. | მოსწავლე შეძლებს პრაქტიკული გაზომვებით დაადგინოს პარალელურად შეერთებულ შტოებზე ძაბვის, დენის ძალისა და სრული წინაღობის კანონზომიერებები და დააკავშიროს ისინი ფორმულებთან. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; სადემონსტრაციო/საკლასო ექსპერიმენტის ორგანიზება, შედეგების პროგნოზირება და მიღებული მონაცემების ახსნა. |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 3 | პრობლემის გადაჭრა და ცოდნის გამოყენება | შერეული წრედები ამოცანებში — სრული წინაღობის გამოთვლა | მოსწავლე შეძლებს მოსწავლის წიგნის ამოცანების სქემების გაანალიზებას, მიმდევრობითი და პარალელური უბნების ამოცნობას, შესაბამისი ფორმულების თანმიმდევრულ გამოყენებას და შედეგების ფიზიკური არსით გაანალიზებას. | ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური კანონზომიერებების გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განასხვაოს გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება ელექტრული სქემის მიხედვით;
- პრაქტიკული გაზომვებით დაადასტუროს, რომ მიმდევრობით შეერთებისას წრედის ყველა უბანში დენის ძალა ერთნაირია, ხოლო საერთო ძაბვა ცალკეულ უბნებზე ძაბვების ჯამია;
- დაასაბუთოს მიმდევრობითი შეერთების საერთო წინაღობის ფორმულა $R = R_1 + R_2 + \ldots$ და თანაბარი წინაღობებისთვის $R = N \cdot R_1$;
- პრაქტიკული გაზომვებით დაადასტუროს, რომ პარალელური შეერთებისას შტოების ბოლოებს შორის ძაბვა ერთნაირია, ხოლო ჯამური დენის ძალა ამ შტოებში დენის ძალების ჯამია;
- გამოიყენოს პარალელური შეერთების საერთო წინაღობის დამოკიდებულება $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots$ და თანაბარი წინაღობებისთვის $R = R_1/N$;
- სქემაში ამოიცნოს მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული უბნები და შესაბამისი კანონზომიერებები გამოიყენოს ამოცანის ამოხსნისას;
- გაზომვისა და გამოთვლის შედეგები შეადაროს ერთმანეთს და ჩამოაყალიბოს არგუმენ-ტირებული დასკვნა.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების (მაგალითად: ელექტომაგნიტური; თერმოდინამიკური; მექანიკური) თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ბუნების მოვლენების აღმწერი კანონების მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება და ამ კანონების გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;
- სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად აწყობს მიმდევრობით და პარალელურ წრედებს; ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრს შესაბამისი წესით რთავს; გაზომვის შედეგებიდან ადგენს I, U და R სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების კანონზომიერებებს ორივე ტიპის შეერთებისთვის; მიღებულ დასკვნებს შესაბამის ფორმულებთან აკავშირებს; სქემაში სწორად გამოყოფს მიმდევრობით და პარალელურ უბნებს და ამოცანის ამოხსნისას ფორმულებს ლოგიკური თანმიმდევრობით იყენებს.

**აქტივობა 1. მიმდევრობითი შეერთება — რა არის საერთო და რა ნაწილდება წრედში?**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრაქტიკულ სამუშაოზე დაყრდნობით მოსწავლეებმა დაადგინონ გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას დენის ძალის, ძაბვისა და საერთო წინაღობის კანონზომიერებები და მიღებული შედეგები დაფაზე გამოსახონ შესაბამისი ფორმულების სახით. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | რომელი სიდიდეა უცვლელი თითოეული მომხმარებლისთვის და როგორ გადანაწილდება სრული ძაბვა გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მცირე ჯგუფებში აწყობენ 2–3 რეზისტორის/ნათურის მიმდევრობით წრედს მოსწავლის წიგნის სურ. 1.11.1–1.11.2-ის ლოგიკის მიხედვით. გაზომვამდე აკეთებენ პროგნოზს: განსხვავდება თუ არა დენის ძალა სხვადასხვა უბანში და როგორ უკავშირდება წყაროს ძაბვა ცალკეულ მომხმარებლებლის ბოლოებზე გაზომილ ძაბვებს. შემდეგ ამპერმეტრს რიგრიგობით რთავენ სხვადასხვა ადგილას, ვოლტმეტრით კი ზომავენ თითოეული რეზისტორის ბოლოებს შორის და მთელი მიმდევრობითი უბნის ძაბვას. მონაცემები ერთ ცხრილში შეაქვთ. ბოლოს მასწავლებელი დაფაზე მოსწავლეთა შედეგებით აყალიბებს კანონზომიერებებს და ომის კანონის გამოყენებით გამოჰყავს საერთო წინაღობის ფორმულა.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **პრაქტიკული სამუშაო — დენის ძალის შედარება** | • ააწყვეთ დენის წყაროს, ჩამრთველისა და ორი ან სამი რეზისტორისგან შემდგარი მიმდევრობითი წრედი.<br>• ამპერმეტრი ჯერ ჩართეთ პირველ რეზისტორამდე და ჩაიწერეთ $I_1$; შემდეგ იგივე ამპერმეტრი გადაიტანეთ რეზისტორებს შორის და ბოლოს ბოლო რეზისტორის შემდეგ — ჩაიწერეთ $I_2$ და $I_3$.<br>• შეადარეთ გაზომვები და ჩამოაყალიბეთ დასკვნა.<br>$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots$$<br>მიმდევრობით შეერთებულ წრედში დენის ძალა ყველა უბანში ერთნაირია.<br>განვითარებადი უნარები: გაზომვა და მონაცემების გაანალიზება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **პრაქტიკული სამუშაო — ძაბვების შედარება** | • ვოლტმეტრით გაზომეთ ძაბვა თითოეულ რეზისტორზე — $U_1$, $U_2$, $U_3$.<br>• შემდეგ გაზომეთ მთლიანად, მიმდევრობითი უბნის ბოლოებს შორის საერთო ძაბვა U.<br>• შეადარეთ U მნიშვნელობა ცალკეულ უბნებზე ძაბვების ჯამს.<br>$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots$$<br>მიმდევრობით შეერთებული უბნის საერთო ძაბვა ცალკეულ რეზისტორებზე ძაბვების ჯამის ტოლია.<br>განვითარებადი უნარები: მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **დაფაზე ფორმულების მოყვანა — საერთო წინაღობა** | მასწავლებელი ომის კანონს იყენებს მთელი უბნისთვის და თითოეული რეზისტორისთვის. რადგან I ყველა უბანში ერთნაირია და $U = U_1 + U_2 + U_3$, მიიღება:<br>$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$<br>$$R = N \cdot R_1$$<br>$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$<br>ამრიგად, მიმდევრობით შეერთებისას საერთო წინაღობა ცალკეული წინაღობების ჯამია; თანაბარი N რეზისტორის შემთხვევაში $R = N \cdot R_1$. ძაბვები რეზისტორების წინაღობების პროპორციულად ნაწილდება.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფიზიკური მოდელირება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — გაზომვამდე და შეჯამებისას** | • რა ნიშნით ამოვიცნობთ სქემაზე მიმდევრობით შეერთებას?<br>• როგორია დენის ძალა მიმდევრობითი წრედის სხვადასხვა უბანში?<br>• როგორ უკავშირდება საერთო ძაბვა ცალკეულ რეზისტორებზე ძაბვებს?<br>• როგორ გამოითვლება მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორების საერთო წინაღობა?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პრაქტიკული მუშაობისას** | • რატომ გვიწევს ამპერმეტრის მიმდევრობით ჩართვა იმ უბანში, სადაც დენის ძალას ვზომავთ?<br>• როგორ გავზომეთ საერთო ძაბვა და თითოეულ რეზისტორზე ძაბვა?<br>• როგორ მივიღეთ გაზომვებიდან $R = R_1 + R_2 + R_3$ ფორმულა?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას** | • თუ მიმდევრობით წრედში ერთ-ერთი მომხმარებელი მწყობრიდან გამოვიდა, შეწყდება თუ არა დენი დანარჩენ მომხმარებლებში? რატომ?<br>• თუ მიმდევრობით შეერთებულ ერთნაირ რეზისტორებს კიდევ ერთი ისეთივე რეზისტორი დავამატეთ, როგორ შეიცვლება საერთო წინაღობა?<br>• თუ მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორების წრედში ერთ-ერთ რეზისტორს სხვებზე მეტი წინაღობა აქვს, მასზე ძაბვა უფრო დიდი იქნება თუ მცირე? რატომ?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ფორმულებს ექსპერიმენტამდე არ აცხადებს. ჯერ სთხოვს მოსწავლეებს პროგნოზს, შემდეგ გაზომვებს შეადარებინებს და მხოლოდ ამის შემდეგ აჯამებს შედეგებს დაფაზე. შეცდომის შემთხვევაში მზა პასუხის ნაცვლად აბრუნებს მოსწავლეებს სქემასთან და კითხვით ამოწმებინებს, სად გადის ერთი და იგივე დენი და რომელ წერტილებს შორის იზომება ძაბვა. |
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი დენის წყარო; 2–3 რეზისტორი ან დაბალძაბვიანი ნათურა; ამპერმეტრი; ვოლტმეტრი; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.11.1–1.11.2; მონაცემების სამუშაო ცხრილი; დაფა. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო; წრედის გადაწყობისას წყარო გათიშეთ; არ დაუშვათ მოკლე ჩართვა; ამპერმეტრი არ ჩართოთ წყაროს პოლუსებზე პარალელურად; ვოლტმეტრი შესაბამის უბანს პარალელურად შეუერთეთ და დაიცავით პოლარობა. |
| **შეფასება** | „გაზომვა → კანონზომიერება → ფორმულა“ — ჯგუფი წარმოადგენს ერთ გაზომვით შედეგს, სიტყვიერად აყალიბებს შესაბამის კანონზომიერებას და მას ფორმულით გამოსახავს. კრიტერიუმები: ხელსაწყოების სწორი ჩართვა; მონაცემების სიზუსტე; დასკვნისა და ფორმულის შესაბამისობა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ცხრილი $I_1$, $I_2$, $I_3$, $U_1$, $U_2$, $U_3$, U სვეტებით და ილუსტრირებული მინიშნება ამპერმეტრის/ვოლტმეტრის ჩართვის შესახებ. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ცხრილს დამოუკიდებლად ავსებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ასაბუთებენ $U_1:U_2 = R_1:R_2$ დამოკიდებულებას. |

**შუალედური დასკვნა**

მიმდევრობით შეერთებისას წრედის ყველა უბანში დენის ძალა ერთნაირია, წრედის ბოლოებზე ძაბვა ცალკეულ უბნებზე ძაბვების ჯამია, ხოლო წრედის სრული წინაღობა ცალკეული წინაღობების ჯამით განისაზღვრება: $I = I_1 = I_2 = \ldots$; $U = U_1 + U_2 + \ldots$; $R = R_1 + R_2 + \ldots$.

**აქტივობა 2. პარალელური შეერთება — ძაბვა განშტოებებზე და დენის განაწილება**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრაქტიკული სამუშაოს საფუძველზე მოსწავლეებმა დაადგინონ პარალელურად შეერთებულ შტოებზე ძაბვის, დენის ძალისა და სრული წინაღობის კანონზომიერებები და მიღებული შედეგები შესაბამისი ფორმულებით გააერთიანონ დაფაზე. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | რა არის საერთო პარალელურად შეერთებული განშტოებისთვის და როგორ ნაწილდება საერთო დენი მათ შორის? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მცირე ჯგუფებში აწყობენ ორი ან სამი რეზისტორის პარალელურ წრედს მოსწავლის წიგნის სურ. 1.11.3–1.11.4-ის პრინციპით. გაზომვამდე წინასწარ მსჯელობენ, როგორი იქნება ძაბვა თითოეულ ტოტზე და როგორ გაიყოფა დენი განშტოების კვანძში. ვოლტმეტრით ზომავენ ძაბვას თითოეულ შტოში, ამპერმეტრით — საერთო დენს კვანძამდე და დენებს ცალკეულ განშტოებაში. მონაცემების შედარების შემდეგ მასწავლებელი დაფაზე აყალიბებს კანონზომიერებებს და ომის კანონის საშუალებით გამოჰყავს საერთო წინაღობის დამოკიდებულება.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **პრაქტიკული სამუშაო — ძაბვების შედარება** | • ააწყვეთ ორი ან სამი რეზისტორის პარალელური შეერთება.<br>• ვოლტმეტრი რიგრიგობით შეუერთეთ თითოეული განშტოების ბოლოებს და გაზომეთ $U_1$, $U_2$, $U_3$.<br>• გაზომეთ ძაბვა მთელი პარალელური უბნის ბოლოებს შორის U და შეადარეთ მიღებულ მნიშვნელობებს.<br>$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$<br>პარალელურად შეერთებული ყველა განშტოების ბოლოებს შორის ძაბვა ერთნაირია.<br>განვითარებადი უნარები: გაზომვა და მონაცემების გაანალიზება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **პრაქტიკული სამუშაო — დენის ძალის განაწილება** | • ამპერმეტრით გაზომეთ საერთო დენი განშტოების კვანძამდე — I.<br>• შემდეგ გაზომეთ დენის ძალა თითოეულ შტოში — $I_1$, $I_2$, $I_3$.<br>• შეადარეთ საერთო დენი განშტოებებში დენების ჯამს და გაიხსენეთ მუხტის შენახვის იდეა: კვანძში მუხტი არ გროვდება.<br>$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$<br>პარალელური შეერთებისას საერთო დენის ძალა განშტოებებში დენის ძალების ჯამის ტოლია.<br>განვითარებადი უნარები: მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **დაფაზე ფორმულების მოყვანა — საერთო წინაღობა** | მასწავლებელი იყენებს ომის კანონს მთლიანი უბნისთვის და თითოეული განშტოებისთვის. რადგან U ყველა შტოზე ერთნაირია და $I = I_1 + I_2 + I_3$, მიიღება:<br>$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$$<br>$$R = R_1/N$$<br>$$I_1 : I_2 : I_3 = 1/R_1 : 1/R_2 : 1/R_3$$<br>ამრიგად, პარალელური შეერთებისას საერთო წინაღობა ყოველთვის ნაკლებია თითოეული შტოს წინაღობაზე. თანაბარი N რეზისტორის შემთხვევაში $R = R_1/N$. დენი განშტოებებში წინაღობების უკუპროპორციულად ნაწილდება.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფიზიკური მოდელირება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — გაზომვამდე და შეჯამებისას** | • რა ნიშნით ამოვიცნობთ სქემაზე პარალელურ შეერთებას?<br>• როგორია ძაბვა პარალელურად შეერთებული განშტოებების ბოლოებს შორის?<br>• როგორ უკავშირდება საერთო დენი განშტოებში გამავალ დენებს?<br>• როგორ გამოითვლება პარალელურად შეერთებული რეზისტორების საერთო წინაღობა?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პრაქტიკული მუშაობისას** | • როგორ შეარჩიეთ წერტილები, რომელთა შორისაც ვოლტმეტრი უნდა ჩაგერთოთ თითოეული განშტოების ბოლოზე ძაბვის გასაზომად?<br>• როგორ გაზომეთ საერთო დენი და შტოებში დენები?<br>• როგორ შეამოწმეთ ექსპერიმენტულად $I = I_1 + I_2 + I_3$ დამოკიდებულება?<br>• როგორ მივიღეთ ომის კანონიდან $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას** | • რატომ არ ითიშება პარალელურ წრედში ყველა მომხმარებელი, თუ ერთ-ერთი შტო გაწყდა?<br>• თუ პარალელურ წრედს კიდევ ერთი შტო დავუმატეთ, როგორ შეიცვლება საერთო წინაღობა?<br>• რომელ განშტოებაში გაივლის მეტი დენი — უფრო დიდი თუ უფრო მცირე წინაღობის მქონეში? რატომ?<br>• რატომ არის საყოფაცხოვრებო ელექტრომოწყობილობების პარალელური ჩართვა პრაქტიკული?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ყურადღებას ამახვილებს კვანძებზე და იმაზე, რომ ყველა პარალელური განშტოება ერთსა და იმავე ორ წერტილს შორისაა ჩართული. მოსწავლეებს ჯერ გაზომვებიდან ადგენენ U-სა და I-ს შორის კანონზომიერებებს, შემდეგ კი ომის კანონს იყენებენ საერთო წინაღობის ფორმულის მისაღებად. მასწავლებელი მოითხოვს პასუხების ექსპერიმენტული მონაცემით ან სქემით დასაბუთებას. |
| **რესურსები** | დაბალძაბვიანი დენის წყარო; 2–3 რეზისტორი ან დაბალძაბვიანი ნათურა; ამპერმეტრი; ვოლტმეტრი; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.11.3–1.11.4; მონაცემების სამუშაო ცხრილი; დაფა. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო; წრედის გადაკეთებისას წყარო გათიშეთ; არ დაუშვათ წყაროს პოლუსების პირდაპირი შეერთება; ამპერმეტრი არასოდეს ჩართოთ წყაროსთან პარალელურად; გაზომვის დიაპაზონი წინასწარ შეარჩიეთ ისე, რომ ხელსაწყო არ გადაიტვირთოს. |
| **შეფასება** | „სქემა → გაზომვა → დასკვნა“ — ჯგუფი ხსნის ერთ კანონზომიერებას პარალელური შეერთებისთვის და მიუთითებს შესაბამის გაზომვებს. კრიტერიუმები: განშტოებისა და კვანძების სწორად ამოცნობა; ხელსაწყოს სწორი ჩართვა; ფორმულისა და მონაცემის შესაბამისობა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემა, სადაც ერთი ფერითაა მონიშნული საერთო ორი კვანძი და ცალკე ფერებით — განშტოებები; მონაცემთა ცხრილში ნაწილობრივ შევსებულია U და I სვეტები. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად ადგენენ კანონზომიერებებს. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ასაბუთებენ $I_1:I_2 = R_2:R_1$ დამოკიდებულებას ორი განშტოებისთვის. |

**შუალედური დასკვნა**

პარალელური შეერთებისას ყველა განშტოების ბოლოებს შორის ძაბვა ერთნაირია, ჯამური დენის ძალა განშტოებებში დენების ჯამია, ხოლო საერთო წინაღობა აკმაყოფილებს

დამოკიდებულებას $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots$ . საერთო წინაღობა თითოეული ცალკეული განშტოების წინაღობაზე ნაკლებია.

**აქტივობა 3. შერეული წრედები ამოცანებში — სრული წინაღობის პოვნა**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | პრობლემის გადაჭრა და ცოდნის გამოყენება — მოსწავლეებმა სქემაში ამოიცნონ მიმდევრობითი და პარალელური უბნები, სწორად შეარჩიონ შესაბამისი ფორმულები და მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ამოცანები ნაბიჯებად ამოხსნან. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ დავყოთ რთული ელექტრული სქემა მარტივ მიმდევრობით და პარალელურ უბნებად ისე, რომ საერთო წინაღობა სწორად ვიპოვოთ? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მუშაობენ წყვილებში. თითოეულ ამოცანაში ჯერ სქემაზე ფერით გამოყოფენ მიმდევრობით და პარალელურ უბნებს, შემდეგ წერენ საჭირო კანონზომიერებებს და მხოლოდ ამის შემდეგ იწყებენ გამოთვლას. მასწავლებელი რიცხვით პასუხს წინასწარ არ აძლევს; ამოწმებს, სწორად არის თუ არა ამოცნობილი შეერთების ტიპი და სწორად არის თუ არა გამოყენებული იდეალური ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის თვისებები.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **ამოცანა 1 — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | სურ. 1.11.5-ა-ზე ნაჩვენებ სქემაზე ვოლტმეტრი 24 ვ ძაბვას აჩვენებს, ამპერმეტრი კი 20 მა დენს (ორივე ხელსაწყო იდეალურია). დაადგინეთ R-ის მნიშვნელობა. |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ამოცანა 1** | • დაადგინეთ, როგორ არის შეერთებული R, 2R და 3R რეზისტორები და ჩაწერეთ მათი საერთო წინაღობა.<br>• გაიაზრეთ იდეალური ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩართვის გავლენა სქემაზე.<br>• გადაიყვანეთ 20 მა SI ერთეულში.<br>• ომის კანონით განსაზღვრეთ A და B წერტილებს შორის საერთო წინაღობა.<br><br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **ამოცანა 2 — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | რისი ტოლია სურ. 1.11.5-ბ-ზე წარმოდგენილ სქემაში $R_4$ წინაღობის მნიშვნელობა, თუ AB უბნის წინაღობა R_AB = 100 ომი, $R_1$ = 30 ომი, $R_2$ = 40 ომი და $R_3$ = 60 ომი? |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ამოცანა 2** | • სქემაზე გამოყავით $R_2$ და $R_3$ პარალელური უბანი და იპოვეთ მისი წინაღობა.<br>• დაადგინეთ, როგორ არის ეს უბანი შეერთებული $R_1$-სა და $R_4$-თან.<br>• ჩაწერეთ AB უბნის სრული წინაღობა მიმდევრობითი შეერთების წესით.<br>• მოცემული R_AB მნიშვნელობიდან გამოყავით უცნობი $R_4$ და შეასრულეთ გამოთვლა.<br>• შედეგი გადაამოწმეთ: საერთო წინაღობა უნდა იყოს $R_1$-ის, პარალელური უბნის წინაღობისა და $R_4$-ის ჯამი.<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოცანის დაწყებისას** | • როგორ გამოითვლება მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორების საერთო წინაღობა?<br>• როგორ გამოითვლება ორი პარალელურად შეერთებული რეზისტორის საერთო წინაღობა?<br>• რა დაშვება კეთდება იდეალური ამპერმეტრისა და იდეალური ვოლტმეტრის შიგა წინაღობის შესახებ ელექტრული სქემის გაანალიზებისას?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოხსნისას** | • რა ნიშნით დაადგინეთ, რომელი რეზისტორებია მიმდევრობით და რომელი — პარალელურად შეერთებული?<br>• რატომ ვიწყებთ რთული სქემის გამარტივებას შიდა პარალელური ან მიმდევრობითი უბნის წინაღობის პოვნით?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ტრანსფერისას** | • თუ პარალელურ უბანში კიდევ ერთ განშტოებას დავამატებდით, როგორ შეიცვლებოდა ამ უბნის წინაღობა?<br>• თუ მიმდევრობით უბანში დამატებით რეზისტორს ჩავრთავდით, როგორ შეიცვლებოდა სრული წინაღობა?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ამოცანის ამოხსნას არ იწყებს ფორმულის მიწოდებით. მოსწავლეებს ჯერ სთხოვს სქემის სტრუქტურის აღწერას და შეერთების ტიპების მონიშვნას. თუ შეცდომაა, სვამს კითხვას: „ეს ორი რეზისტორი ნამდვილად ერთსა და იმავე ორ კვანძს შორისაა?“ ან „ამ ორ რეზისტორს შორის არის თუ არა განშტოება?“ მხოლოდ ამის შემდეგ გადადის გამოთვლაზე. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა — სურ. 1.11.5 ა–ბ; დაფა/პროექტორი; ფერადი მარკერები სქემის უბნების გამოსაყოფად; კალკულატორი; სამუშაო ფურცელი „უბანი → შეერთების ტიპი → ეკვივალენტური წინაღობა“. |
| **შეფასება** | ურთიერთშეფასება „სამი შემოწმება“ — წყვილები ერთმანეთს უმოწმებენ: 1) შეერთების ტიპების სწორ ამოცნობას; 2) შესაბამისი ფორმულის სწორ არჩევანს; 3) საბოლოო წინაღობის ლოგიკურ შემოწმებას. კრიტერიუმები: სქემის ანალიზი; ფორმულის შესაბამისობა; გამოთვლის თანმიმდევრობა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ სქემის ფერებით კოდირებული ვერსია და ამოხსნის ეტაპებად დაყოფილი ჩარჩო: „გამოვყოთ უბანი → განვსაზღვროთ შეერთება → ვიპოვოთ უბნის R  გავამარტივოთ სქემა“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემას თავად ანაწევრებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, როგორ შეიცვლებოდა შედეგი ერთ-ერთი რეზისტორის გაორმაგებისას. |

### შეჯამება

მოსწავლეები აჯამებენ: მიმდევრობით შეერთებისას $I = I_1 = I_2 = \ldots$, $U = U_1 + U_2 + \ldots$, $R = R_1 + R_2 + \ldots$; პარალელური შეერთებისას $U = U_1 = U_2 = \ldots$, $I = I_1 + I_2 + \ldots$, $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots$. ამ კანონებით რთული წრედი მარტივ წრედამდე დაიყვანება.

### სასურველი დასკვნა

გამტარების შეერთების ტიპი განსაზღვრავს, როგორ ნაწილდება წრედში დენის ძალა და ძაბვა და როგორ გამოითვლება საერთო წინაღობა. მიმდევრობითი შეერთებისას წრედი ერთ ჩაკეტილ კონტურს ქმნის, პარალელური შეერთებისას კი დენი კვანძიდან რამდენიმე შტოზე გადანაწილდება. შესაბამისი კანონზომიერებების ცოდნა გვაძლევს როგორც ექსპერიმენტული მონაცემების ახსნის, ისე რთული ელექტრული სქემების გამარტივებისა და ამოცანების ამოხსნის საშუალებას.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „დაასრულე სქემა“

მოსწავლეს ეძლევა ორი ნაწილობრივ შევსებული კონცეპტუალური სქემა — „მიმდევრობითი შეერთება“ და „პარალელური შეერთება“. თითოეულში უნდა შეავსოს I, U და R-ს შესაბამისი სამი კანონზომიერება და ერთ-ერთ მათგანს დაურთოს მოკლე სიტყვიერი განმარტება. შეფასება

ეფუძნება შეერთების ტიპების სწორ გამიჯვნას, ფორმულების სიზუსტესა და ფიზიკური აზრის სწორ გადმოცემას.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

გამტართა მიმდევრობითი და პარალელური შეერთების კანონზომიერებები ჯერ ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით ჩამოაყალიბეთ, ხოლო შემდეგ განაზოგადეთ დაფაზე მათემატიკური ფორმულებით. განსაკუთრებული ყურადღება მიაქციეთ ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის სწორ ჩართვას, კვანძების ამოცნობას და იმას, რომ პარალელური შეერთება ნიშნავს კომპონენტების ერთსა და იმავე ორ წერტილს შორის ჩართვას. ამოცანებში მოითხოვეთ სქემის სტრუქტურის ახსნა ფორმულის გამოყენებამდე.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **როგორ შეერთებას უწოდებენ მიმდევრობითს?**
   მიმდევრობითია ისეთი შეერთება, როდესაც წრედში განშტოება არ არის და ყველა კომპონენტი ერთმანეთის თანმიმდევრობითაა ჩართული.
2. **რატომ არის მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში დენის ძალა ერთნაირი?**
   რადგან მიმდევრობით შეერთებისას წრედში განშტოება არ არის და მუხტი ვერსად გროვდება, ვერც დაიკარგება. ამიტომ დროის ერთსა და იმავე შუალედში ყველა გამტარის განივკვეთში ერთნაირი მუხტი გადის, შესაბამისად დენის ძალაც ერთნაირია.
3. **მიმდევრობით შეერთებული სხვადასხვა წინაღობებიდან რომლის ბოლოებზე არის მეტი ძაბვა?**
   მეტი ძაბვაა უფრო დიდი წინაღობის ბოლოებზე. მიმდევრობითი შეერთებისას ძაბვები წინაღობების პირდაპირპროპორციულია.
4. **როგორ შეერთებას უწოდებენ პარალელურს?**
   პარალელურია ისეთი შეერთება, როდესაც შეერთებულ მომხმარებლებს აქვთ ორი საერთო წერტილი — ერთ წერტილში დენი განშტოვდება, მეორეში კი კვლავ ერთდება.
5. **რა უპირატესობა აქვს მომხმარებლების პარალელურ შეერთებას მიმდევრობითთან შედარებით?**
   პარალელური შეერთება საშუალებას გვაძლევს მომხმარებლები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ჩავრთოთ ან გამოვრთოთ. ერთი მომხმარებლის გამორთვა დანარჩენების მუშაობას არ წყვეტს.
6. **რატომ არის პარალელურად შეერთებული წინაღობების ბოლოებზე ძაბვები ერთნაირი?**
   რადგან პარალელურად შეერთებულ ყველა წინაღობას ორი საერთო წერტილი აქვს. ამ ორ წერტილს შორის მუხტის გადატანისას ერთნაირი მუშაობა სრულდება, ამიტომ თითოეული წინაღობის ბოლოებზე ძაბვაც ერთნაირია.
7. **პარალელურად შეერთებული წინაღობებიდან რომელშია ნაკლები დენის ძალა?**
   ნაკლები დენის ძალა გადის უფრო დიდი წინაღობის მქონე გამტარში, რადგან პარალელური შეერთებისას დენის ძალები წინაღობების უკუპროპორციულია.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

რისი ტოლია ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებული 10 კომი, 25 კომი და 50 კომი წინაღობების მქონე რეზისტორებით შედგენილი წრედის უბნის სრული წინაღობა?

**ამოხსნა**

მიმდევრობითი შეერთებისას სრული წინაღობა ცალკეული წინაღობების ჯამის ტოლია:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$R = 10 + 25 + 50 = 85$ კომი.

პასუხი: 85 კომი.

**ამოცანა 2**

რისი ტოლია ერთმანეთთან პარალელურად შეერთებული 10 კომი, 25 კომი და 50 კომი წინაღობების მქონე რეზისტორებით შედგენილი წრედის უბნის სრული წინაღობა?

**ამოხსნა**

პარალელური შეერთებისას სრული წინაღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული წინაღობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50} = \frac{5 + 2 + 1}{50} = \frac{8}{50}$$

$R = \frac{50}{8} = 6{,}25$ კომი.

პასუხი: 6,25 კომი.

**ამოცანა 3**

წრედის უბანი ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებული 6 ერთნაირი ნათურისგან შედგება. რამდენჯერ შეიცვლება უბნის წინაღობა, თუ ექვსივე ნათურას ერთმანეთთან პარალელურად ჩავრთავთ?

**ამოხსნა**

თუ თითოეული ნათურის წინაღობა R-ია, ექვსი ერთნაირი ნათურის მიმდევრობითი შეერთებისას:

$$R_s = 6R$$

ექვსივე ნათურის პარალელური შეერთებისას:

$$R_p = \frac{R}{6}$$

ვიპოვოთ, რამდენჯერ განსხვავდება ეს წინაღობები:

$$\frac{R_s}{R_p} = \frac{6R}{R/6} = 36$$

ამრიგად, პარალელურად შეერთებისას მიმდევრობითთან შედარებით უბნის სრული წინაღობა 36-ჯერ შემცირდება.

პასუხი: შემცირდება 36-ჯერ.

**ამოცანა 4**

მოცემული გვაქვს R = 3 კომი წინაღობის სამი ერთნაირი რეზისტორი. სამივეს გამოყენებით რამდენი განსხვავებული წრედის უბნის შექმნაა შესაძლებელი? რისი ტოლია თითოეულ შემთხვევაში უბნის სრული წინაღობა?

**ამოხსნა**

სამივე ერთნაირი რეზისტორის გამოყენებით მიიღება ოთხი არსებითად განსხვავებული შეერთება.

1) სამივე მიმდევრობით:

$R_1 = 3R = 3 \cdot 3 = 9$ კომი.

2) სამივე პარალელურად:

$R_2 = \frac{R}{3} = \frac{3}{3} = 1$ კომი.

3) ორი რეზისტორი პარალელურად, მიღებული წყვილი კი მესამესთან მიმდევრობით:

$R_3 = \frac{R}{2} + R = \frac{3}{2} + 3 = 4{,}5$ კომი.

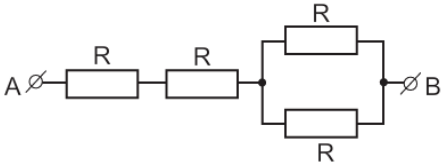
4) ორი რეზისტორი მიმდევრობით, მიღებული 2R წინაღობა კი მესამე R რეზისტორთან პარალელურად:

$R_4 = \frac{2R \cdot R}{2R + R} = \frac{2R}{3} = 2$ კომი.

პასუხი: 4 შემთხვევა; სრული წინაღობები: 1 კომი, 2 კომი, 4,5 კომი და 9 კომი.

**ამოცანა 5**

წრედის AB უბანი R წინაღობის ოთხი ერთნაირი რეზისტორითაა შედგენილი: ერთი წყვილი ერთმანეთთან მიმდევრობითაა ჩართული, მეორე კი — პარალელურად. თავის მხრივ ეს წყვილები AB უბანზე ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებას ქმნიან (სურ. 1.11.17). რისი ტოლია AB უბნის წინაღობა?



სურ. 1.11.17

**ამოხსნა**

მიმდევრობით შეერთებული პირველი წყვილის წინაღობაა:

$$R_s = R + R = 2R$$

პარალელურად შეერთებული მეორე წყვილის წინაღობაა:

$$R_p = \frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{R}{2}$$

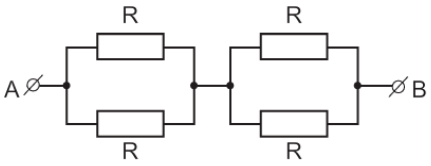
ეს ორი ეკვივალენტური წინაღობა ერთმანეთთან მიმდევრობითაა შეერთებული, ამიტომ:

$$R_{AB} = 2R + \frac{R}{2} = \frac{5R}{2} = 2{,}5R$$

პასუხი: 2,5R.

**ამოცანა 6**

წრედის AB უბანი R წინაღობის ოთხი ერთნაირი რეზისტორითაა შედგენილი — ერთმანეთთან პარალელურად შეერთებული ერთი წყვილი მიმდევრობითაა ჩართული მეორე, ასევე პარალელურად შეერთებულ წყვილთან (სურ. 1.11.18). რისი ტოლია AB უბნის წინაღობა?



სურ. 1.11.18

**ამოხსნა**

თითოეული პარალელური წყვილის ეკვივალენტური წინაღობაა:

$$R_p = \frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{R}{2}$$

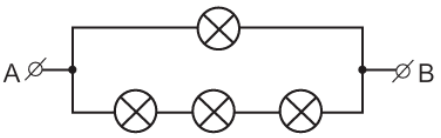
ორი ასეთი წყვილი ერთმანეთთან მიმდევრობითაა შეერთებული:

$$R_{AB} = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R$$

პასუხი: R.

**ამოცანა 7**

წრედის AB უბანი ორი პარალელური განშტოებისგან შედგება — ერთში R = 100 ომი წინაღობის მხოლოდ ერთი ნათურაა ჩართული, მეორეში კი მიმდევრობით შეერთებული სამი ისეთივე ნათურა (სურ. 1.11.19). ა) რისი ტოლია AB უბნის წინაღობა? ბ) რისი ტოლი იქნება ძაბვა სამნათურიანი შტოს თითოეულ ნათურაზე, თუ AB უბანზე ძაბვის მოდებისას ერთნათურიან შტოში გამავალი დენის ძალის მნიშვნელობა 60 მა-ია?



სურ. 1.11.19

**ამოხსნა**

ა) ერთნათურიანი შტოს წინაღობაა $R_1$ = 100 ომი. სამნათურიანი შტოს სამივე ნათურა მიმდევრობითაა შეერთებული, ამიტომ:

$R_2 = 3R = 300$ ომი.

ორი შტო ერთმანეთთან პარალელურადაა შეერთებული:

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 300}{100 + 300} = 75 \text{ ომი.}$$

ბ) პარალელური შტოების ბოლოებზე ძაბვა ერთნაირია. ერთნათურიან შტოში $I_1$ = 60 მა = 0,06 ა, ამიტომ:

$$U_{AB} = I_1 R_1 = 0{,}06 \cdot 100 = 6 \text{ ვ.}$$

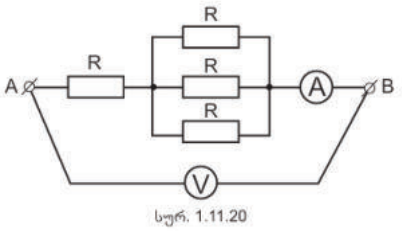
სამნათურიან შტოზეც მთლიანად 6 ვ ძაბვაა. სამი ერთნაირი, მიმდევრობით შეერთებული ნათურის ბოლოებზე ძაბვები თანაბრად ნაწილდება:

$$U_1 = \frac{6}{3} = 2 \text{ ვ.}$$

პასუხი: ა) 75 ომი; ბ) 2 ვ.

**ამოცანა 8**

სურ. 1.11.20-ზე წარმოდგენილ სქემაში ვოლტმეტრის ჩვენება 24 ვ-ია, ამპერმეტრისა კი — 3 მა (ამპერმეტრი იდეალურია). დაადგინეთ R-ის მნიშვნელობა.



სურ. 1.11.20

**ამოხსნა**

სქემაში ერთი R რეზისტორი მიმდევრობითაა ჩართული სამი ერთნაირი R რეზისტორის პარალელურ ჯგუფთან. იდეალური ამპერმეტრი მთელ უბანში გამავალ დენს ზომავს, ვოლტმეტრი კი AB უბნის ძაბვას.

AB უბნის სრული წინაღობა ომის კანონით:

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I} = \frac{24}{0{,}003} = 8000 = 8 \cdot 10^3 \text{ ომი.}$$

სამი ერთნაირი R წინაღობის რეზისტორის პარალელური ჯგუფის წინაღობა R/3-ია, ამიტომ:

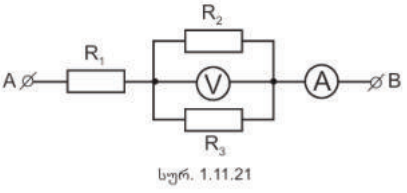
$$R_{AB} = R + \frac{R}{3} = \frac{4R}{3}$$

$$R = \frac{3R_{AB}}{4} = \frac{3 \cdot 8}{4} = 6 \text{ კომი.}$$

პასუხი: 6 კომი.

**ამოცანა 9**

სურ. 1.11.21-ზე წარმოდგენილ სქემაში A და B მომჭერებს შორის ძაბვა 18 ვოლტია. ვოლტმეტრის ჩვენება 6 ვ-ია, ამპერმეტრისა კი — 400 მა (ორივე ხელსაწყო იდეალურია). დაადგინეთ თითოეული რეზისტორის წინაღობა, თუ $R_3 = 3R_2$.



სურ. 1.11.21

**ამოხსნა**

$R_1$ რეზისტორი მიმდევრობითაა ჩართული $R_2$ და $R_3$ რეზისტორების პარალელურ ჯგუფთან. ვოლტმეტრი პარალელური ჯგუფის ბოლოებზე 6 ვ-ს აჩვენებს.

ამიტომ $R_1$-ის ბოლოებზე ძაბვაა:

$$U_1 = U_{AB} - U_{\text{პარ}} = 18 - 6 = 12 \text{ ვ.}$$

ამპერმეტრი მთელ უბანში გამავალ I = 400 მა = 0,4 ა დენს ზომავს, რომელიც $R_1$-შიც გადის:

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{12}{0{,}4} = 30 \text{ ომი.}$$

პარალელურ შტოებში დენის ძალების ჯამი 0,4 ა-ია. რადგან ორივე რეზისტორზე ძაბვა 6 ვ-ია და $R_3 = 3R_2$:

$$0{,}4 = \frac{6}{R_2} + \frac{6}{R_3} = \frac{6}{R_2} + \frac{6}{3R_2}$$

$$0{,}4 = \frac{8}{R_2}$$

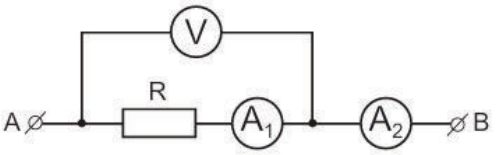
$R_2 = 20$ ომი.

$R_3 = 3R_2 = 60$ ომი.

პასუხი: $R_1$ = 30 ომი; $R_2$ = 20 ომი; $R_3$ = 60 ომი.

**ამოცანა 10**

სურ. 1.11.22-ზე წარმოდგენილ სქემაში ვოლტმეტრის ჩვენება 36 ვ-ია. პირველი ამპერმეტრის ჩვენება 180 მა-ია, მეორის კი 200 მა (ამპერმეტრები იდეალურია). დაადგინეთ რეზისტორის და ვოლტმეტრის წინაღობები. შეადარეთ ისინი ერთმანეთს.



სურ. 1.11.22

**ამოხსნა**

იდეალური $A_1$ ამპერმეტრი R რეზისტორთან მიმდევრობითაა ჩართული, ამიტომ რეზისტორში $I_R$= 180 მა = 0,18 ა დენი გადის. ვოლტმეტრი ამ უბნის ბოლოებზე 36 ვ-ს აჩვენებს.

$$R = \frac{U}{I_R} = \frac{36}{0{,}18} = 200 \text{ ომი.}$$

$A_2$ ამპერმეტრი მთლიან დენს ზომავს. ამიტომ ვოლტმეტრის შტოში გამავალი დენი არის მთლიან და რეზისტორის დენებს შორის სხვაობა:

$$I_V = 200 \text{ მა} - 180 \text{ მა} = 20 \text{ მა} = 0{,}02 \text{ ა.}$$

ვოლტმეტრის წინაღობა:

$$R_V = \frac{U}{I_V} = \frac{36}{0{,}02} = 1800 \text{ ომი.}$$

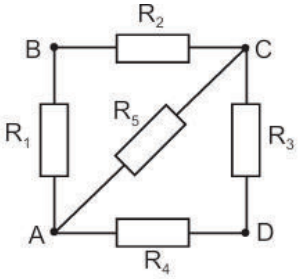
შევადაროთ:

$$\frac{R_V}{R} = \frac{1800}{200} = 9$$

პასუხი: რეზისტორის წინაღობა 200 ომია, ვოლტმეტრის — 1800 ომი; ვოლტმეტრის წინაღობა 9-ჯერ მეტია.

**ამოცანა 11**

სურ. 1.11.23-ზე წარმოდგენილ წრედში ყველა რეზისტორის წინაღობა ერთნაირია და R = 24 ომის ტოლია. ა) რისი ტოლი იქნება ამ წრედის წინაღობა, თუ მას A და C წერტილებით ჩავრთავთ მუდმივი ძაბვის ქსელში? ბ) რისი ტოლი იქნება ამ დროს მე-3 რეზისტორის მიერ მოხმარებული დენის სიმძლავრე, თუ A და C წერტილებს შორის ძაბვა 120 ვ-ია?



სურ. 1.11.23

**ამოხსნა**

ა) A და C წერტილებს შორის სამი პარალელური გზა გვაქვს: პირდაპირი დიაგონალური $R_5$ რეზისტორი, A–B–C გზა ორი მიმდევრობითი რეზისტორით და A–D–C გზა კიდევ ორი მიმდევრობითი რეზისტორით. ამიტომ მათი წინაღობებია R, 2R და 2R.

$$\frac{1}{R_{AC}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{2}{R}$$

$$R_{AC} = \frac{R}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ ომი.}$$

ბ) მე-3 რეზისტორი A–D–C შტოშია, სადაც ორი 24 ომიანი რეზისტორი მიმდევრობითაა შეერთებული. ამ შტოს წინაღობაა 48 ომი და მასზე სრულად მოდებულია UAC = 120 ვ.

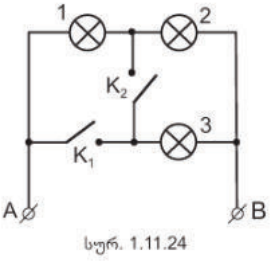
$$I = \frac{U_{AC}}{2R} = \frac{120}{48} = 2{,}5 \text{ ა.}$$

დენის სიმძლავრე შეიძლება მივიღოთ P = UI ფორმულიდან. კონკრეტულად რეზისტორისთვის $U_3 = IR$, ამიტომ:

$$P_3 = I^2R = 2{,}5^2 \cdot 24 = 150 \text{ ვტ.}$$

პასუხი: ა) 12 ომი; ბ) 150 ვტ.

**ამოცანა 12**



სურ. 1.11.24

სურ. 1.11.24-ზე წარმოდგენილია სამი ნათურისგან და ორი ჩამრთველისგან შედგენილი წრედი, რომელიც A და B მომჭერებით ჩართულია მუდმივი ძაბვის წყაროსთან. რომელი ნათურაა (ნათურებია) ანთებული, თუ: ა) ორივე ჩამრთველი ამორთულია; ბ) მხოლოდ $K_1$ ჩამრთველია ჩართული; გ) მხოლოდ $K_2$ ჩამრთველია ჩართული; დ) ორივე ჩამრთველი ჩართულია; ე) რომელ შემთხვევაში იკაშკაშებს მე-2 ნათურა ყველაზე მეტად?

**ამოხსნა**

ა) ორივე ჩამრთველი ამორთულია. წრედი იკვრება მხოლოდ ზედა შტოში, სადაც 1 და 2 ნათურები მიმდევრობითაა ჩართული. ამიტომ ანთებულია 1 და 2.

ბ) მხოლოდ $K_1$ ჩამრთველია ჩართული. ამ დროს 3 ნათურის შტოც უერთდება A და B წერტილებს, ხოლო ზედა შტოში 1 და 2 კვლავ ჩართულია. ამიტომ ანთებულია 1, 2 და 3.

გ) მხოლოდ $K_2$ ჩამრთველია ჩართული. $K_2$ ქმნის კავშირს 1 და 2 ნათურებს შორის მდებარე წერტილსა და 3 ნათურის მარცხენა მხარესთან. შედეგად დენის გამტარი გზები არსებობს სამივე ნათურაში. ამიტომ ანთებულია 1, 2 და 3.

დ) ორივე ჩამრთველი ჩართულია. $K_1$ და $K_2$ ერთად 1 ნათურის ორივე ბოლოს ერთსა და იმავე პოტენციალის წერტილებთან აკავშირებს, ამიტომ 1 ნათურაზე ძაბვა ნულის ტოლია და ის არ ანათებს. 2 და 3 ნათურები კი ანთებულია.

ე) მე-2 ნათურა ყველაზე მეტად მაშინ იკაშკაშებს, როცა ორივე ჩამრთველი ჩართულია: ამ შემთხვევაში იგი უშუალოდ A და B წერტილებს შორისაა ჩართული და მასზე წყაროს სრული ძაბვა მოდის.

პასუხი: ა) 1 და 2; ბ) 1, 2 და 3; გ) 1, 2 და 3; დ) 2 და 3; ე) როცა ორივე ჩამრთველი ჩართულია.

## პარაგრაფი №1.12 — დენის წყაროს ემძ. ომის კანონი სრული წრედისათვის

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | დენის წყაროს ემძ — რას გვიჩვენებს წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებელი? | მოსწავლე შეძლებს გაიაზროს დენის წყაროში გარეშე ძალების როლი, განმარტოს ელექტრომამოძრავებელი ძალის ფიზიკური აზრი, გამოიყენოს $\varepsilon = A_{გ}/q$ დამოკიდებულება და დააკავშიროს ემძ ერთეულ მუხტზე წყაროს მიერ შესრულებულ მუშაობასთან. | ენერგია — ელექტრული ენერგიისა და მუშაობის კავშირის გააზრება; ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესის მიზეზ–შედეგობრივი ახსნა და რაოდენობრივი დახასიათება. |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 2 | კანონზომიერების გამოყვანა და გააზრება | ომის კანონი სრული წრედისთვის — გარე და შიგა უბნის ერთიანი მოდელი | მოსწავლე შეძლებს ენერგეტიკული ბალანსიდან მიიღოს სრული წრედისთვის ომის კანონი I = ε/(R+r), განმარტოს გარე და შიგა წინაღობის როლი და დააკავშიროს ემძ წყაროს მომჭერებზე ძაბვასა და შიგა უბანზე ძაბვის ვარდნასთან. | ენერგია — ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის გამოყენება; ფიზიკური პროცესი — ელექტრული კანონზომიერების რაოდენობრივი დახასიათება და მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნა. |
| 3 | ცოდნის განმტკიცება და ტრანსფერი | მოკლე ჩართვა — რატომ იზრდება დენი და რატომ არის მოკლე ჩართვა საშიში? | მოსწავლე შეძლებს მოკლე ჩართვის პირობის R≈0 გააზრებას, I=ε/r ფორმულით დენის მკვეთრი ზრდის ახსნას, შესაძლო შედეგების დასაბუთებას და პარაგრაფის ძირითადი ცნებების ერთიან სისტემად შეჯამებას. | ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების დაკავშირება; კანონზომიერების გამოყენება ცხოვრებისეულ და უსაფრთხოების კონტექსტში. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს, რომ დენის წყაროში გარე ძალები ასრულებს მუშაობას მუხტების განცალკევებისა და ელექტრული ველის შესანარჩუნებლად;
- განმარტოს ელექტრომამოძრავებელი ძალა, როგორც გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდება გადატანილი მუხტის სიდიდესთან, და გამოიყენოს ფორმულა $\varepsilon = A_{გ}/q$;
- დაასახელოს ემძ-ის SI ერთეული — ვოლტი — და სიტყვიერად განმარტოს, რას ნიშნავს, მაგალითად, წყაროზე მითითებული 1,5 V, 4,5 V ან 12 V;
- გაიაზროს დენის წყაროს შიგა წინაღობის (r) არსი და განასხვავოს იგი წრედის გარე წინაღობისგან (R);
- ენერგიის ბალანსიდან მიიღოს სრული წრედის ომის კანონი $I = \varepsilon/(R+r)$;
- დააკავშიროს ემძ წყაროს მომჭერებზე ძაბვასა და შიგა უბანზე ძაბვის ვარდნასთან: $\varepsilon = U + U_0$;
- ახსნას მოკლე ჩართვისას დენის მკვეთრი ზრდის მიზეზი და მისი შესაძლო სითბური/უსაფრთხოების შედეგები;
- კითხვა–პასუხისას გამოიყენოს მიღებული დამოკიდებულებები პირობების ცვლილების გასაანალიზებლად.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ენერგიის სახეების ურთიერთგარდაქმნის თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; ენერგიის შენახვის კანონის გამოყენებით ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების ახსნა;
- თითოეული სახის ენერგიის დაკავშირება სხეულის/სხეულთა სისტემის მიერ მუშაობის შესრულების უნართან (რაოდენობრივი კავშირები იგულისხმება მხოლოდ მექანიკური და ელექტრული ენერგიისთვის);
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების (მაგალითად: ელექტომაგნიტური; თერმოდინამიკური; მექანიკური) თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ბუნების მოვლენების აღმწერი კანონების მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება და ამ კანონების გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად განმარტავს დენის წყაროში გარეშე ძალების ფუნქციას და ემძ-ის ფიზიკურ აზრს; ფორმულაში $\varepsilon = A_{გ}/q$ სწორად ასახელებს სიდიდეებსა და ერთეულებს; ენერგიის ბალანსის

ლოგიკით იღებს I = ε/(R+r) დამოკიდებულებას და განმარტავს R-ისა და r-ის მნიშვნელობას; ხსნის $\varepsilon = U + U_0$ კავშირს; მოკლე ჩართვას აკავშირებს R≈0 პირობასთან, I = ε/r დენის ზრდასთან და უსაფრთხოების რისკებთან; პასუხებს არგუმენტირებს მიზეზ–შედეგობრივი კავშირებით.

**აქტივობა 1. დენის წყაროს ემძ — რას გვიჩვენებს წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებელი?**

| **აქტივობის კომპონენტი** | **აღწერა** |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა გაიაზრონ დენის წყაროში გარე ძალების როლი, ემძ-ის ფიზიკური აზრი, ფორმულა და ერთეული. დააკავშირონ წყაროს მახასიათებელი ემძ ერთეულ მუხტზე გარე ძალების მიერ შესრულებულ მუშაობასთან. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რა ფიზიკურ აზრს ატარებს დენის წყაროზე მითითებული 1,5 V, 4,5 V ან 12 V და რატომ არ არის ემძ უბრალოდ „ძაბვის სხვა სახელი“? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ეყრდნობა მოსწავლის წიგნის სურ. 1.12.1–1.12.2-ს. მოკლედ იხსენებს, რომ წრედში დენის ხანგრძლივად არსებობისთვის წყაროში მუხტების განცალკევება მუდმივად უნდა მიმდინარეობდეს.წყაროს შიგნით მუხტებზე მოქმედებს ელექტროსტატიკური ძალისგან განსხვავებული ბუნების ძალა - **გარე ძალა, რომელსაც მუხტები დაბალი პოტენციალიდან მაღალი პოტენციალისკენ გადააქვს.** ამ საკითხს მასწავლებელი მანსაკუთრებულად უსვამს ხაზს. ამის შემდეგ შემოაქვს ელექტრომამოძრავებელი ძალის ცნება როგორც წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებელი. მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ, რას ნიშნავს „ერთეულ მუხტზე შესრულებული მუშაობა“ და წყაროზე მითითებულ ვოლტებს ამ აზრს უკავშირებენ.<br>$\varepsilon = A / q$<br>$A = \varepsilon q$<br>$q = It$<br>$A = \varepsilon It$<br>SI-ში ემძ იზომება ვოლტებში. 1 ვ ნიშნავს, რომ წყარო 1 კ მუხტის გადაადგილებისას გარეშე ძალების საშუალებით 1 ჯ მუშაობას ასრულებს.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი — გარეშე ძალები და ემძ** | • დენის წყარო მუხტებს განცალკევებულ მდგომარეობაში ინარჩუნებს და წრედში ელექტრული ველის არსებობას უზრუნველყოფს.<br>• წყაროს შიგნით მუხტის გადაადგილებაზე მუშაობას გარე ძალები ასრულებს.<br>• ემძ ახასიათებს წყაროს და გვიჩვენებს, რა მუშაობას ასრულებს გარე ძალა ერთეული მუხტის გადასატანად.<br>• ემძ-ის აღნიშვნაა ε, ერთეული — ვოლტი (ვ).<br>$\varepsilon = A / q$<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ცნებების ზუსტი გამოყენება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახსნისას** | • რა დანიშნულება აქვს დენის წყაროს ელექტრულ წრედში?<br>• რას ვუწოდებთ გარეშე ძალებს დენის წყაროს შიგნით?<br>• რას გვიჩვენებს ელექტრომამოძრავებელი ძალა?<br>• რა არის ემძ-ის ერთეული SI-ში?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის გააზრებისას** | • როგორ მივიღებთ $A_გ = \varepsilon q$ გამოსახულებას $\varepsilon = A_გ/q$ ფორმულიდან?<br>• თუ ვიცით დენის ძალა I და დრო t, როგორ გამოვსახავთ ამ დროის განმავლობაში გადატანილ მუხტს?<br>• როგორ მივიღებთ $A_გ = \varepsilon It$ ფორმულას q = It კავშირის გამოყენებით?<br>• როგორ შევამოწმებთ $\varepsilon = A_გ/q$ ფორმულის ერთეულებით, რომ ემძ ვოლტებში იზომება?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფორმულების გარდაქმნა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ტრანსფერისას | • რას ნიშნავს ფიზიკურად წარწერა „12 ვ“ ავტომობილის აკუმულატორზე?<br>• თუ წყარო 2 კ მუხტზე 9 ჯ მუშაობას ასრულებს, უფრო დიდი თუ მცირე ემძ აქვს მას 1,5 ვ-იან ელემენტთან შედარებით? რატომ?<br>• რატომ არის მნიშვნელოვანი წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებლის ცოდნა ელექტრული მოწყობილობის შერჩევისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი | მასწავლებელი თავიდან მხოლოდ ფორმულის დამახსოვრებაზე არ ამახვილებს ყურადღებას. კითხვებით აკავშირებს წყაროს მუშაობას ენერგიის გადაცემასთან, განასხვავებს ემძ-სა და წრედის უბანზე ძაბვას და მოსწავლეებს სთხოვს წყაროზე მითითებული ვოლტების ფიზიკური აზრის სიტყვიერად ახსნას. |
| რესურსები | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.12.1–1.12.2; სხვადასხვა ემძ-ის ელემენტებისა და აკუმულატორის ფოტო/ნიმუში; დაფა ან პროექტორი; ფორმულების მოკლე სქემა. |
| შეფასება | „ერთი ფორმულა — ერთი ფიზიკური აზრი“: მოსწავლე იღებს ε = Aგ/q ფორმულას და ერთ წინადადებაში განმარტავს, რას აღწერს იგი. კრიტერიუმები: სიდიდეების სწორი დასახელება; ერთეულის ცოდნა; ემძ-ის ენერგეტიკული აზრის ზუსტი გადმოცემა. |
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ვიზუალური მინიშნება „მუშაობა Aგ → მუხტი q → ემძ ε“ და წინადადების დასაწყისი: „ემძ გვიჩვენებს, რამდენ...“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ფორმულას სიტყვიერად განმარტავენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები სხვადასხვა წყაროს ემძ-ს ერთეულ მუხტზე შესრულებული მუშაობის მიხედვით ადარებენ. |

**შუალედური დასკვნა**

დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა არის გარეშე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდება გადატანილი მუხტის სიდიდესთან: ε = Aგ/q. იგი წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებელია და გვიჩვენებს, რა ენერგიას გადასცემს წყარო ერთეულ მუხტს.

**აქტივობა 2. ომის კანონი სრული წრედისთვის — გარე და შიგა უბნის ერთიანი მოდელი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| აქტივობის მიზანი | მოსწავლეებმა ენერგიის ბალანსის საფუძველზე თანმიმდევრულად მიიღონ სრული წრედის ომის კანონი, გაიაზრონ გარე R და შიგა r წინაღობების როლი და დააკავშირონ ემძ წყაროს მომჭერებზე ძაბვასა და შიგა უბანზე ძაბვის ვარდნასთან. |
| გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| ძირითადი კითხვა | როგორ ნაწილდება დენის წყაროს მიერ გადაცემული ენერგია გარე წრედსა და თვით წყაროს შიგნით და როგორ მივყავართ ამ ბალანსს სრული წრედის ომის კანონამდე? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი დაფაზე ხატავს სრულ წრედს: ემძ ε და შიგა წინაღობა r-ის მქონე წყარო, გარე წინაღობა R და დენი I. პირველ რიგში განიხილავს t დროში წყაროს მიერ შესრულებულ მუშაობას Aგ = εIt. შემდეგ მოსწავლეებს ახსენებს ჯოულ-ლენცის კანონით გარე და შიგა უბნებში გამოყოფილ სითბოს. ენერგიის შენახვის პრინციპით წყაროს მიერ შესრულებულ მუშაობას უთანაბრებს ორივე უბანში გამოყოფილი სითბოს ჯამს და თანმიმდევრულად გარდაქმნის დამოკიდებულებას სრული წრედის ომის კანონამდე. ყოველი გარდაქმნის შემდეგ მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ, რას ნიშნავს მიღებული წევრი.<br>$$A = \varepsilon It$$<br>$$\varepsilon It = I^2Rt + I^2rt$$<br>$$\varepsilon = IR + Ir$$<br>$$\varepsilon = I(R + r)$$<br>$$I = \varepsilon / (R + r)$$<br>სრული წრედის დენის ძალა დამოკიდებულია როგორც გარე წინაღობაზე R, ისე წყაროს შიგა წინაღობაზე r. წყაროს შიგა წინაღობის უგულებელყოფა მხოლოდ მაშინ არის დასაშვები, როცა r ძალიან მცირეა R-თან შედარებით.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ფორმულის მიღება — ენერგეტიკული ბალანსი** | t დროში წყაროს მიერ გადაცემული ენერგია იხარჯება გარე წრედში და წყაროს შიგნით სითბოს გამოყოფაზე:<br>$$\varepsilon It = I^2Rt + I^2rt$$<br>$$\varepsilon = IR + Ir$$<br>$$\varepsilon = I(R + r)$$<br>$$I = \varepsilon / (R + r)$$<br>ფორმულა I = ε/(R+r) არის ომის კანონი სრული წრედისთვის.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ფორმულების გარდაქმნა. |
| **ემძ, გარე ძაბვა და შიგა ძაბვის ვარდნა** | ომის კანონიდან გარე უბნისთვის U = IR, ხოლო წყაროს შიგა უბანზე ძაბვის ვარდნა $U_0$ = Ir. ამიტომ:<br>$$U = IR$$<br>$$U_0 = Ir$$<br>$$\varepsilon = U + U_0$$<br>$$U = \varepsilon - Ir$$<br>როდესაც წრედში დენი გადის, წყაროს მომჭერებზე ძაბვა U შეიძლება ემძ-ზე ნაკლები იყოს, რადგან ენერგიის ნაწილი წყაროს შიგა წინაღობაზე იკარგება. როცა წრედი განრთულია, ძაბვა მომჭერებზე დაახლოებით ემძ-ს ტოლია.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირის გააზრება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის გამოყვანამდე** | • რას აღნიშნავს R სრული წრედის მოდელში? რას აღნიშნავს r?<br>• რომელი სიდიდე ახასიათებს დენის წყაროს ენერგეტიკულად?<br>• რა ფორმულით გამოითვლება t დროში გარე წინაღობაზე გამოყოფილი სითბო?<br>• რა ფორმულით გამოისახება ომის კანონი სრული წრედისთვის?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის მიღებისას** | • რატომ ვწერთ ენერგიის ბალანსში ორ სითბურ წევრს — $I^2Rt$ და $I^2rt$?<br>• როგორ მივიღეთ $\varepsilon It = I^2Rt + I^2rt$ თანაფარდობიდან $\varepsilon = IR + Ir$?<br>• რა ალგებრული გარდაქმნით მივიღეთ I = ε/(R+r)?<br>• როგორ მივიღებთ $\varepsilon = U + U_0$ დამოკიდებულებას U = IR და $U_0$ = Ir ჩანაცვლებით?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; პრობლემის გადაჭრა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას | • თუ ε და r უცვლელია, როგორ შეიცვლება დენის ძალა R-ის გაზრდისას?<br>• თუ ორი წყაროს ემძ ერთნაირია, მაგრამ ერთის შიგა წინაღობა უფრო დიდია, რომელში იქნება იგივე R-ში გამავალის დენი ნაკლები? რატომ?<br>• როდის შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ წყაროს მომჭერებზე ძაბვა თითქმის ემძ-ის ტოლია?<br>• რატომ არის ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე უფრო ნაკლები წრედის ჩაკეტვისას (დატვირთვისას), ვიდრე გახსნილ წრედში (უქმ სვლაზე)?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი | მასწავლებელი ფორმულას $I = \varepsilon/(R+r)$ მზა სახით არ აწვდის. ყოველ ნაბიჯზე სთხოვს მოსწავლეებს დაასახელონ ენერგიის წყარო, სად იხარჯება ენერგია და რას აღნიშნავს თითოეული წევრი. განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობს განსხვავებას ემძ-ს, მომჭერებზე ძაბვას U-სა და შიგა ძაბვის ვარდნას $U_0$-ს შორის. |
| რესურსები | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.12.3–1.12.4; სრული წრედის სქემა; დაფა/პროექტორი; ფორმულების ეტაპობრივი ბარათები $\varepsilon It \rightarrow I^2Rt + I^2rt \rightarrow \varepsilon = IR + Ir \rightarrow I = \varepsilon/(R+r)$. |
| შეფასება | „დაასრულე გამოყვანა“ — მოსწავლეებს ეძლევათ ფორმულის გამოყვანის ჯაჭვი ერთი გამოტოვებული ნაბიჯით და უნდა შეავსონ იგი, შემდეგ სიტყვიერად ახსნან ამ ნაბიჯის ფიზიკური აზრი. კრიტერიუმები: ალგებრული სიზუსტე. |
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ეტაპებად დაყოფილი ფორმულის სქემა, სადაც თითოეული წევრი ფერებითაა დაკავშირებული გარე ან შიგა უბანთან. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები გამოყვანას დამოუკიდებლად ასრულებენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, რატომ არის $U = \varepsilon - Ir$ და როგორ იცვლება U დენის ზრდისას. |

**შუალედური დასკვნა**

სრული წრედის ომის კანონი $I = \varepsilon/(R+r)$ გვიჩვენებს, რომ დენის ძალა განისაზღვრება წყაროს ემძ-ით და სრული წინაღობით — გარე R და შიგა r წინაღობების ჯამით. წყაროს მომჭერებზე ძაბვა დაკავშირებულია ემძ-თან დამოკიდებულებით $\varepsilon = U + U_0$, სადაც $U_0 = Ir$.

**აქტივობა 3. მოკლე ჩართვა — რატომ იზრდება დენი და რატომ არის ის საშიში?**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| აქტივობის მიზანი | ცოდნის განმტკიცება და ტრანსფერი — მოსწავლეებმა გაიაზრონ მოკლე ჩართვის პირობა და სრული წრედის ომის კანონით ახსნან დენის მკვეთრი ზრდა, უსაფრთხოების შესაძლო შედეგები და პარაგრაფის ძირითადი ცნებების ურთიერთკავშირი. |
| გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი | მიმართულებითი კითხვა–პასუხი; პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება. |
| პრობლემური კითხვა | რატომ შეიძლება გარე წრედის ძალიან მცირე წინაღობამ გამოიწვიოს დიდი დენი, ძლიერი გათბობა და დამცავი მოწყობილობის ამოქმედება? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლის წიგნის სურ. 1.12.5–1.12.7-ზე დაყრდნობით განიხილავს სიტუაციას, როცა წყაროს გარე წინაღობა ძალიან მცირე ხდება. მოსწავლეები სრულ წრედის ომის კანონში R≈0 პირობას იყენებენ და ადგენენ, რომ დენის ძალას ამ დროს ძირითადად წყაროს შიგა წინაღობა განაპირობებს. შემდეგ განიხილავენ, რატომ იწვევს დიდი დენი გამტარების ძლიერ გათბობას, რა დანიშნულება აქვს მცველს/ავტომატურ გამთიშველს და რატომ არ შეიძლება მოკლე ჩართვის ცდის ჩვეულებრივი წყაროთი ჩატარება. ბოლოს კითხვა–პასუხით აერთიანებენ ემძ-ს, R-ს, r-ს, U-ს და I-ს ერთ კონცეპტუალურ სქემაში.<br>$$R \approx 0$$<br>$$I = \varepsilon / r$$<br>მოკლე ჩართვა არის რეჟიმი, როცა გარე წინაღობა ძალიან მცირეა. ასეთ დროს დენის ძალა შეიძლება ძალიან დიდი გახდეს, ამიტომ საჭიროა დამცავი მოწყობილობები და უსაფრთხოების მკაცრი დაცვა.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას** | • რას ვუწოდებთ დენის წყაროს ემძ-ს?<br>• რა განსხვავებაა გარე წინაღობას R-სა და შიგა წინაღობას r-ს შორის?<br>• რა ფორმულით განისაზღვრება დენის ძალა სრული წრედისთვის?<br>• რას ვუწოდებთ მოკლე ჩართვას?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის გამოყენებისას** | • როგორ გადავდივართ $I = \varepsilon/(R+r)$ ფორმულიდან მოკლე ჩართვის Iმ.ჩ. $= \varepsilon/r$ ფორმულაზე?<br>• როგორ დავადგენთ ფორმულიდან, რომ R-ის შემცირება დენის ძალას ზრდის?<br>• როგორ ვაჩვენებთ $\varepsilon = U + Ir$ ფორმულით, რომ დიდი დენისას წყაროს შიგა ძაბვის ვარდნა იზრდება?<br>განვითარებადი უნარები: პრობლემის გადაჭრა; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უსაფრთხოებისა და ტრანსფერისას** | • რატომ არის მოკლე ჩართვა სახიფათო სადენებისა და დენის წყაროსთვის?<br>• რატომ ამოქმედდება მცველი ან ავტომატური გამთიშველი, როდესაც დენი ზედმეტად იზრდება?<br>• თუ წყაროს შიგა წინაღობა ძალიან მცირეა, მოკლე ჩართვისას დენი უფრო დიდი იქნება თუ მცირე? რატომ?<br>• რატომ არ უნდა ჩავატაროთ მოკლე ჩართვის სადემონსტრაციო ცდა ჩვეულებრივი აკუმულატორით ან ძლიერ დენის წყაროთი?<br>• როგორ ახსნით მოკლე ჩართვისას სითბოს ინტენსიურ გამოყოფას დენის სითბური მოქმედების კანონზომიერებაზე (ჯოულ-ლენცის კანონზე) დაყრდნობით?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **კონცეპტუალური შეჯამება — „დააკავშირე სიდიდეები“** | • $\varepsilon$ — წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებელი;<br>• R — გარე წრედის წინაღობა; r — წყაროს შიგა წინაღობა;<br>• $I = \varepsilon/(R+r)$ — სრული წრედის ომის კანონი;<br>• $U = IR$ — გარე უბანზე ძაბვა; $U_0 = Ir$ — შიგა უბანზე ძაბვის ვარდნა;<br>• $\varepsilon = U + U_0$ — ემძ-ის განაწილება გარე და შიგა უბნებზე;<br>• $R \approx 0 \rightarrow$ Iმ.ჩ.$\approx \varepsilon/r$ — მოკლე ჩართვის რეჟიმი.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მოკლე ჩართვას რეალური ძლიერი დენის წყაროთი არ აჩვენებს. კითხვებით მიიყვანს მოსწავლეებს R≈0 პირობისა და ფორმულის შედეგამდე, უსაფრთხოების საკითხებს აკავშირებს დენის სითბურ მოქმედებასთან და მოსწავლეებს სთხოვს მიზეზი → ფორმულა → შედეგი ჯაჭვით არგუმენტირებას. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.12.5–1.12.7; მცველის/ავტომატური გამთიშველის ფოტო ან ნიმუში; დაფა/პროექტორი; კონცეპტუალური ბარათები $\varepsilon$, R, r, U, $U_0$, I. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **უსაფრთხოება** | მოკლე ჩართვის რეალური დემონსტრაცია ძლიერ დენის წყაროზე არ ჩატარდეს. მოკლე ჩართვის არსი განხილულ იქნეს სქემით, ფორმულით ან სპეციალური დენის შემზღუდავი სასწავლო მოწყობილობით. მოსწავლეებს განემარტოთ, რომ ქსელურ ელექტრულ წრედებში მოკლე ჩართვა სიცოცხლისა და ხანძრის რეალურ საფრთხეს ქმნის. |
| **შეფასება** | „იპოვე შეცდომა“ — დებულებები: 1) „მოკლე ჩართვისას გარე წინაღობა ძალიან იზრდება“; 2) „სრული წრედის დენის ძალაზე გავლენას ახდენს წყაროს შიგა წინაღობაც“; 3) „როცა R≈0, დენის ძალას ძირითადად r ზღუდავს (განსაზღვრავს)“; 4) „ემძ ყოველთვის ზუსტად უდრის წყაროს მომჭერებზე ძაბვას, როცა წრედში დენი მიედინება“. მოსწავლე პოულობს მცდარ დებულებებს და ასწორებს ფორმულით ან ფიზიკური არგუმენტით. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ შემცირებული არჩევანი მიზეზ–შედეგობრივი ჯაჭვისთვის: „R მცირდება → I … → გათბობა …“. შესაძლებელია ზეპირი პასუხის ალტერნატივა. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ფორმულით ასაბუთებენ პასუხს. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, რატომ მცირდება დატვირთვისას (როცა წრედში დენი მიედინება) წყაროს მომჭერებზე ძაბვა. |

### შეჯამება

მოსწავლეები აჯამებენ: ემძ ε არის ერთეული მუხტის განცალკევებაზე გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა; ომის კანონი სრული წრედისთვის: $I = \varepsilon/(R+r)$; $\varepsilon = U + U_0$; მოკლე ჩართვისას R≈0 და დენი მკვეთრად იზრდება.

### სასურველი დასკვნა

ემძ წყაროს ენერგეტიკული მახასიათებელია. რეალურ წრედში დენი დამოკიდებულია როგორც გარე R, ისე შიგა r წინაღობაზე. მოკლე ჩართვისას R-ის მკვეთრი შემცირება დიდ დენსა და ძლიერ გათბობას იწვევს.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „მიზეზი → ფორმულა → შედეგი“

მოსწავლე ირჩევს ერთ სიტუაციას — R-ის გაზრდას, r-ის გაზრდას ან მოკლე ჩართვას — და $I = \varepsilon/(R+r)$ ფორმულით ხსნის დენის ძალის ცვლილებას. შეფასდება ფორმულის სისწორე და მიზეზ–შედეგობრივი დასაბუთება.

### მასწავლებლის ინსტრუქცია

ხაზი გაუსვით ემძ-ის ენერგეტიკულ აზრს. სრული წრედის ომის კანონი მიიღეთ ენერგიის ბალანსიდან. მკაფიოდ გაამიჯნეთ R და r, ასევე ε და U. მოკლე ჩართვა განიხილეთ მხოლოდ სქემითა და ფორმულით; ძლიერ დენის წყაროზე მისი რეალური დემონსტრირება დაუშვებელია.

### მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:

1. **რატომ არის წრედში აუცილებელი გარე ძალების არსებობა?**
   რადგან მხოლოდ ელექტროსტატიკური ძალები შეკრულ წრედში მუხტის სრული შემოტარებისას ნულოვან მუშაობას ასრულებს და დენის გავლისას გამოყოფილ ენერგიას ვერ შეავსებს. ამიტომ საჭიროა არაპოტენციალური გარე ძალები, რომლებიც დენის წყაროში მუხტებს ელექტრული ძალების საწინააღმდეგოდ გადაადგილებს და წრედში დენის არსებობას უზრუნველყოფს.
2. **რა არის შიგა წრედი? გარე წრედი? სრული წრედი?**
   შიგა წრედი არის დენის წყარო და ყველაფერი, რაც მის შიგნითაა მოთავსებული. გარე წრედი არის დენის წყაროს გარეთ არსებული წრედის ნაწილი — მომხმარებელი და მასთან

დამაკავშირებელი კომპონენტები. სრული წრედი მოიცავს როგორც შიგა, ისე გარე წრედს, ანუ დენი გადის დენის წყაროშიც და მომხმარებელშიც.

3. **რისი ტოლია წრედის შიგა და გარე უბნებზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობათა ჯამი?**
   შიგა და გარე უბნებზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობათა ჯამი ტოლია გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობისა: $Q = I^2Rt + I^2rt = \varepsilon It$.

4. **რას უწოდებენ მოკლე ჩართვას?**
   მოკლე ჩართვა ეწოდება შემთხვევას, როდესაც გარე წინაღობა ძალიან მცირეა ($R \to 0$) და ამის გამო წრედში დენის ძალამ შეიძლება ძალიან დიდ მნიშვნელობას მიაღწიოს.
5. **რა პრინციპზეა დამყარებული დნობადი მცველის მუშაობა?**
   დნობადი მცველის მუშაობა დამყარებულია დენის სითბურ მოქმედებაზე: როდესაც დენის ძალა დასაშვებ მნიშვნელობას გადააჭარბებს, მცველში არსებული წვრილი მავთული ძლიერ ცხელდება, დნება და წრედს წყვეტს.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

1. ამოცანა

$\varepsilon = 12$ ვ ემძ-ს და $r = 2$ ომი შიგა წინაღობის დენის წყაროსთან მიერთებულია $R = 22$ ომი წინაღობის რეზისტორი. რისი ტოლია:
ა) დენის ძალა რეზისტორში?
ბ) დენის ძალა დენის წყაროში?
გ) ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებს შორის?

**მოც.:**

$\varepsilon = 12$ ვ,

$r = 2$ ომი,

$R = 22$ ომი

**უ.ვ.:** $I_R = ?$; $I_{\text{წყარო}} = ?$; $U = ?$

**ამოხსნა:**

სრული წრედი მიმდევრობითაა შეკრული, ამიტომ რეზისტორშიც და დენის წყაროშიც დენის ძალა ერთნაირია. სრული წრედისთვის ომის კანონით:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{12}{22 + 2} = \frac{12}{24} = 0.5 \text{ ა}$$

ამიტომ:

$$I_R = I_{\text{წყარო}} = 0.5 \text{ ა}$$

დენის წყაროს მომჭერებს შორის ძაბვა ტოლია გარე წრედზე ძაბვის ვარდნისა:

$$U = IR = 0.5 \cdot 22 = 11 \text{ ვ}$$

**პასუხი:**
ა) $0.5$ ა;
ბ) $0.5$ ა;
გ) $11$ ვ.

**2. ამოცანა**

რისი ტოლია $2$ ომი შიგა წინაღობის მქონე დენის წყაროს ემძ, თუ მოკლე ჩართვის დენი $5$ ა-ია?
**მოც.:**
$r = 2$ ომი,
$I_{\text{მ.ჩ.}} = 5$ ა

**უ.ვ.:** $\varepsilon = ?$
**ამოხსნა:**
მოკლე ჩართვისას გარე წინაღობა პრაქტიკულად ნულის ტოლია, ამიტომ:

$$I_{მ.ჩ.} = \frac{\varepsilon}{r}$$

აქედან:

$$\varepsilon = I_{მ.ჩ.} r = 5 \cdot 2 = 10 \text{ ვ}$$

**პასუხი:** $10$ ვ.

**3. ამოცანა**

რისი ტოლია $9$ ვ ემძ-ის მქონე ელემენტის შიგა წინაღობა, თუ მასთან $440$ ომი წინაღობის რეზისტორის შეერთებისას წრედში $20$ მა დენი გადის?

**მოც.:**

$\varepsilon = 9$ ვ,

$R = 440$ ომი,

$I = 20$ მა $= 0.02$ ა

**უ.ვ.:** $r = ?$

**ამოხსნა:**

სრული წრედისთვის ომის კანონიდან:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

აქედან სრული წინაღობაა:

$$R + r = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{9}{0.02} = 450 \text{ ომი}$$

ამიტომ:

$$r = 450 - 440 = 10 \text{ ომი}$$

**პასუხი:** $10$ ომი.

**4. ამოცანა**

რა წინაღობაა მიერთებული $12$ ვ ემძ-ის და $20$ ომი შიგა წინაღობის მქონე აკუმულატორის მომჭერებზე, თუ დენის ძალა წრედში $40$ მა-ია?

**მოც.:**

$\varepsilon = 12$ ვ,

$r = 20$ ომი,

$I = 40$ მა $= 0.04$ ა

**უ.ვ.:** $R = ?$

**ამოხსნა:**

სრული წრედისთვის ომის კანონიდან:

$$R + r = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{12}{0.04} = 300 \text{ ომი}$$

აქედან:

$$R = 300 - 20 = 280 \text{ ომი}$$

**პასუხი:** 280 ომი.

**5. ამოცანა**

შეკრული წრედის გარე წინაღობა 200 ომია, შიგა წინაღობა კი 40 ომი. რისი ტოლია დენის წყაროს ემძ, თუ ძაბვა მის მომჭერებს შორის 40 ვ-ია?

**მოც.:**

$R = 200$ ომი,
$r = 40$ ომი,
$U = 40$ ვ

**უ.ვ.:** $\varepsilon = ?$

**ამოხსნა:**

გარე წრედზე ძაბვაა:

$$U = IR$$

ამიტომ დენის ძალა:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{40}{200} = 0.2 \text{ ა}$$

დენის წყაროს შიგა უბანზე ძაბვის ვარდნაა:

$$U_0 = Ir = 0.2 \cdot 40 = 8 \text{ ვ}$$

ძაბვებს შორის ცნობილი კავშირის მიხედვით:

$$\varepsilon = U + U_0 = 40 + 8 = 48 \text{ ვ}$$

**პასუხი:** 48 ვ.

**6. ამოცანა**

დენის წყაროს შიგა წინაღობა r –
ის ტოლია. რა წინაღობა უნდა ჩავრთოთ გარე წრედში, რომ გარე წრედში განვითარებული სიმძლავრე სრულ წრედში განვითარებული სიმძლავრის 80% აღმოჩნდეს?

**მოც.:** r — დენის წყაროს შიგა წინაღობა.

**უ.ვ.:** $R = ?$

**ამოხსნა:**
გარე წრედში განვითარებული სიმძლავრეა:

$$P_{\text{გარე}} = I^2R$$

სრულ წრედში განვითარებული სიმძლავრეა:

$$P_{\text{სრული}} = I^2(R + r)$$

პირობის თანახმად:

$$P_{\text{გარე}} = 0.8P_{\text{სრული}}$$

შევიტანოთ სიმძლავრეების გამოსახულებები:

$$I^2R = 0.8I^2(R + r)$$

ორივე მხარე შევკვეცოთ $I^2$-ზე:

$$R = 0.8(R + r)$$

$$R = 0.8R + 0.8r$$

$$0.2R = 0.8r$$

$$R = 4r$$

**პასუხი:** $R = 4r$.

**7. ამოცანა**

აკუმულატორი პირველ შემთხვევაში შეუერთეს $8R$, მეორე შემთხვევაში კი $18R$ წინაღობის რეზისტორებს. რისი ტოლია აკუმულატორის შიგა წინაღობა, თუ ორივე შემთხვევაში გარე წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე ერთნაირია?

**მოც.:**

$R_1 = 8R$,

$$R_2 = 18R, \qquad P_1 = P_2$$

**უ.ვ.:** $r = ?$

**ამოხსნა:**

გარე წრედში განვითარებული სიმძლავრეა:

$$P = I^2R$$

ხოლო სრული წრედის დენი:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

ამიტომ გარე წრედის სიმძლავრე შეიძლება ჩავწეროთ ასე:

$$P = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$$

ორივე შემთხვევისთვის სიმძლავრეები ტოლია, ამიტომ:

$$\frac{\varepsilon^2 \cdot 8R}{(8R + r)^2} = \frac{\varepsilon^2 \cdot 18R}{(18R + r)^2}$$

შევკვეცოთ $\varepsilon^2 R$-ზე:

$$\frac{8}{(8R + r)^2} = \frac{18}{(18R + r)^2}$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$x = \frac{r}{R}$$

მაშინ:

$$\frac{8}{(8+x)^2} = \frac{18}{(18+x)^2}$$

ჯვარედინი გამრავლებით:

$$8(18+x)^2 = 18(8+x)^2$$

ორივე მხარე გავყოთ 2-ზე:

$$4(18+x)^2 = 9(8+x)^2$$

გავშალოთ ფრჩხილები:

$$4(x^2 + 36x + 324) = 9(x^2 + 16x + 64)$$

$$4x^2 + 144x + 1296 = 9x^2 + 144x + 576$$

$$5x^2 = 720$$

$$x^2 = 144$$

წინაღობა დადებითი სიდიდეა, ამიტომ:

$$x = 12$$

რადგან $x = r/R$, მივიღებთ:

$$r = 12R$$

**პასუხი:** $r = 12R$.

**8. ამოცანა**

20 ომი შიგა წინაღობის მქონე დენის წყაროზე მიერთებულია 180 ომი წინაღობის სპირალი. იპოვეთ ძაბვა სპირალის ბოლოებს შორის, თუ ცნობილია, რომ დენის წყარო 1 საათის განმავლობაში 28.8 კჯ მუშაობას ასრულებს.

**მოც.:**

$r = 20$ ომი,

$R = 180$ ომი,

$t = 1$ სთ $= 3600$ წმ,

$A_გ = 28.8$ კჯ $= 28800$ ჯ

**უ.ვ.:** $U = ?$

**ამოხსნა:**

დენის წყაროს მიერ შესრულებული მუშაობაა:

$$A_გ = \varepsilon It$$

სრული წრედისთვის:

$$\varepsilon = I(R + r)$$

ამიტომ:

$$A_გ = I^2(R + r)t$$

აქედან:

$$I = \sqrt{\frac{A_გ}{(R + r)t}}$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით:

$$I = \sqrt{\frac{28800}{(180 + 20) \cdot 3600}} = \sqrt{0.04} = 0.2 \text{ ა}$$

სპირალის ბოლოებს შორის ძაბვაა:

$$U = IR = 0.2 \cdot 180 = 36 \text{ ვ}$$

**პასუხი:** 36 ვ.

**9*. ამოცანა**

სურ. 1.12.15-ზე გამოსახულ წრედში ამპერმეტრის ჩვენება 40 მა-ია, ვოლტმეტრის ჩვენება კი — 8 ვ. რისი ტოლია დენის წყაროს ემძ, თუ მისი შიგა წინაღობაა 25 ომი?

**მოც.:**

$I = 40$ მა $= 0.04$ ა,

$U_V = 8$ ვ,

$r = 25$ ომი

**უ.ვ.:** $\varepsilon = ?$

**ამოხსნა:**

სურ. 1.12.15-ის მიხედვით, ორი ერთნაირი
R წინაღობის რეზისტორი ერთმანეთთან პარალელურადაა შეერთებული, ხოლო მიღებული პარალელური უბანი კიდევ ერთ R წინაღობასთან მიმდევრობითაა ჩართული. ვოლტმეტრი პარალელური უბნის ძაბვას ზომავს, ამპერმეტრი კი სრულ დენს.

ორი პარალელური რეზისტორი ერთნაირია, ამიტომ სრული დენი მათ შორის თანაბრად იყოფა:

$$I_R = \frac{I}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ მა} = 0.02 \text{ ა}$$

ვოლტმეტრის ჩვენებიდან ერთი რეზისტორის წინაღობაა:

$$R = \frac{U_V}{I_R} = \frac{8}{0.02} = 400 \text{ ომი}$$

ორი ერთნაირი პარალელურად შეერთებული რეზისტორის ეკვივალენტური წინაღობაა:

$$R_{\parallel} = \frac{R}{2} = 200 \text{ ომი}$$

ამიტომ გარე წრედის სრული წინაღობაა:

$$R_{გარე} = R + R_{\parallel} = 400 + 200 = 600 \text{ ომი}$$

დენის წყაროს მომჭერებს შორის ძაბვაა:

$$U = IR_{გარე} = 0.04 \cdot 600 = 24 \text{ ვ}$$

შიგა წრედზე ძაბვის ვარდნაა:

$$U_0 = Ir = 0.04 \cdot 25 = 1 \text{ ვ}$$

პარაგრაფში მოცემული კავშირით:

$$\varepsilon = U + U_0 = 24 + 1 = 25 \text{ ვ}$$

**პასუხი:** 25 ვ.

**10*. ამოცანა**

სურ. 1.12.16-ზე წარმოდგენილ წრედში $\varepsilon_1 = 20$ ვ და $\varepsilon_2 = 30$ ვ. $R = 40$ ომი და $r = 10$ ომი. როგორ შეიცვლება ამპერმეტრის ჩვენება, თუ K გადამრთველს (1) მდგომარეობიდან (2) მდგომარეობაში გადავრთავთ. შეიცვლება თუ არა დენის მიმართულება ამპერმეტრში?

**მოც.:**

$\varepsilon_1 = 20$ ვ,
$\varepsilon_2 = 30$ ვ,
$R = 40$ ომი,
$r = 10$ ომი

**უ.ვ.:** $\Delta I = ?$; შეიცვლება თუ არა დენის მიმართულება?

**ამოხსნა:**

**I შემთხვევა —** გადამრთველი მდგომარეობა 1-ში.

ამ მდგომარეობაში შეკრულია მარცხენა წრედი, რომელშიც ჩართულია $\varepsilon_1$ ემძ – ის წყარო, მისი შიგა წინაღობა $r$ და ერთი რეზისტორი $R$.

სრული წრედისთვის ომის კანონით:

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R + r} = \frac{20}{40 + 10} = \frac{20}{50} = 0.4 \text{ ა} = 400 \text{ მა}$$

**II შემთხვევა —** გადამრთველი მდგომარეობა 2-ში.

ამ მდგომარეობაში ერთ სრულ წრედში ერთვება ორივე დენის წყარო და ორივე რეზისტორი. სურათიდან ჩანს, რომ დენის წყაროების ემძ-ები ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მოქმედებს. რადგან $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$, სრული ემძ-ის მოდულია:

$$\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = 30 - 20 = 10 \text{ ვ}$$

წრედის სრული წინაღობაა:

$$R_{\text{სრული}} = 2R + 2r = 2 \cdot 40 + 2 \cdot 10 = 100 \text{ ომი}$$

ამიტომ დენის ძალა:

$$I_2 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{2R + 2r} = \frac{10}{100} = 0.1 \text{ ა} = 100 \text{ მა}$$

ამპერმეტრის ჩვენების შემცირებაა:

$$\Delta I = I_1 - I_2 = 400 - 100 = 300 \text{ მა}$$

მეორე მდგომარეობაში დენის მიმართულებას უფრო დიდი ემძ-ის მქონე $\varepsilon_2$ წყარო განსაზღვრავს. ამიტომ ამპერმეტრში დენის მიმართულება პირველი მდგომარეობის მიმართულების საპირისპირო ხდება.

**პასუხი:** ამპერმეტრის ჩვენება შემცირდება 300 მა-ით; დენის მიმართულება შეიცვლება.

## პარაგრაფი №1.13 — ელექტრული დენი ლითონებსა და სითხეებში. ელექტროლიზის მოვლენა

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | კვლევითი დაკვირვება და ახალი ცოდნის აგება | ელექტროლიზის მოვლენა — სადემონსტრაციო ცდა ელექტროლიტში | მოსწავლე შეძლებს სადემონსტრაციო ცდაზე დაკვირვებით დაადგინოს, რომ სუფთა წყალსა და მარილის ხსნარს განსხვავებული ელექტროგამტარობა აქვს, ახსნას სითხეში დენის გადამტანების — დადებითი და უარყოფითი იონების — მოძრაობა და გაიაზროს ელექტროლიზის მოვლენის არსი. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული პროცესის თვისებრივი დახასიათება, სადემონსტრაციო ექსპერიმენტის შედეგის პროგნოზირება და მიზეზ–შედეგობრივი კავშირის ახსნა. |
| 2 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | ელექტრული დენი ლითონებში — თავისუფალი ელექტრონების მიმართულებითი მოძრაობა | მოსწავლე შეძლებს მინი-ლექციისა და ვიზუალური მოდელის საფუძველზე დაასაბუთოს ლითონში თავისუფალი ელექტრონების არსებობა, განასხვავოს მათი ქაოსური სითბური მოძრაობა და ელექტრული ველის მოქმედებით წარმოქმნილი მიმართულებითი მოძრაობა და დააკავშიროს ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება დენის პირობით მიმართულებასთან. | ფიზიკური პროცესი — ელექტრული დენის მექანიზმის თვისებრივი დახასიათება; პროცესის გამომწვევი მიზეზისა და შედეგის დაკავშირება. |
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, შედარება და ტრანსფერი | დენი ლითონებსა და სითხეებში — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი | მოსწავლე შეძლებს ლითონებსა და ელექტროლიტებში დენის გადამტანების, დენის წარმოქმნის პირობებისა და თანმხლები პროცესების შედარებას, ელექტროლიზის არსის განმარტებას და მიღებული ცოდნის ახალ სიტუაციებში გამოყენებას. | ფიზიკური პროცესი — ფიზიკური პროცესების შედარება მათი მახასიათებლების მიხედვით და მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნა. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს, რომ ლითონებში ელექტრული დენის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია;
- განასხვავოს ლითონში ელექტრონების ქაოსური სითბური მოძრაობა და ელექტრული ველის მოქმედებით წარმოქმნილი მიმართულებითი მოძრაობა;
- გაიაზროს, რომ ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება ელექტრული დენის პირობითი მიმართულების საპირისპიროა;
- განმარტოს, რომ ელექტროლიტურ ხსნარებში დენის გადამტანებია დადებითი და უარყოფითი იონები, რომლებიც ელექტრული ველის მოქმედებით ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებებით მოძრაობენ;
- სადემონსტრაციო ცდაზე დაკვირვებით შეადაროს გამოხდილი/სუფთა წყლისა და მარილის წყალხსნარის ელექტროგამტარობა და შედეგი იონების არსებობას დაუკავშიროს;
- განმარტოს ელექტროლიზი, როგორც ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდებზე ნივთიერებათა გარდაქმნა/გამოყოფასთან დაკავშირებული პროცესი;
- შეადაროს ელექტრული გამტარებლობის მექანიზმი ლითონებსა და ელექტროლიტებში და მსჯელობა დააფუძნოს მუხტის თავისუფალი მატარებლების ტიპებზე;

### სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების (მაგალითად: ელექტომაგნიტური; თერმოდინამიკური; მექანიკური) თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ფიზიკურ მოვლენათა/პროცესთა შედარება მათი მახასიათებლების მიხედვით;
- სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

### წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად ასახელებს ლითონებსა და ელექტროლიტებში დენის გადამტანებს; ხსნის, რატომ არ იწვევს ელექტრული დენი ლითონში ნივთიერების გადატანას, ხოლო ელექტროლიტში იონების მოძრაობას შეიძლება თან ახლდეს ელექტროდებთან ქიმიური ცვლილებები; სადემონსტრაციო ცდის შედეგს უკავშირებს ხსნარში იონების არსებობას; განმარტავს ელექტროლიზის არსს; განასხვავებს ელექტრონების მოძრაობის მიმართულებას დენის პირობითი მიმართულებისგან და ლითონსა და სითხეში დენის მექანიზმებს არგუმენტირებულად ადარებს.

**აქტივობა 1. ელექტროლიზის მოვლენა — სადემონსტრაციო ცდა ელექტროლიტში**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | კვლევითი დაკვირვება და ახალი ცოდნის აგება — მოსწავლეებმა სადემონსტრაციო ცდაზე დაკვირვებით გააანალიზონ სითხეში დენის გავლის პირობები, დააკავშირონ მარილის გახსნისას წარმოქმნილი იონები ელექტროგამტარობასთან და გაიაზრონ ელექტროლიზის მოვლენის არსი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; ექსპერიმენტული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | რატომ იცვლება სითხის ელექტროგამტარობა მასში მარილის გახსნისას და როგორ ახსნით ხსნარში არსებულ დამუხტულ ნაწილაკების ქცევას, როდესაც მათზე ელექტრული ველი მოქმედებს? |
| **ექსპერიმენტი — მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობა** | მასწავლებელი ატარებს სახელმძღვანელოს მოხედვით სადემონსტრაციო ცდას: ელექტროლიზურ აბაზანაში მოთავსებულია ორი ელექტროდი; წრედში მიმდევრობით არის ჩართული დაბალძაბვიანი რეგულირებადი დენის წყარო, ჩამრთველი და ამპერმეტრი. მოსწავლეები თითოეული ეტაპის წინ გამოთქვამენ ვარაუდს ამპერმეტრის ჩვენების შესახებ.<br>• აბაზანაში ასხამს სუფთა/გამოხდილი წყალს, ჩართავს წრედს მოკლე დროით და დაკვირვებას ახდენს ამპერმეტრის ჩვენებაზე;<br>• წრედი გამოირთოს, წყალში დაემატოს ერთი კოვზი სუფრის მარილი, შემდეგ კვლავ ჩაირთოს და შედარდეს ამპერმეტრის ჩვენება წინა შემთხვევასთან;<br>• პლასტმასის ან მინის იზოლატორი ღეროთი ხსნარი ფრთხილად მოერიოს, რათა მარილი უკეთ გაიხსნას; კვლავ ჩაირთოს წრედი და დაფიქსირდეს, შეიცვალა თუ არა დენის ძალა;<br>• მოსწავლეები ადარებენ სამ დაკვირვებას და აყალიბებენ დასკვნას: ხსნარში მოძრავი იონების რაოდენობა განსაზღვრავს მის ელექტროგამტარობას; ელექტრული ველის არსებობისას იონები მიმართულებით მოძრაობენ.<br>მასწავლებელი დაკვირვებას უკავშირებს NaCl-ის წყალში დაშლას $Na^+$ და $Cl^-$ იონებად. დადებითი იონები მოძრაობენ უარყოფითი ელექტროდის — კათოდისაკენ, უარყოფითი იონები კი დადებითი ელექტროდის — ანოდისაკენ. ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდებთან მიმდინარე ნივთიერებათა გარდაქმნა/გამოყოფასთან დაკავშირებულ პროცესს ელექტროლიზი ეწოდება.<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების აღრიცხვა და გაანალიზება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცდის მსვლელობისას** | • რა კომპონენტებია ჩართული სადემონსტრაციო წრედში?<br>• რას გვიჩვენებს ამპერმეტრი?<br>• რა ნაწილაკები შეიძლება გახდეს დენის გადამტანი მარილის წყალხსნარში?<br>• რას ეწოდება დადებითი და უარყოფითი იონები?<br>• რა არის ანოდი და რა არის კათოდი?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დაკვირვების ანალიზისას** | • რატომ ვაკვირდებით ამპერმეტრის ჩვენებას ჯერ სუფთა წყალში და შემდეგ მარილის დამატების შემდეგ?<br>• რატომ უნდა გამოირთოს წრედი ხსნარში მარილის დამატებამდე ან მორევამდე?<br>• როგორ შევადარეთ დენის ძალა მარილის გახსნამდე და გახსნის შემდეგ?<br>• რომელი დაკვირვება გვაძლევს საფუძველს ვთქვათ, რომ ხსნარის ელექტროგამტარობა გაიზარდა?<br>განვითარებადი უნარები: კვლევის უნარები; მონაცემების გაანალიზება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას** | • რატომ ატარებს მარილის ხსნარი დენს სუფთა წყალსთან შედარებით უკეთ?<br>• რა მოხდება, თუ ხსნარში მოძრავი იონების რაოდენობა გაიზრდება?<br>• რატომ არ შეიძლება სითხეში დენის გავლის ახსნა მხოლოდ ელექტრონების მოძრაობით ისე, როგორც ლითონში?<br>• რის საფუძველზე ვამბობთ, რომ ელექტროლიტში დენის გავლას შეიძლება თან ახლდეს ქიმიური ცვლილება?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ცდის შედეგს წინასწარ არ ამბობს; თითოეული ეტაპის წინ ითხოვს პროგნოზს, შემდეგ მოსწავლეებს სთხოვს დაკვირვება დაუკავშირონ იონების არსებობასა და მოძრაობას. ხაზს უსვამს, რომ სითხეში დენის გადამტანები დადებითი და უარყოფითი იონებია და ელექტროდებთან შეიძლება მიმდინარეობდეს ქიმიური გარდაქმნები. |
| **რესურსები** | ელექტროლიზური აბაზანა/ჭურჭელი; ორი ელექტროდი; დაბალძაბვიანი რეგულირებადი დენის წყარო; ამპერმეტრი; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; სუფთა/გამოხდილი წყალი; სუფრის მარილი; პლასტმასის ან მინის ღერო; მოსწავლის წიგნის სურ. 1.13.7–1.13.12. |
| **უსაფრთხოება** | ცდა ჩაატაროს მასწავლებელმა დაბალძაბვიანი წყაროს გამოყენებით. ხსნარში მარილის დამატებისა და მორევისას წრედი გამორთული უნდა იყოს. ელექტროდებსა და ხსნარს ჩართული წრედის დროს არ შეეხოთ. ცდა ჩატარდეს მოკლე დროით, მცირე რაოდენობის ხსნარით და კარგი განიავების პირობებში; არ მოხდეს გამოყოფილი აირების შეგროვება ან დაყნოსვა. |
| **შეფასება** | „დაკვირვება → მტკიცებულება → დასკვნა“ — მოსწავლე ასახელებს, როგორ შეიცვალა ამპერმეტრის ჩვენება, რას ადასტურებს ეს ცვლილება და როგორ უკავშირდება მიღებულ შედეგი ხსნარში იონების არსებობას. კრიტერიუმები: დაკვირვების სიზუსტე; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირი; ტერმინების სწორად გამოყენება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ილუსტრირებული ნაბიჯების ბარათები და ნაწილობრივ შევსებული დაკვირვების ცხრილი: „სითხე — ამპერმეტრის ჩვენება — დასკვნა“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად აყალიბებენ დასკვნას. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, როგორ შეიცვლება გამტარობა ხსნარში იონების რაოდენობის ცვლილებისას. |

**შუალედური დასკვნა**

ელექტროლიტურ ხსნარში დენის გადამტანებია დადებითი და უარყოფითი იონები. ელექტრული ველის მოქმედებით ისინი ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებებით მოძრაობენ. ხსნარში იონების არსებობა ზრდის მის ელექტროგამტარობას. ელექტროლიტში დენის გავლას ელექტროდებთან  თან ახლავს ქიმიური გარდაქმნები — ელექტროლიზი.

**აქტივობა 2. ელექტრული დენი ლითონებში — თავისუფალი ელექტრონების მიმართულებითი მოძრაობა**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა მინი-ლექციისა და ვიზუალური მოდელის საფუძველზე გაიაზრონ, რომ ლითონში დენის მატარებლებია თავისუფალი ელექტრონები, ხოლო ელექტრული დენი წარმოიქმნება მათი მიმართულებითი მოძრაობით ელექტრული ველის მოქმედებით. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ვიზუალური მოდელირება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რა იცვლება ლითონში ელექტრული ველის შექმნისას, თუ თავისუფალი ელექტრონები მანამდეც მუდმივად მოძრაობდნენ? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ეყრდნობა მოსწავლის წიგნის სურ. 1.13.2–1.13.5-ს. თავდაპირველად განიხილავს ლითონის კრისტალურ მესერს: დადებითი იონები კრისტალურ მესერში რხევით მოძრაობას ასრულებენ, ხოლო  თავისუფალი (ატომს მოწყვეტილი) სავალენტო ელექტრონების ნაწილი მთელ ლითონში ქაოსურად მოძრაობს. ელექტრული ველის არარსებობისას ამ ქაოსური მოძრაობის საშუალო სიჩქარე (საშუალო გადაადგილება) ნულის ტოლია, რის გამოც გამტარში ელექტრული დენი არ აღიძვრება. წრედის შეკვრისას გამტარში აღძრული ელექტრული ველი თავისუფალ ელექტრონთა ქაოსურ მოძრაობას მიმართულ (მოწესრიგებულ) ხასიათს სძენს. ანუ ელექტრონები ქაოსურ მოძრაობასთან ერთად  ნაწილობრივე მიმართულ მოძრაობასაც ასრულებენ.<br>• ლითონში დენის გადამტანებია თავისუფალი ელექტრონები;<br>• ელექტრული ველის არარსებობისას მათი სითბური მოძრაობა ქაოსურია და მუხტის მიმართული გადატანა არ ხდება.<br>• ელექტრული ველის აღძვრისას თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდებიან დადებითი პოლუსისაკენ;<br>• ელექტრონების მიმართული მოძრაობა დენის პირობით მიმართულებას საპირისპიროა;<br>• ლითონში დენის გავლისას დენის მატარებლები არის ელექტრონები; კრისტალური მესრის იონები არ გადაადგილდებიან ერთი ელექტროდიდან მეორისკენ, ამიტომ ნივთიერების მაკროსკოპული გადატანა არ ხდება.<br>მასწავლებელი მოკლედ ხსნის რიკეს ცდის იდეას: სხვადასხვა ლითონის მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში ხანგრძლივი დენის გავლის შემდეგ ნივთიერების გადატანა არ დაფიქსირდა, რაც ლითონში დენის ელექტრონულ ბუნებას ადასტურებს.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია; მოდელის გააზრება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — მინი-ლექციისას** | • რა ნაწილაკებია ლითონში დენის გადამტანები?<br>• როგორ მოძრაობენ თავისუფალი ელექტრონები ელექტრული ველის არარსებობისას?<br>• როგორ იცვლება მათი მოძრაობის ხასიათი ელექტრული ველის აღძვრისას?<br>• როგორია ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება დენის პირობით მიმართულებასთან შედარებით?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — მოდელის გააზრებისას** | • როგორ განვასხვავებთ სქემაზე ელექტრონების ქაოსურ და მიმართულებით მოძრაობას?<br>• როგორ დავადგენთ, რომ ლითონში უკვე არსებობს ელექტრული დენი?<br>• როგორ ავხსნათ კრისტალური მესრის მოდელით, რატომ არ მიმდინარეობს ლითონში ნივთიერების გადატანა დენის გავლისას?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; ვიზუალური ინფორმაციის გაანალიზება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ტრანსფერისას** | • როგორ შეიცვლება ელექტრონების მოძრაობის ხასიათი გამტარში ელექტრული ველის გაქრობისას?<br>• რატომ არსებობს ლითონში თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობა მაშინაც, როცა დენი არ გადის?<br>• რატომ არის დენის პირობითი მიმართულება ელექტრონების მოძრაობის მიმართულების საპირისპირო?<br>• რით განსხვავდება მუხტის გადატანა ლითონში მუხტის გადატანისგან ელექტროლიტურ ხსნარში?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მხოლოდ ფრაზით „დენი არის ელექტრონების მოძრაობა“ არ შემოიფარგლება. ვიზუალური მოდელით მკაფიოდ არჩევს ქაოსურ და მიმართულებით მოძრაობას, სთხოვს მოსწავლეებს ახსნან ელექტრული ველის როლი და დენის პირობითი მიმართულება. საჭიროებისას რიკეს ცდას იყენებს როგორც დამატებით მტკიცებულებას ლითონში დენის ელექტრონული ბუნების გასააზრებლად. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 1.13.2–1.13.5; ლითონის კრისტალური მესრისა და თავისუფალი ელექტრონების სქემა; დაფა ან პროექტორი; მიმართულებების აღმნიშვნელი ისრები. |
| **შეფასება** | „დაასრულე სქემა“ — მოსწავლე ავსებს მოდელს: „ელექტრული ველი არ არის → ელექტრონები ... → დენი ...“ და „ელექტრული ველი არის → ელექტრონები ... → დენი ...“. კრიტერიუმები: ქაოსური/მიმართული მოძრაობის გამიჯვნა; ველის როლის ახსნა; დენის მიმართულების სწორად მითითება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემა: კრისტალური მესრის იონები ერთ ფერში, თავისუფალი ელექტრონები მეორეში, მიმართულებითი მოძრაობა — ისრებით. შესაძლებელია წინადადების დასაწყისები: „ელექტრული ველის გარეშე...“, „ველის აღძვრისას...“. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით განმარტავენ რიკეს ცდის მნიშვნელობას. |

**შუალედური დასკვნა**

ლითონებში ელექტრული დენი არის თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობა. ელექტრული ველის არარსებობისას ელექტრონები ქაოსურად მოძრაობენ, ხოლო ველის აღძვრისას ამ მოძრაობას ემატება მიმართული კომპონენტი. ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება დენის პირობითი მიმართულების საპირისპიროა.

**აქტივობა 3. დენი ლითონებსა და სითხეებში — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ცოდნის განმტკიცება, შედარება და ტრანსფერი — მოსწავლეებმა კითხვა–პასუხით გაამთლიანონ ლითონებსა და ელექტროლიტებში დენის წარმოქმნის მექანიზმი, დენის გადამტანები, ელექტროლიზის არსი და გამოიყენონ ცოდნა ახალ სიტუაციებში. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმართული (გეზის მიმცემი) კითხვა–პასუხი; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რა არის საერთო და რა განსხვავებული ელექტრული დენის წარმოქმნისას ლითონსა და ელექტროლიტში? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი დაფაზე წერს ორ სათაურს — „ლითონი“ და „ელექტროლიტი“. მოსწავლეები წყვილებში ასახელებენ დენის გადამტანებს, ელექტრული ველის როლს, ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულებასა და დენის გავლის შესაძლო შედეგებს. პასუხები გადაიტანება საერთო შედარების სქემაში. შემდეგ მასწავლებელი სვამს მოკლე სიტუაციურ კითხვებს: სუფთა წყალი; მარილის ხსნარი; სპილენძის მავთული; წრედის გაწყვეტა; ელექტროლიზის აბაზანა. მოსწავლეები თითოეულ შემთხვევაში ასახელებენ, არის თუ არა დენის გასვლის პირობა და რომელი ნაწილაკებს გადააქვთ მუხტი.<br>• ლითონში — დენის გადამტანია თავისუფალი ელექტრონები; ნივთიერების მაკროსკოპული გადატანა არ ხდება;<br>• ელექტროლიტში — დენის გადამტანებია დადებითი და უარყოფითი იონები, რომლებიც ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებებით მოძრაობენ;<br>• ორივე შემთხვევაში მიმართული მოძრაობა ელექტრული ველის მოქმედებით აღიძვრება;<br>• ელექტროლიტში დენის გავლას თან ახლავს ელექტროდებთან ქიმიური ცვლილებები — ელექტროლიზი.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას** | • რა არის დენის გადამტანი ლითონში?<br>• რა არის დენის გადამტანი ელექტროლიტურ ხსნარში?<br>• რას ეწოდება ელექტროლიზი?<br>• რომელი იონები მოძრაობენ კათოდისაკენ და რომელი — ანოდისაკენ?<br>• როგორია ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება დენის პირობით მიმართულებასთან შედარებით?<br>განვითარებადი უნარები: კომუნიკაცია; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — შედარებისას** | • როგორ დავადგენთ ცდის მიხედვით, ატარებს თუ არა მოცემული სითხე დენს?<br>• როგორ განვსაზღვრავთ, რომელი ნაწილაკები უნდა ჩაითვალოს მუხტის გადამტანებად კონკრეტულ გარემოში?<br>• როგორ შევადაროთ ლითონი და ელექტროლიტი სამი ნიშნით: დენის გადამტანი, მოძრაობის მიმართულება, დენის გავლის შედეგი?<br>განვითარებადი უნარები: მონაცემების გაანალიზება; კრიტიკული აზროვნება. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ახალ სიტუაციებში** | • რატომ აფიქსირებს ამპერმეტრი სუფთა წყალში თითქმის ნულოვან დენს, ხოლო მარილის დამატების შემდეგ — დენის ძალის მკვეთრ ზრდას?<br>• რატომ არ ხდება სპილენძის გამტარში დენის გავლისას ნივთიერების შესამჩნევი გადატანა ერთი ბოლოდან მეორისკენ?<br>• რა შეიცვლება ელექტროლიტში, თუ ელექტრული ველის მიმართულებას საპირისპიროთი შევცვლით?<br>• რატომ გამოიყენება ელექტროლიზი ტექნოლოგიურად ნივთიერებების გამოყოფისა და ზედაპირების დაფარვის პროცესებში?<br>• რომელი მახასიათებელი დაგვეხმარება უცნობი გარემოსთვის დენის მექანიზმის განსაზღვრაში — ნაწილაკების ტიპი, მათი მუხტი თუ მოძრაობის შესაძლებლობა? რატომ?<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **კონცეპტუალური მინი-დავალება — „ლითონი თუ ელექტროლიტი?“** | • „თავისუფალი ელექტრონს გადააქვს მუხტი.“ — ლითონი;<br>• „დადებით და უარყოფით იონს გადააქვს მუხტი “— ელექტროლიტი;<br>• „დენის გავლისას ელექტროდთან გამოიყოფა ნივთიერება “ — ელექტროლიტი;<br>• „ელექტრონების მიმართული მოძრაობა დენის პირობითი მიმართულების საპირისპიროა“ — ლითონი;<br>• „თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების და ელექტრული ველის არსებობა აუცილებელია“ — ორივე.<br>განვითარებადი უნარები: კრიტიკული აზროვნება; თანამშრომლობა და კომუნიკაცია. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი პასუხებს არ აფასებს მხოლოდ „სწორია/არასწორია“ ფორმით; მოსწავლეებს სთხოვს ყოველთვის დაასახელონ მუხტის გადამტანი ნაწილაკი და ელექტრული ველის როლი. გავრცელებული შეცდომებისას — მაგალითად, „სითხეში დენს ელექტრონები ატარებენ“ ან „ლითონში იონები გადაადგილდებიან ერთი ბოლიდან მეორისკენ“ — მოსწავლეებს აბრუნებს მოდელსა და ცდის შედეგებზე. |
| **რესურსები** | დაფა/პროექტორი; შედარების ცხრილი ან ვენის დიაგრამა; ბარათები „ელექტრონი“, „კათიონი“, „ანიონი“, „ლითონი“, „ელექტროლიტი“, „ელექტროლიზი“; მოსწავლის წიგნის შესაბამისი სურათები. |
| **შეფასება** | „იპოვე შეცდომა“ — 1) „ლითონში დენი დადებითი იონების მიმართული მოძრაობაა“; 2) „მარილის წყალხსნარში მუხტის გადატანაში მონაწილეობენ დადებითი და უარყოფითი იონები“; 3) „ელექტროლიზის პროცესში ელექტროდებთან მიმდინარეობს ნივთიერებათა გარდაქმნა“; 4) „ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა დენის პირობით მიმართულებას“. მოსწავლეები პოულობენ მცდარ დებულებებს და ასწორებენ არგუმენტით. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ შემცირებული არჩევანი „ელექტრონი / კათიონი / ანიონი“ და წინადადების დასაწყისები პასუხის დასასაბუთებლად. შესაძლებელია ზეპირი პასუხის ალტერნატივა. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები შედარების სქემას დამოუკიდებლად ავსებენ, მაღალი მზაობის მოსწავლეები ქმნიან ახალ სიტუაციას და განსაზღვრავენ დენის გადამტანებსა და შესაძლო თანმხლებ პროცესს. |

### შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ძირითად დებულებებს: 1) ლითონებში დენის გადამტანებია თავისუფალი ელექტრონები; 2) ელექტროლიტებში დენის გადამტანებია დადებითი და უარყოფითი იონები; 3) ორივე შემთხვევაში დენი აღიძვრება თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე ელექტრული ველის მოქმედებით; 4) ელექტროლიტში დენის გავლას თან ახლავს ელექტროდებთან ქიმიური გარდაქმნები — ელექტროლიზი.

### სასურველი დასკვნა

ნივთიერებაში ელექტრული გამტარებლობის მექანიზმი უშუალოდ განისაზღვრება ამ გარემოს შინაგანი (მიკროსკოპული) აგებულებითა და მასში მუხტის თავისუფალი გადამტანების ტიპით. ლითონებში მუხტი თავისუფალ ელექტრონებს გადააქვს, ხოლო ელექტროლიტურ სითხეებში — დადებით და უარყოფით იონებს. ელექტროლიტში დენის გავლისას იონების მიმართული მოძრაობა და ელექტროდებთან მიმდინარე გარდაქმნები ელექტროლიზის საფუძველს ქმნის.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### ვენის დიაგრამა „ლითონი და ელექტროლიტი“

მოსწავლე ავსებს ვენის დიაგრამას: მარცხენა ნაწილში წერს მხოლოდ ლითონისთვის დამახასიათებელ ნიშნებს, მარჯვენაში — ელექტროლიტისთვის, გადაკვეთის ნაწილში — საერთო ნიშნებს. შეფასდება დენის გადამტანების სწორად დასახელება, ელექტრული ველის როლის

გააზრება და ელექტროლიზის მოვლენის სწორად დაკავშირება ელექტროლიტში დენის გავლის პროცესთან.

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

პირველ აქტივობაში მთავარი აქცენტი გააკეთეთ დაკვირვების შედეგზე და მის მიზეზზე — ხსნარში იონების არსებობაზე; ცდა ჩატარდეს მხოლოდ დაბალძაბვიანი წყაროთი და მოკლე დროით. მეორე აქტივობაში მკაფიოდ გაამიჯნეთ ელექტრონების ქაოსური სითბური და მიმართულებითი მოძრაობა. შემაჯამებელ კითხვა–პასუხში მოსწავლეს პასუხის დასაბუთებისას ყოველთვის მოსთხოვეთ დენის გადამტანი ნაწილაკისა და ელექტრული ველის როლის დასახელება.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რის საფუძველზე დაასკვნა რიკემ, რომ ლითონებში მუხტი იონებს არ გადააქვს?**
   რიკეს ცდაში ერთი წლის განმავლობაში სპილენძის, ალუმინისა და სპილენძის ცილინდრებში ძალიან დიდი მუხტი გავიდა, მაგრამ თითოეული ცილინდრის მასა უცვლელი დარჩა და ნივთიერების გადატანა არ დაფიქსირდა. მუხტი იონებს რომ გადაეტანა, ცილინდრების მასები საგრძნობლად შეიცვლებოდა. ამიტომ რიკემ დაასკვნა, რომ ლითონებში მუხტი იონებს არ გადააქვს.
2. **რომელ მექანიკურ მოვლენას ეფუძნება სტიუარტისა და ტოლმენის ცდის იდეა?**
   სტიუარტისა და ტოლმენის ცდის იდეა ეფუძნება ინერციის მოვლენას: გამტარის მკვეთრი დამუხრუჭებისას თავისუფალი ელექტრონები ინერციით აგრძელებენ მოძრაობას და ხანმოკლე ელექტრულ დენს წარმოქმნიან.
3. **როგორი გამტარობა ახასიათებს ლითონებს?**
   ლითონებს ახასიათებს ელექტრონული გამტარობა, რადგან მათში ელექტრული დენი თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა.
4. **რას უწოდებენ დიპოლს?**
   დიპოლი, ანუ ორპოლუსა, არის პოლარული მოლეკულა, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტები ერთმანეთის მიმართ წანაცვლებულია.
5. **როგორ შლის მარილის მოლეკულას წყლის მოლეკულების გარემოცვა?**
   წყალში NaCl-ის მოლეკულას გარშემო წყლის დიპოლები ისე ორიენტირდება, რომ $Na^+$ იონისკენ უარყოფითი პოლუსით, ხოლო $Cl^-$ იონისკენ დადებითი პოლუსით არის მიმართული. ამის შედეგად NaCl-ის მოლეკულა ძლიერ იწელება და სითბური მოძრაობისას მცირე დაჯახებაც კი მის დაშლას იწვევს — მოლეკულა $Na^+$ და $Cl^-$ იონებად იყოფა.
6. **რომელ იონებს უწოდებენ ანიონებს? კათიონებს?**
   ანიონები არის უარყოფითი იონები, რომლებიც ელექტრულ ველში ანოდისაკენ მოძრაობენ. კათიონები არის დადებითი იონები, რომლებიც კათოდისაკენ მოძრაობენ.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**1. რომელია მართებული აზრი:**

ლითონის $1$ სმ$^3$ მოცულობაში დაახლოებით
ა) $10^{22} - 10^{23}$ თავისუფალი ელექტრონია
ბ) $10^{13} - 10^{14}$ თავისუფალი ელექტრონია
გ) $10^{8} - 10^{10}$ თავისუფალი ელექტრონია

**ამოხსნა:**

პარაგრაფში აღნიშნულია, რომ ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია დაახლოებით $10^{28}$ მ$^{-3}$ რიგისაა. რადგან

$$1 \text{ მ}^3 = 10^6 \text{ სმ}^3,$$

მაშინ $1$ სმ$^3$-ში თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა დაახლოებით იქნება

$$\frac{10^{28}}{10^6} = 10^{22}.$$

ეს მნიშვნელობა შეესაბამება პირველ ვარიანტს.

**პასუხი: ა)** $10^{22} - 10^{23}$ თავისუფალი ელექტრონი.

**2. რომელ ნაწილაკებს გადააქვთ მუხტი ლითონებში?**

ა) პროტონებს
ბ) ნეიტრონებს
გ) ატომის გარსში არსებულ ელექტრონებს
დ) თავისუფალ ელექტრონებს
ე) იონებს

**ამოხსნა:**
პარაგრაფში განხილული რიკეს, სტიუარტისა და ტოლმენის ცდების საფუძველზე დადგენილია, რომ ლითონებში ელექტრული დენი თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა. ამიტომ მუხტის გადამტანები ლითონებში არიან თავისუფალი ელექტრონები.

**პასუხი: დ) თავისუფალ ელექტრონებს.**

**3. რომელი ნაწილაკებია მუხტის ძირითადი გადამტანები ელექტროლიტებში?**

ა) პროტონები
ბ) ნეიტრონები
გ) ატომის გარსში არსებული ელექტრონები
დ) თავისუფალი ელექტრონები
ე) იონები

**ამოხსნა:**
ელექტროლიტის ხსნარში ან ნადნობში მუხტი გადააქვთ დადებით და უარყოფით იონებს. დადებითი იონები — კათიონები — კათოდისაკენ მოძრაობენ, ხოლო უარყოფითი იონები — ანიონები — ანოდისაკენ.

**პასუხი: ე) იონები.**

**4. სპილენძის მოლური მასა $64$ გ/მოლი-ია. თუ ვივარაუდებთ, რომ მისი ყოველი ატომიდან საშუალოდ ერთი სავალენტო ელექტრონი თავისუფლდება, მაშინ რამდენი თავისუფალი ელექტრონი იქნება $960$ გ სპილენძში?**

**მოც.:**

$\mathrm{m} = 960$ გ,

$\mathrm{M} = 64$ გ/მოლი,

$\mathrm{N_A} = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ მოლი$^{-1}$.

**უ.ვ.:** $\mathrm{N_e} = ?$

**ამოხსნა:**
ჯერ ვიპოვოთ სპილენძის ნივთიერების რაოდენობა:

$$\nu = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{M}} = \frac{960}{64} = 15 \text{ მოლი.}$$

ერთ მოლში არის $\mathrm{N_A}$ ატომი, ამიტომ $15$ მოლ სპილენძში ატომების რაოდენობაა

$$\mathrm{N} = \nu \mathrm{N_A} = 15 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} = 90{,}3 \cdot 10^{23} = 9{,}03 \cdot 10^{24}.$$

პირობის თანახმად, თითოეული ატომიდან საშუალოდ ერთი სავალენტო ელექტრონი თავისუფლდება. ამიტომ თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა ატომების რაოდენობის ტოლია:

$$\mathrm{N_e} = \mathrm{N} \approx 9 \cdot 10^{24}.$$

**პასუხი:** $\mathrm{N_e} \approx 9 \cdot 10^{24}$ თავისუფალი ელექტრონი.

**5. შაბიამნის (სპილენძის სულფატი $CuSO_4$) წყალში გახსნისას მისი მოლეკულების დიდი ნაწილი დისოცირდება იონებად:**

$CuSO_4 \rightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-}$.

რომელ ელექტროდზე (კათოდზე/ანოდზე) გამოიყოფა სპილენძი?

**ამოხსნა:**
დისოციაციის შედეგად წარმოქმნილი $Cu^{2+}$ დადებითი იონია, ანუ კათიონია. პარაგრაფის მიხედვით, კათიონები ელექტრული ველის მიმართულებით მოძრაობენ კათოდისაკენ. კათოდთან $Cu^{2+}$ იონი ელექტრონებს შეივსებს და სპილენძი გამოიყოფა სუფთა ნივთიერების სახით.

**პასუხი: სპილენძი გამოიყოფა კათოდზე.**

**6. ელექტროლიტურ აბაზანაში ასხია გამოხდილი წყალი (სურ. 1.13.13). აჩვენებს თუ არა ამ დროს ამპერმეტრი დენს? აბაზანაში ფრთხილად ჩაყარეს სუფრის მარილი. შეიცვლება თუ არა ამ დროს ამპერმეტრის ჩვენება? მარილს ფრთხილად მოურიეს ხის წკირით. შეიცვლება თუ არა ამპერმეტრის ჩვენება?**

**ამოხსნა:**

ა) გამოხდილი წყლის შემთხვევაში ამპერმეტრი პრაქტიკულად დენს არ აჩვენებს. რომ გამოხდილი წყალი დიელექტრიკია და მასში მუხტის გადამტანი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები პრაქტიკულად არ არის.
ბ) სუფრის მარილის ჩაყრის შემდეგ მარილის ნაწილი წყალში გაიხსნება და მისი მოლეკულები დაიშლება $Na^+$ და $Cl^-$ იონებად. ხსნარში გაჩნდება მუხტის გადამტანი ნაწილაკები, ამიტომ ამპერმეტრის ჩვენება გაიზრდება — წრედში დენი გაივლის.
გ) მარილის მორევისას მისი გახსნა დაჩქარდება. ხსნარში მეტი იონი აღმოჩნდება, ამიტომ გამტარობა გაიზრდება და ამპერმეტრის ჩვენებაც მოიმატებს, სანამ მოცემულ პირობებში ხსნარის მდგომარეობა არ დასტაბილურდება.

**პასუხი:** გამოხდილ წყალში ამპერმეტრი დენს პრაქტიკულად არ აჩვენებს; მარილის დამატების შემდეგ დენი ჩნდება; მორევისას ჩვენება კიდევ იზრდება, რადგან მარილის გახსნა და იონების წარმოქმნა დაჩქარდება.

**7. ორ ერთნაირ, პარალელურად შეერთებულ ელექტროლიტურ აბაზანაში ასხია ერთნაირი კონცენტრაციის და რაოდენობის შაბიამნის ხსნარი — პირველში ცივი და მეორეში ცხელი (სურ. 1.13.14). იქნება თუ არა ამპერმეტრის ჩვენებებს შორის განსხვავება?**

**ამოხსნა:**
პარალელურად შეერთებულ აბაზანებზე ძაბვა ერთნაირია. ცხელი ხსნარის ნაწილაკები უფრო ინტენსიურად მოძრაობენ და მისი ელექტრული გამტარობა მეტია, ანუ წინაღობა ნაკლებია. ერთსა და იმავე ძაბვაზე ნაკლები წინაღობის მქონე მეორე, ცხელი ხსნარის აბაზანაში დენის ძალა მეტი იქნება.

ამიტომ

$$I_2 > I_1.$$

**პასუხი:** მეორე ამპერმეტრის ჩვენება მეტია: $I_2 > I_1$.

**8. ორ ერთნაირ მიმდევრობით შეერთებულ ელექტროლიტურ აბაზანაში ასხია ერთნაირი კონცენტრაციის და რაოდენობის შაბიამნის ხსნარი — პირველში ცივი და მეორეში ცხელი (სურ. 1.13.15). იქნება თუ არა ამპერმეტრის ჩვენებებს შორის განსხვავება?**

**ამოხსნა:**
მიმდევრობით შეერთებულ წრედში დენის ძალა წრედის ყველა უბანზე ერთნაირია. მიუხედავად იმისა, რომ ცივი და ცხელი ხსნარების წინაღობები განსხვავდება, ორივე აბაზანაში ერთი და იგივე დენი გაივლის.
ამიტომ

$$I_1 = I_2.$$

**პასუხი:** არა, განსხვავება არ იქნება; ორივე ამპერმეტრი ერთსა და იმავე დენის ძალას აჩვენებს.

**9. თუ ლითონისგან დამზადებულ სპირალს მუდმივი ძაბვის წყაროს შევუერთებთ, მასში დენი საკმარისად დიდხანს იარსებებს (სანამ წრედიდან არ ამოვრთავთ). ასევე დიდხანს იარსებებს თუ არა დენი, თუ სპირალს ელექტროლიტური აბაზანით შევცვლით?**

**ამოხსნა:**
ლითონში დენის გავლისას ნივთიერების გადატანა და ქიმიური გარდაქმნა არ ხდება — მუხტი თავისუფალ ელექტრონებს გადააქვთ. ელექტროლიტში კი დენის გავლა დაკავშირებულია იონების მოძრაობასთან და ელექტროლიზთან: ელექტროდებზე ნივთიერებები გამოიყოფა და ელექტროლიტის შემადგენლობა იცვლება.

ამიტომ ელექტროლიტური აბაზანის შემთხვევაში დენი შეიძლება გარკვეული დროის განმავლობაში გავიდეს, მაგრამ პროცესი თვითონ ცვლის ხსნარსა და ელექტროდებს. შესაბამისად, ვერ ჩავთვლით, რომ დენი ისეთივე პირობებით განუსაზღვრელად დიდხანს იარსებებს, როგორც ლითონის სპირალში.

**პასუხი:** არა — ელექტროლიტში დენის გავლას თან ახლავს ელექტროლიზი და ნივთიერების ქიმიური გარდაქმნა, ამიტომ დროთა განმავლობაში წრედის პირობები იცვლება.

## პარაგრაფი №2.1 — ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები

**აქტივობების მოკლე მიმოხილვა**

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები — დამაგნიტების მოვლენა | მოსწავლე შეძლებს ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტების განსხვავებას, დამაგნიტების მოვლენის ახსნას და სადემონსტრაციო ცდის საფუძველზე დროებითი და ნარჩენი დამაგნიტების გააზრებას. | **ნივთიერება და ველი** — მაგნიტური თვისებების ზოგადი აღწერა; ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების გამოსაკვლევად შესაბამისი ექსპერიმენტის ორგანიზება და შედეგების გაანალიზება. |
| 2 | ახალი ცოდნის გააზრება და ექსპერიმენტული დაკვირვება | მაგნიტის პოლუსები და კომპასის მუშაობის პრინციპი | მოსწავლე შეძლებს მაგნიტის პოლუსების ამოცნობას, ერთსახელიანი და სხვადასხვასახელაიანი | **ძალა; ნივთიერება და ველი** — მაგნიტური ურთიერთქმედების თვისებრივი დახასიათება; მაგნიტური ველის თვისებების |

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| | | | პოლუსების ურთიერთქმედების აღწერას და კომპასის მუშაობის პრინციპის ახსნას სადემონსტრაციო ცდის საფუძველზე. | ზოგადი აღწერა და ადვილად დაკვირვებადი მაგალითების ახსნა. |
| 3 | კვლევა, გააზრება და ცოდნის განმტკიცება | ერსტედის ცდა — დენის მაგნიტური მოქმედება | მოსწავლე შეძლებს ერსტედის ცდის შედეგის აღწერას, დენიანი გამტარის მაგნიტურ მოქმედებაზე მტკიცებულების მოყვანას და ელექტრულ დენსა და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირის დადგენას. | **ფიზიკური პროცესი; ნივთიერება და ველი** — ელექტრომაგნიტური პროცესის თვისებრივი დახასიათება; სადემონსტრაციო ექსპერიმენტის შედეგის პროგნოზირება და შედეგთან შედარება; მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების გაანალიზება. |

**სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:**

- განასხვავოს ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები;
- განმარტოს დამაგნიტების მოვლენა და ერთმანეთისგან განასხვავოს დროებითი და ნარჩენი დამაგნიტება;
- ამოიცნოს მაგნიტის პოლუსები და აღწეროს ერთსახელიანი და სხვადასხვასახელიანი პოლუსების ურთიერთქმედება;
- ახსნას კომპასის მაგნიტური ისრის ორიენტაციის პრინციპი;
- სადემონსტრაციო ცდის შედეგების საფუძველზე დაადასტუროს დენის მაგნიტური მოქმედება;
- ახსნას ერსტედის ცდის მნიშვნელობა ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირის დასადგენად;
- დაკვირვების შედეგები გამოიყენოს მიზეზ-შედეგობრივი დასკვნის ჩამოსაყალიბებლად.

**სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები**

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა;
- ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების წინასწარ განჭვრეტა და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ურთიერთქმედების სახეების — გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური — თვისებრივი დახასიათება; ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლისა და მნიშვნელობის შესახებ მსჯელობა ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების, მათ შორის ელექტრომაგნიტური პროცესების, თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენისა და პროცესის სადემონსტრაციო საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების პროგნოზირება და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

**წარმატების კრიტერიუმები**

მოსწავლე სწორად განასხვავებს ბუნებრივ და ხელოვნურ მაგნიტებს; ხსნის დამაგნიტების მოვლენის არსს და დროებით და ნარჩენ დამაგნიტებას ერთმანეთისგან განასხვავებს; სწორად ასახელებს მაგნიტის პოლუსებს და აღწერს ერთსახელიანი და სხვადასხვასახელიანი პოლუსების ურთიერთქმედებას; კომპასის მუშაობას უკავშირებს მაგნიტური ისრის ორიენტაციას; ერსტედის ცდის მაგალითზე სწორად აღწერს წრედის ჩაკეტვისას (დენის გავლისას) მაგნიტური ისრის გადახრას და ამ დაკვირვებაზე დაყრდნობით ასაბუთებს დენის მაგნიტურ მოქმედებას.

**აქტივობა 1. ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები — დამაგნიტების მოვლენა**

| **აქტივობის კომპონენტი** | **აღწერა** |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა განასხვავონ ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები, გაიაზრონ დამაგნიტების მოვლენა და სადემონსტრაციო ცდით დააკვირდნენ ფოლადის სხეულის დამაგნიტებას. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ექსპერიმენტული სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ შეიძლება ჩვეულებრივ ფოლადის სხეულს მაგნიტური თვისებები შევძინოთ? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი სახელმძღვანელოს ილუსტრაციებზე დაყრდნობით განმარტავს, რომ ბუნებაში გვხვდება რკინის მადნები, რომლებსაც რკინის საგნების მიზიდვის თვისება გააჩნიათ — მათ ბუნებრივ მაგნიტებს უწოდებენ, ხოლო ადამიანის მიერ დამაგნიტებულ სხეულებს — ხელოვნურ მაგნიტებს. მაგნიტების პრაქტიკული გამოყენების მოკლე მიმოხილვის შემდეგ, ყურადღება მახვილდება დამაგნიტების მოვლენაზე. მოსწავლეები გამოთქვამენ სავარაუდო ჰიპოთეზებს, შესაძლებელია თუ არა არადამაგნიტებული ფოლადის სხეულისთვის მაგნიტური თვისებების მინიჭება. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი — ფოლადის სხეულის დამაგნიტება** | 1. მასწავლებელი მოსწავლეებს აჩვენებს ფოლადის ნემსს, ლურსმანს ან სხვა მცირე ფოლადის საგანს და ამოწმებს, იზიდავს თუ არა იგი რკინის მცირე სამაგრებს. 2. ფოლადის საგანს რამდენჯერმე ერთსა და იმავე მიმართულებით გადაუსვამს მუდმივი მაგნიტის ერთ-ერთ პოლუსს. 3. ამის შემდეგ ფოლადის საგანი კვლავ მიაქვს რკინის სამაგრებთან. 4. მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ დამაგნიტებული ფოლადის საგანი უკვე იზიდავს სამაგრებს. 5. მასწავლებელი ცდის შედეგს უკავშირებს დამაგნიტების ცნებას და განმარტავს დროებით და ნარჩენ დამაგნიტებას. **განვითარებადი უნარები:** დაკვირვება და მტკიცებულების გაანალიზება; კვლევის უნარები. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცდის დაწყებამდე და ახსნისას** | • რას ეწოდება ბუნებრივი მაგნიტი? • რას ვუწოდებთ ხელოვნურ მაგნიტს? • რას ნიშნავს სხეულის დამაგნიტება? • რას ეწოდება დროებითი დამაგნიტება? • რას ეწოდება ნარჩენი დამაგნიტება? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის გაანალიზებისას** | • როგორ შევამოწმეთ ფოლადის საგნის მაგნიტური თვისება დამაგნიტებამდე? • რა მოქმედება შევასრულეთ ფოლადის საგნის დასამაგნიტებლად? • რა ნიშნით (როგორ) დავადგინეთ, რომ ცდის შედეგად ფოლადის სხეულმა მაგნიტური თვისებები შეიძინა?• რატომ იყო აუცილებელი სხეულის თვისებების (ქცევის) შედარება დამაგნიტების პროცესამდე და მისი დასრულების შემდეგ |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები —** | • როგორ დაადგენდით, ნარჩენი დამაგნიტება მიიღო თუ დროებითი დამაგნიტება სხეულმა? რა დასკვნის გამოტანა შეიძლება იმ ფაქტიდან, რომ გარე მაგნიტის მოშორების შემდეგაც ფოლადის საგანი ინარჩუნებს მაგნიტურ თვისებებს (კვლავ |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ცოდნის განზოგადებისას** | იზიდავს რკინის სამაგრებს)? • მოიყვანეთ ტექნიკასა და ყოველდღიურობაში ხელოვნურად დამაგნიტებული სხეულების (მუდმივი მაგნიტების) გამოყენების მაგალითები. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი არ აწვდის მოსწავლეებს ექსპერიმენტის შედეგს წინასწარ. იგი სთხოვს მათ გამოთქვან ვარაუდი, ცდის წინ და შემდეგ შეადარონ ფოლადის საგნის თვისებები და დაკვირვების შედეგები გამოიყენონ დასკვნის დასასაბუთებლად. განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს დროებითი და ნარჩენი დამაგნიტების ერთმანეთისგან გამიჯვნაზე. |
| **რესურსები** | ბუნებრივი მაგნიტის ან შესაბამისი მისი ვიზუალური გამოსახულება; მუდმივი ხელოვნური მაგნიტი; ფოლადის ნემსი, ლურსმანი ან სხვა მცირე ზომის ფოლადის საგანი; რკინის სამაგრები; მოსწავლის წიგნის შესაბამისი სურათები. |
| **უსაფრთხოება** | ბასრი ფოლადის საგნის გამოყენების შემთხვევაში ცდას ატარებს მასწავლებელი. მაგნიტები უნდა ინახებოდეს მგრძნობიარე ელექტრონული მოწყობილობებისა და მაგნიტური ბარათებისგან მოშორებით. |
| **შეფასება** | „დაკვირვება → მტკიცებულება → დასკვნა“ — მოსწავლე ერთი წინადადებით ასახელებს, რა შეიცვალა ფოლადის საგნის თვისებაში ცდის შემდეგ და რომელი ცდა ადასტურებს მის დამაგნიტებას. კრიტერიუმები: დაკვირვების სიზუსტე; მიზეზისა და შედეგის სწორი დაკავშირება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ვიზუალური მინიშნებები — „დამაგნიტებამდე / დამაგნიტების შემდეგ“ ორი ვიზუალური გამოსახულებით და წინადადების დასაწყისი: „ცდის შემდეგ ფოლადის საგანმა...“. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად აყალიბებენ დასკვნას, ხოლო მაღალი მზაობის მოსწავლეები ხსნიან განსხვავებას დროებით და ნარჩენ დამაგნიტებას შორის. |

**შუალედური დასკვნა**

ბუნებრივი მაგნიტები ბუნებაში გვხვდება, ხოლო ხელოვნური მაგნიტები ადამიანის მიერ დამაგნიტებული სხეულებია. ფოლადის სხეულს მუდმივი მაგნიტის მოქმედებით შეიძლება მიენიჭოს მაგნიტური თვისებები. თუ ეს თვისებები მაგნიტის მოშორების შემდეგაც რჩება, გვაქვს ნარჩენი დამაგნიტება, ხოლო მხოლოდ მაგნიტის სიახლოვეს გამოვლენილ დამაგნიტებას დროებითი დამაგნიტება ეწოდება.

### აქტივობა 2. მაგნიტის პოლუსები და კომპასის მუშაობის პრინციპი

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა გაიაზრონ მაგნიტის პოლუსების არსი, ექსპერიმენტულად დააკვირდნენ მაგნიტების პოლუსებს შორის ურთიერთქმედებას და ახსნან კომპასის მაგნიტური ისრის ორიენტაციის პრინციპი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; მიმმართველი (გეზის მიმცემი) კითხვა–პასუხი. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ მოქმედებენ ერთმანეთზე მაგნიტების პოლუსები და რატომ იკავებს კომპასის ისარი განსაზღვრულ მიმართულებას? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი განმარტავს, რომ მაგნიტის ზედაპირის იმ ნაწილებს, სადაც მაგნიტური მოქმედება ყველაზე ძლიერად ვლინდება, მაგნიტის პოლუსები ეწოდება. განიხილება ჩრდილოეთის — N და სამხრეთის — S პოლუსები. მოსწავლეებს ეძლევათ |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| | შესაძლებლობა წინასწარ ივარაუდონ, როგორ იმოქმედებენ ერთმანეთზე მაგნიტების ერთსახელაიანი და სხვადასხვასახელიანი პოლუსები. შემდეგ სადემონსტრაციო ცდით მოწმდება ვარაუდები. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი 1 — მაგნიტის პოლუსების ურთიერთქმედება** | 1. ერთ მაგნიტს მასწავლებელი თავისუფლად დაკიდებს ან ისე ათავსებს, რომ მარტივად შეეძლოს შემობრუნება.<br>2. მეორე მაგნიტის N პოლუსს უახლოვებს პირველი მაგნიტის N პოლუსს და მოსწავლეები აკვირდებიან განზიდვას.<br>3. შემდეგ ერთმანეთს უახლოვებს N და S პოლუსებს და აკვირდებიან მიზიდვას.<br>4. შედეგიდან მოსწავლეები აყალიბებენ წესს: ერთსახელიანი პოლუსები განიზიდებიან, მაგნიტების სხვადასხვასახელიანი პოლუსები მიიზიდებიან. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი 2 — კომპასის მუშაობა** | 1. კომპასი თავსდება მაგნიტური საგნებისგან მოშორებულ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე და მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ მისი ისარი ჩრდილოეთ–სამხრეთის მიმართულებით ორიენტირდება. 2. კომპასთან ნელა მიაქვთ ზოლისებრი მაგნიტი. 3. მოსწავლეები აკვირდებიან მაგნიტური ისრის შემობრუნებას. 4. მაგნიტის პოლუსის შეცვლისას იცვლება ისრის ორიენტაციაც. 5. მასწავლებელი განმარტავს, რომ კომპასის ისარი თავად მცირე მაგნიტია და დედამიწის მაგნიტური მოქმედების გამო განსაზღვრულ მიმართულებას იკავებს. **განვითარებადი უნარები:** დაკვირვება და გაანალიზება; მიზეზ-შედეგობრივი კავშირის დადგენა. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტების მიმდინარეობისას** | • რას ეწოდება მაგნიტის პოლუსი?<br>• როგორ აღინიშნება ჩრდილოეთის და სამხრეთის პოლუსები?<br>• როგორ მოქმედებენ ერთმანეთზე ერთსახელაიანიანი პოლუსები?<br>• როგორ მოქმედებენ სხვადასხვასახელა პოლუსები?<br>• რას წარმოადგენს კომპასის ისარი? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დაკვირვების გაანალიზებისას** | • როგორ დავადგინეთ, რომ ერთსახელიანი პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს?<br>• რა შეიცვალა, როდესაც ერთ-ერთი მაგნიტი შევაბრუნეთ?<br>• როგორ დავაკვირდით კომპასის ისარზე მაგნიტის მოქმედებას?<br>• რატომ უნდა ყოფილიყო კომპასი ექსპერიმენტის დასაწყისში სხვა მაგნიტური საგნებისგან მოშორებით? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ტრანსფერისას** | • რა მოხდება, თუ კომპასთან ძლიერ მაგნიტს მივიტანთ?<br>• რატომ შეიძლება კომპასმა არასწორი მიმართულება აჩვენოს რკინის დიდი სხეულის ან დენიანი მოწყობილობის სიახლოვეს?<br>• როგორ გამოიყენებდით კომპასს უცხო გარემოში ორიენტაციისთვის? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი სთხოვს მოსწავლეებს თითოეული ცდის წინ პროგნოზის გაკეთებას და შემდეგ პროგნოზის შედეგთან შედარებას. მიზნობრივი კითხვებით ეხმარება მოსწავლეებს მაგნიტური პოლუსების ურთიერთქმედების წესის ჩამოყალიბებაში. კომპასის მოქმედების პრინციპი არ მიეწოდებათ მზა, დასამახსოვრებელი ფაქტის სახით — მოსწავლეები დასკვნას თვითონ აყალიბებენ მაგნიტური ისრის ორიენტაციაზე დაკვირვების საფუძველზე. |
| **რესურსები** | ორი ზოლისებრი ან ნალისებრი მაგნიტი; ძაფი ან მარტივი საკიდი; კომპასი; მოსწავლის წიგნის შესაბამისი სურათები და სქემები. |
| **უსაფრთხოება** | ძლიერი მაგნიტები არ მიიტანოთ ელექტრონულ მოწყობილობებთან და სხვა მგრძნობიარე მოწყობილობებთან. მაგნიტების ერთმანეთთან სწრაფი შეჯახება თავიდან უნდა იქნეს აცილებული. |
| **შეფასება** | მოსწავლეებს უნდა შეეძლოთ მაგნიტების მიზიდვისა და განზიდვის შემთხვევების დასახელება პოლუსების ურთიერთმდებარეობის მიხედვით |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული და ფერებით კოდირებული სქემა, რომელშიც N და S პოლუსები სხვადასხვა ნიშნითაა გამოყოფილი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემას დამოუკიდებლად ავსებენ; მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, რატომ იცვლება კომპასის ისრის მიმართულება მაგნიტის პოლუსის შეცვლისას. |

**შუალედური დასკვნა**

მაგნიტს ორი პოლუსი აქვს — ჩრდილოეთისა და სამხრეთის. ერთსახელიანი პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, ხოლო სხვადასხვასახელიანი პოლუსები მიიზიდავს. კომპასის მაგნიტური ისარი მცირე მაგნიტია და დედამიწის მაგნიტური მოქმედების გამო ჩრდილოეთ–სამხრეთის მიმართულებით ორიენტირდება.

### აქტივობა 3. ერსტედის ცდა — დენის მაგნიტური მოქმედება

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა ერსტედის ცდის საფუძველზე ექსპერიმენტულად დაადასტურონ ელექტრული დენის მაგნიტური მოქმედება და გაიაზრონ, რომ გამტარში ელექტრული დენის გავლისას მის გარშემო ვლინდება მაგნიტური მოქმედება. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება; ექსპერიმენტული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | მოქმედებს თუ არა დენიანი გამტარი მაგნიტურ ისარზე და როგორ შეიძლება ამ მოქმედების ექსპერიმენტულად აღმოჩენა? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოკლედ აცნობს მოსწავლეებს, რომ ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირის მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტული მტკიცებულება 1820 წელს ჰანს ქრისტიან ერსტედმა მიიღო. ცდის დაწყებამდე მოსწავლეები გამოთქვამენ ვარაუდს: შეიცვლება თუ არა კომპასის ისრის ორიენტაცია გამტარში დენის გატარებისას. შემდეგ ტარდება სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი. **განვითარებადი უნარები:** კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ექსპერიმენტი — ერსტედის ცდა** | 1. კომპასი თავსდება ჰორიზონტალურ ზედაპირზე და ელოდებიან, ვიდრე მისი ისარი ჩრდილოეთ–სამხრეთის მიმართულებით ორიენტირდება.<br>2. კომპასის ზემოთ ან ქვემოთ, ისრის პარალელურად, თავსდება სწორი გამტარი.<br>3. გამტარი ჩამრთველის საშუალებით უკავშირდება დაბალძაბვიან დენის წყაროს.<br>4. განრთული წრედის შემთხვევაში მოსწავლეები აფიქსირებენ კომპასის ისრის საწყის მდგომარეობას.<br>5. წრედის შეერთებისას დენი გადის გამტარში და მოსწავლეები აკვირდებიან კომპასის ისრის გადახრას.<br>6. წრედის კვლავ განრთვისას ისარი უბრუნდება საწყისი მიმართულებისკენ.<br>7. შესაძლებლობის შემთხვევაში იცვლება დენის მიმართულება და მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ იცვლება ისრის გადახრის მიმართულებაც. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცდის დაწყებისას** | • ვინ აღმოაჩინა ექსპერიმენტულად ელექტრული დენის მაგნიტური მოქმედება?<br>• რა მოწყობილობა გამოიყენება ცდაში მაგნიტური მოქმედების დასაფიქსირებლად?<br>• როგორ იყო განთავსებული გამტარი კომპასის ისრის მიმართ ცდის დასაწყისში?<br>• რა მოხდა კომპასის ისართან ახლოს განთავსებულ გამტარში დენის გავლისასგან? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცდის მიმდინარეობისას** | • რატომ დავაფიქსირეთ ისრის საწყისი მდგომარეობა დენის ჩართვამდე? • როგორ დავადგინეთ, რომ კომპასის ისრის გადახრა სწორედ დენის გავლას უკავშირდებოდა? • რა მოხდა დენის გამორთვისას?<br>• როგორ შეგვიძლია შევამოწმოთ, უკავშირდება თუ არა ისრის გადახრის მიმართულება გამტარში დენის მიმართულებას? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დასკვნის განზოგადებისას** | • რა მოხდებოდა, გამტარში დენი რომ არ გადიოდეს?<br>• რატომ შეიძლება კომპასის ჩვენებაზე გავლენა მოახდინოს დენიანმა გამტარმა?<br>• რა ფუნდამენტურ ურთიერთკავშირზე მიუთითებს ერსტედის ცდა ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის?<br>• სად შეიძლება შეგვხვდეს ტექნიკაში ელექტრული დენის მაგნიტური მოქმედების გამოყენება? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების შედარებას. კითხვებით ეხმარება მოსწავლეებს გამორიცხონ სხვა მიზეზები და დააკავშირონ ისრის გადახრა უშუალოდ დენის გავლასთან. დენის მიმართულების შეცვლისას მოსწავლეებს სთხოვს წინასწარ ივარაუდონ შედეგი და მხოლოდ შემდეგ ჩართოს წრედი. |
| **რესურსები** | კომპასი ან მაგნიტური ისარი; სწორი იზოლირებული გამტარი; დაბალძაბვიანი დენის წყარო; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; მოსწავლის წიგნიდან ერსტედის ცდის სქემა. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო წყარო. არ დაუშვათ დენის წყაროს პოლუსების უშუალო შეერთება და მოკლე ჩართვა. წრედი ჩაკეტილი დატოვეთ მხოლოდ დაკვირვებისთვის საჭირო მოკლე დროით, რათა გამტარი არ გადახურდეს. შეერთებების შეცვლამდე დენის წყარო გათიშეთ. |
| **შეფასება** | „დაკვირვება → მტკიცებულება → დასკვნა“ — მოსწავლე ასახელებს: 1) რა შეიცვალა დენის ჩართვისას; 2) რა არის ამ ცვლილების მტკიცებულება; 3) რა დასკვნას ვაკეთებთ დენის მაგნიტური მოქმედების შესახებ. კრიტერიუმები: დაკვირვების სიზუსტე; მტკიცებულებისა და დასკვნის ერთმანეთთან შესაბამისობა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ექსპერიმენტის ილუსტრირებული ნაბიჯების ბარათები და წინადადების დასაწყისები: „დენის ჩართვამდე...“, „დენის ჩართვისას...“, „აქედან ვასკვნით, რომ...“. შესაძლებელია თანატოლის მხარდაჭერა და ზეპირი პასუხის ალტერნატივა. მაღალი აკადემიური მზაობის მოსწავლეები დასაბუთებულად ახსნიან, თუ როგორ უკავშირდება დენის მიმართულების ცვლილება მაგნიტური ისრის საპირისპიროდ გადახრას. |

**შეჯამება**

მოსწავლეები მასწავლებლის მიმმართველი კითხვების დახმარებით აყალიბებენ პარაგრაფის ძირითად დასკვნებს:

- ბუნებაში არსებობს ბუნებრივი მაგნიტები, ხოლო ხელოვნური მაგნიტები მიიღება სხეულის დამაგნიტებით;
- დამაგნიტება შეიძლება იყოს დროებითი ან ნარჩენი;
- მაგნიტის ზედაპირის იმ ნაწილებს, რომლებიც ყველაზე ძლიერ მოქმედებას ავლენენ, პოლუსები ეწოდება;
- ერთსახელიანი მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, ხოლო სხვადასხვასახელიანი პოლუსები მიიზიდავს;
- კომპასის მაგნიტური ისარი განსაზღვრულ ორიენტაციას იკავებს დედამიწის მაგნიტური მოქმედების გამო;
- ერსტედის ცდა აჩვენებს, რომ ელექტრულ დენს მაგნიტური მოქმედება ახსიათებს და დენიანი გამტარი მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს.

**სასურველი დასკვნა**

მაგნიტური მოვლენები გვხვდება როგორც ბუნებრივ, ისე ხელოვნურად შექმნილ მაგნიტებში. მაგნიტური ურთიერთქმედება ყველაზე ძლიერად მაგნიტის პოლუსებთან ვლინდება. კომპასის მუშაობა მაგნიტური ისრის ორიენტაციას ეფუძნება. ერსტედის ცდა კი ექსპერიმენტულად ადასტურებს ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირს — გამტარში ელექტრული დენის გავლისას მის გარემომცველ სივრცეში ვლინდება მაგნიტური მოქმედება.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

**„იპოვე შეცდომა“**

მასწავლებელი მოსწავლეებს სთავაზობს შემდეგ დებულებებს:

1. „მხოლოდ ბუნებრივ მაგნიტებს აქვთ რკინის სხეულების მიზიდვის უნარი.“
2. „ერთსახელიანი მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს.“
3. „კომპასის ისარი მცირე მაგნიტია.“
4. „ერსტედის ცდაში კომპასის ისარი დენის ჩართვისას უცვლელ მდგომარეობაში რჩება.“
5. „დენიან გამტარს შეუძლია მაგნიტურ ისარზე მოქმედება.“

მოსწავლემ უნდა იპოვოს მცდარი დებულებები, გაასწოროს ისინი და თითოეული შესწორება ერთი მოკლე ფიზიკური არგუმენტით დაასაბუთოს.

შეფასების კრიტერიუმები: ძირითადი ცნებების სწორად გამოყენება; მიზეზისა და შედეგის დაკავშირება; ექსპერიმენტული მტკიცებულების გამოყენება.

**მიზეზი → დაკვირვებული მოვლენა → ფიზიკური დასკვნა.**

**მასწავლებლის ინსტრუქცია**

მომდევნო გაკვეთილის დასაწყისში რამდენიმე მოსწავლეს სთხოვეთ საკუთარი სქემის წარმოდგენა. განსაკუთრებული ყურადღება გაამახვილეთ განსხვავებაზე მაგნიტის თვისებებსა და დენიანი გამტარის მაგნიტურ მოქმედებას შორის. ერსტედის ცდის განხილვისას მოითხოვეთ არა მხოლოდ ფაქტის — „ისარი გადაიხარა“ — დასახელება, არამედ ახსნა, რატომ წარმოადგენს ეს დაკვირვება დენის მაგნიტური მოქმედების მტკიცებულებას.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რომელ სხეულებს უწოდებენ ბუნებრივ მაგნიტებს? ხელოვნურ მაგნიტებს?**
   ბუნებაში არსებული რკინის ზოგიერთი მადნის ნაჭრებს, რომლებსაც რკინის სხეულების მიზიდვის უნარი აქვთ და თავისუფლად დაკიდებისას ჩრდილოეთ–სამხრეთის მიმართულებით ორიენტირდებიან, ბუნებრივ მაგნიტებს უწოდებენ. სხეულს, რომელიც დამაგნიტების შემდეგ მაგნიტის მოშორებისასაც ინარჩუნებს მაგნიტურ თვისებებს, ხელოვნურ მაგნიტს უწოდებენ.
2. **რომელი დამაგნიტება უფრო ძლიერია — ნარჩენი თუ დროებითი?**
   დროებითი დამაგნიტება უფრო ძლიერია. მოცემული სხეულის ნარჩენი დამაგნიტება ბევრად სუსტია იმავე სხეულის დროებით დამაგნიტებაზე.
3. **რას წარმოადგენს მაგნიტური ისარი?**
   მაგნიტური ისარი არის ღეროს ფორმის გრძელი და წვრილი მაგნიტი, რომლის პოლუსები მის კიდეებშია განთავსებული, ხოლო დანარჩენი ზედაპირი პრაქტიკულად ნეიტრალურ ზონას წარმოადგენს.
4. **მიიზიდავენ თუ განიზიდავენ ერთმანეთს მაგნიტების ერთსახელიანი პოლუსები?**
   მაგნიტების ერთსახელიანი პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავენ, ხოლო სხვადასხვასახელიანი — მიიზიდავენ.
5. **რა ანალოგიაა ელექტრული მუხტებისა და მაგნიტების ურთიერთქმედებებს შორის?**
   ერთნაირნიშნიანი ელექტრული მუხტების მსგავსად, მაგნიტების ერთსახელიანი პოლუსები

განიზიდებიან, ხოლო სხვადასხვანიშნიანი მუხტების მსგავსად, მაგნიტების ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსები მიიზიდებიან.

6. **რომელი ფაქტების საფუძველზე დაადგინა არაგომ ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირის არსებობა?**
   არაგომ აღწერა შემთხვევები, როცა მეხის დაცემის შემდეგ კომპასების მიმართულება შეიცვალა და ასევე ფოლადის დანები, ჩანგლები და სხვა საგნები დამაგნიტდა. რადგან იმ დროისთვის უკვე ცნობილი იყო, რომ ელვა ჰაერში გამავალი ძლიერი ელექტრული დენია, ამ ფაქტებმა მიუთითა ელექტრულ დენსა და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირზე.
7. **როგორ ორიენტირდება მაგნიტური ისარი წრფივი დენიანი გამტარის მიმართ?**
   დენის გატარებისას მაგნიტური ისარი შემოტრიალდება და ჩერდება ისე, რომ წრფივ დენიან გამტართან მართ კუთხეს ქმნის. დენის მიმართულების შეცვლისას ისარი 180°-ით ბრუნდება.
8. **რომელ ძალებს უწოდებენ მაგნიტურს?**
   მაგნიტურ ისარზე მოქმედ ძალებს, რომლებიც მას შემოაბრუნებს და ისეთივე ბუნებისაა, როგორიც ბუნებრივი ან ხელოვნური მაგნიტების მახლობლად მოქმედი ძალები, მაგნიტურ ძალებს უწოდებენ.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

სურ. 2.1.10-ზე წარმოდგენილი შეწყვილებული ზოლოვანი მაგნიტები რომელ შემთხვევაში მიიკრავენ უფრო ძლიერად რკინის ფილას?

**ამოხსნა:**

ა) შემთხვევაში ორი ზოლოვანი მაგნიტი ერთნაირი მიმართულებითაა განლაგებული. რკინის ფირფიტასთან ორივე მაგნიტის ერთსახელა პოლუსებია მიმართული. ამ შემთხვევაში ორივე მაგნიტი რკინის ფირფიტას ერთნაირად ამაგნიტებს რაც ზრდის მაგნიტებისა და ფირფიტის ურთიერთმიზიდვას.

ბ) შემთხვევაში მაგნიტები საპირისპირო მიმართულებითაა განლაგებული. ერთმანეთის გვერდით აღმოჩნდება სხვადასხვა სახელის პოლუსები. თუ ერთი მაგნიტი რკინის ფირფიტაზე შეხების ადგილას ჩრდილოეთ პოლუსს გააჩენს, მეორე საპირისპირო პოლუსის გაჩენას ცდილობს. ამ შემთხვევაში რკინის ფირფიტა ნაკლებად დამაგნიტდება, ამიტომ რკინის ფირფიტას უფრო ძლიერად მიეკვრება მაგნიტები ა) შემთხვევაში.

**პასუხი:**

ა) შემთხვევა.

**ამოცანა 2**

სურ. 2.1.11-ზე წარმოდგენილი რომელი შემთხვევები ასახავენ შედარებით ზუსტად მაგნიტების ურთიერთმიკვრას?

**ამოხსნა:**

მაგნიტების ურთიერთმიკვრა შესაძლებელია მაშინ, როცა ერთმანეთთან მისული ნაწილები სხვადასხვა სახელის პოლუსებს წარმოადგენს. ერთსახელა პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, ამიტომ ასეთი შეერთება მდგრადი ვერ იქნება.

სურ. 2.1.11-ის თითოეულ ვარიანტში შევამოწმოთ უშუალოდ შეხების ადგილებში მოთავსებული პოლუსების ფერები: წითელი და ლურჯი ნაწილები სხვადასხვა პოლუსს აღნიშნავს. თუ შეხების ადგილას ერთმანეთს სხვადასხვა ფერის ბოლოები ხვდება, მოცემული შეერთება შესაძლებელია; თუ ერთი ფერის პოლუსები ხვდება, ისინი ერთმანეთს განიზიდავს.

ამ წესის მიხედვით შედარებით ზუსტად არის გამოსახული გ), ვ), მ), ნ), ო) და პ) შემთხვევები.

**პასუხი:** გ), ვ), მ), ნ), ო), პ).

**ამოცანა 3**

როცა ჰორიზონტალურ მაგიდაზე მოთავსებულ კომპასს დამაგნიტებული რკინის ღერო სურ. 2.1.12-ზე ნაჩვენები მიმართულებით მიუახლოვეს, ისარი ღერძის გარშემო $120°$-იანი კუთხით შემობრუნდა. რომელი პოლუსით მიუახლოვეს ღერო კომპასს?

**ამოხსნა:**

თავდაპირველად კომპასის წითელი, ანუ ჩრდილოეთი პოლუსი გეოგრაფიული ჩრდილოეთისკენაა მიმართული.
სურათზე ღერო კომპასს სამხრეთ-აღმოსავლეთის მხრიდან უახლოვდება. კომპასის ჩრდილოეთი პოლუსის საწყისი მიმართულებიდან ღეროსკენ მობრუნების კუთხე არის $120°$.
თუ ღეროს კომპასთან მოახლოებული ბოლო სამხრეთი პოლუსია, ის კომპასის ჩრდილოეთ პოლუსს მიიზიდავს. ამიტომ კომპასის წითელი ბოლო სწორედ ღეროსკენ შემობრუნდება და მიიღება სურათში აღწერილი მობრუნება.

**პასუხი:**
ღერო კომპასს სამხრეთი პოლუსით მიუახლოვეს.

**ამოცანა 4**
ჰორიზონტალური მაგიდის ზედაპირზე დევს ზოლოვანი მაგნიტი და რკინის ღერო.
ა) ღეროს, მისი ღერძის მართობულად ზუსტად შუა წერტილისკენ ფრთხილად უახლოებენ მაგნიტს (სურ. 2.1.13 ა). დაიძვრება თუ არა ღერო მაგნიტისკენ?
ბ) მაგნიტს, მისი ღერძის მართობულად ზუსტად შუა წერტილისკენ ფრთხილად უახლოებენ რკინის ღეროს (სურ. 2.1.13 ბ). დაიძვრება თუ არა მაგნიტი ღეროსკენ?

**ამოხსნა:**
ა) რკინის ღეროს შუა ნაწილი თავისთავად მაგნიტის ნეიტრალური ზონა არ არის, რადგან ღერო თავდაპირველად უბრალოდ რკინაა და არა მუდმივი მაგნიტი. ზოლოვანი მაგნიტის მიახლოებისას რკინის ღერო დროებით დამაგნიტდება. მაგნიტთან ახლოს მდებარე ნაწილში წარმოიქმნება ისეთი პოლუსი, რომელიც მიიზიდება მაგნიტის მოახლოებული პოლუსით. ამიტომ რკინის ღერო მაგნიტისკენ დაიძვრება.
ბ) ახლა რკინის ღერო უახლოვდება ზოლოვანი მაგნიტის ზუსტად შუა ნაწილს. მაგნიტის შუა ნაწილი ნეიტრალური ზონაა, სადაც რკინის სხეულების მიზიდვა არ იგრძნობა ან ძალიან სუსტია. შესაბამისად, მაგნიტი ღეროსკენ არ დაიძვრება.

**პასუხი:**
ა) დაიძვრება; ბ) არ დაიძვრება.

**ამოცანა 5**
ჰორიზონტალური მაგიდის ზედაპირზე დევს ორი ერთნაირი A და B ღერო – ერთი მათგანი მუდმივი მაგნიტია, მეორე კი – რკინა. როგორ მივხვდეთ, რომელია მაგნიტი?

**ამოხსნა:**
უნდა გამოვიყენოთ ის ფაქტი, რომ ზოლოვანი მაგნიტის შუა ნაწილი ნეიტრალური ზონაა, ხოლო მისი ბოლოები პოლუსებია. ჩვეულებრივი რკინის ღეროს ნებისმიერ ნაწილს კი მაგნიტის პოლუსი მიიზიდავს, რადგან რკინა მაგნიტის სიახლოვეს დროებით დამაგნიტდება.
A ღეროს ერთი ბოლო მივუახლოვოთ B ღეროს ზუსტად შუა ნაწილს.
თუ მიზიდვა მოხდა, A ღეროა მუდმივი მაგნიტი, რადგან მისი ბოლო პოლუსია და მან რკინის B ღერო მიიზიდა.
თუ მიზიდვა არ მოხდა, B ღეროა მუდმივი მაგნიტი, რადგან A ღეროს ბოლო B მაგნიტის ნეიტრალურ შუა ნაწილს მივუახლოვეთ.

**პასუხი:**

A ღეროს ბოლო მივუახლოვოთ B ღეროს შუა ნაწილს: მიზიდვის შემთხვევაში A არის მაგნიტი, ხოლო მიზიდვის არქონის შემთხვევაში – B.

## პარაგრაფი №2.2 — მაგნიტური ველი

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და ექსპერიმენტული გააზრება | მაგნიტური ურთიერთქმედება — დენიანი ჩარჩოს მობრუნება მაგნიტურ ველში | მოსწავლე შეძლებს სადემონსტრაციო ექსპერიმენტის საფუძველზე აღწეროს მაგნიტური ურთიერთქმედება, დააკავშიროს დენიანი გამტარის მოძრაობა მაგნიტის მოქმედებასთან და გაიაზროს მაგნიტური ველი, როგორც მაგნიტური ურთიერთქმედების გადამცემი მატერიის ფორმა. | **ნივთიერება და ველი; ძალა** — მაგნიტური ველის თვისებების ზოგადი აღწერა; მაგნიტური ურთიერთქმედების თვისებრივი დახასიათება და მისი მოქმედებით გამოწვეული შედეგების ახსნა. |
| 2 | ახალი ცოდნის გააზრება და ვიზუალური მოდელირება | როგორ აღიძვრება მაგნიტური ველი? | მოსწავლე შეძლებს მოძრავი ელექტრული მუხტისა და ელექტრული დენის დაკავშირებას მაგნიტური ველის აღძვრასთან, დენიანი კონტურისა და მაგნიტის მსგავსების გააზრებას და ნივთიერების დამაგნიტების მექანიზმის მარტივი მოდელით ახსნას. | **ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტური ველის აღძვრის მიზეზის გააზრება; ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება. |
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, განზოგადება და შეფასება | მაგნიტური ველი — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი | მოსწავლე შეძლებს მაგნიტური ველის, დენიანი გამტარისა და მაგნიტური ურთიერთქმედების შესახებ მიღებული ცოდნის გაერთიანებას, მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნას და ცოდნის ახალ სიტუაციებში გამოყენებას. | **ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტური ველის თვისებების გააზრება; ელექტრომაგნიტური პროცესების თვისებრივი დახასიათება და მიღებული ცოდნის ახალ სიტუაციებში გამოყენება. |

**სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:**

- განმარტოს მაგნიტური ველი, როგორც მატერიის ფორმა, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება მაგნიტური ურთიერთქმედება;
- სადემონსტრაციო ცდის საფუძველზე აღწეროს დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მოქმედება;
- დააკავშიროს მოძრავი ელექტრული მუხტი და ელექტრული დენი მაგნიტური ველის აღძვრასთან;
- ახსნას, რატომ ავლენს დენიანი კონტური მაგნიტურ თვისებებს;
- თვალსაჩინო მოდელების გამოყენებით აღწეროს ნივთიერების დამაგნიტების მექანიზმი;
- დააკავშიროს დენის მიმართულების ცვლილება მაგნიტური ისრის გადახრის მიმართულების ცვლილებასთან;
- მიღებული ცოდნა გამოიყენოს უცნობი ფიზიკური სიტუაციების გასაანალიზებლად.

**სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები**

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა;
- ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების გამოსაკვლევად შესაბამისი საკლასო/საშინაო ექსპერიმენტების ორგანიზება, მოსალოდნელი შედეგების წინასწარ განჭვრეტა და მისი შედარება ექსპერიმენტის შედეგებთან;
- ურთიერთქმედების სახეების — გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური — თვისებრივი დახასიათება; ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლის/მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით;
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების დაკავშირება მათი მოქმედებით გამოწვეულ შედეგებთან;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების, მათ შორის ელექტრომაგნიტური პროცესების, თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ჩამოთვლა.

**წარმატების კრიტერიუმები**

მოსწავლე სწორად განმარტავს მაგნიტური ველის არსს; სადემონსტრაციო ცდაში დენიანი ჩარჩოს მობრუნებას უკავშირებს მაგნიტურ ურთიერთქმედებას; სწორად ასახელებს მაგნიტური ველის წარმოქმნის აუცილებელ პირობას — მუხტის მოძრაობას; ნახაზების მიხედვით ხსნის დენიანი კონტურის მაგნიტურ თვისებებს და ნივთიერების დამაგნიტების მარტივ მოდელს; მიზეზ-შედეგობრივად აკავშირებს გამტარში დენის მიმართულების ცვლილებას მაგნიტური ისრის გადახრის მიმართულებასთან და შეძენილ ცოდნას იყენებს ახალ სიტუაციებში.

**აქტივობა 1. მაგნიტური ურთიერთქმედება — დენიანი ჩარჩოს მობრუნება მაგნიტურ ველში**

| **აქტივობის კომპონენტი** | **აღწერა** |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ექსპერიმენტული დაკვირვების საფუძველზე მოსწავლეებმა გაიაზრონ, რომ მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან ჩაკეტილ კონტურზე ველი ახდენს მაორიენტირებელ (მაბრუნებელ) მოქმედებას და ეს მოქმედება მაგნიტური ურთიერთქმედებით არის გამოწვეული. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ექსპერიმენტული სწავლება; კვლევაზე დაფუძნებული სწავლება. |
| **საკვლევი კითხვა** | რა მოხდება, თუ დენიან ჩარჩოს მუდმივი მაგნიტის მოქმედების არეში მოვათავსებთ და როგორ დავადასტურებთ, რომ დაფიქსირებული მოძრაობა მაგნიტური ურთიერთქმედების შედეგია? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლეებს ახსენებს წინა პარაგრაფში ჩატარებული ერსტედის ცდის ძირითად დასკვნას — ელექტრულ დენს მაგნიტური მოქმედება აქვს. შემდეგ ყურადღება გადადის კითხვაზე: თუ დენიანი გამტარი თვითონ ქმნის მაგნიტურ ველს, რა მოხდება მისი სხვა მაგნიტის ველში მოთავსებისას? მოსწავლეები გამოთქვამენ ვარაუდებს. მასწავლებელი აჩვენებს მსუბუქ, თავისუფლად მბრუნავ დენიან ჩარჩოს და მუდმივ მაგნიტს. ცდის თითოეულ ეტაპზე მოსწავლეები აღწერენ ჩარჩოს მდებარეობას (ორიენტაციას) და მიზეზ-შედეგობრივად აკავშირებენ მის ცვლილებას ექსპერიმენტის შესაბამის პირობებთან (დენის გავლით/შეწყვეტით, დენის მიმართულებით). **განვითარებადი უნარები:** კვლევის უნარები; კრიტიკული აზროვნება. |
| **სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი — დენიანი ჩარჩოს მობრუნება** | 1. მსუბუქი გამტარი ჩარჩო თავსდება ისე, რომ შეეძლოს თავისუფლად მობრუნება. 2. ჩარჩოს სიახლოვეს ან მის გარშემო თავსდება მუდმივი მაგნიტი ისე, რომ ჩარჩო მაგნიტის მოქმედების არეში აღმოჩნდეს. 3. ჩარჩო დაბალძაბვიან დენის წყაროს უერთდება ჩამრთველის საშუალებით. 4. ღია წრედისას მოსწავლეები აფიქსირებენ ჩარჩოს საწყის მდგომარეობას. 5. წრედის ჩაკეტვისას მოსწავლეები აკვირდებიან ჩარჩოს მობრუნებას. 6. დენის გამორთვისას ადარებენ მიღებულ მდგომარეობას საწყის მდგომარეობას. 7. შესაძლებლობის შემთხვევაში იცვლება დენის მიმართულება და მოსწავლეები აკვირდებიან ჩარჩოს მობრუნების მიმართულების ცვლილებას. 8. ცდის შედეგი უკავშირდება მაგნიტური ურთიერთქმედების არსებობას. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცდის დაწყებისას** | • რა ვიცით უკვე დენიანი გამტარის მაგნიტური მოქმედების შესახებ? • რას ქმნის დენიანი გამტარი მის გარემომცველ სივრცეში? • რა სხეულებია წარმოდგენილი ექსპერიმენტში? • რა პირობა უნდა შესრულდეს, რომ ჩარჩოში დენმა გაიაროს? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას** | • რატომ დავაფიქსირეთ ჩარჩოს მდგომარეობა დენის ჩართვამდე? • რა შეიცვალა წრედის ჩაკეტვის შემდეგ? • როგორ დავადგინეთ, რომ ჩარჩოს მობრუნება დენის გავლასთან იყო დაკავშირებული? • რას ვამოწმებთ დენის მიმართულების შეცვლით? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — დასკვნის ჩამოყალიბებისას** | • რა მოხდება, თუ ჩარჩოში დენი არ გაივლის? • რა მოხდება, თუ მუდმივ მაგნიტს მოვაშორებთ? • რატომ არის მნიშვნელოვანი ცდაში ერთდროულად გვქონდეს დენიანი ჩარჩოც და მაგნიტიც? • როგორ შეიცვლება მაგნიტური მოქმედების (ისრის გადახრის / ჩარჩოს მობრუნების) მიმართულება გამტარში დენის მიმართულების შეცვლისას? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი არ ასახელებს წინასწარ ცდის საბოლოო შედეგს. იგი მოსწავლეებს სთხოვს თითოეული ცვლილების წინ პროგნოზის გაკეთებას და შემდეგ შედეგის პროგნოზთან შედარებას. კითხვებით გამოყოფს სამ ძირითად პირობას: დენი ჩარჩოში, მუდმივი მაგნიტის არსებობა და ჩარჩოს თავისუფლად მოძრაობის შესაძლებლობა. დაკვირვების საფუძველზე მოსწავლეები მიდიან დასკვნამდე, რომ ჩარჩოზე ვლინდება მაგნიტის მოქმედება. |
| **რესურსები** | თავისუფლად მბრუნავი მსუბუქი გამტარი ჩარჩო ან სასწავლო სადემონსტრაციო მოწყობილობა; მუდმივი ზოლისებრი ან ნალისებრი მაგნიტი; დაბალძაბვიანი დენის წყარო; ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები; მოსწავლის წიგნის სურ. 2.2.1–2.2.4. |
| **უსაფრთხოება** | გამოიყენეთ მხოლოდ დაბალძაბვიანი სასწავლო დენის წყარო. არ დაუშვათ მოკლე ჩართვა. ელექტრული წრედის კონფიგურაციის შეცვლამდე (გადაერთებამდე) სავალდებულოა კვების წყაროს გამორთვა. ჩარჩო დენზე მიერთებული დატოვეთ მხოლოდ დაკვირვებისთვის საჭირო დროით. |
| **შეფასება** | „დაკვირვება → მტკიცებულება → დასკვნა“ — მოსწავლე ასახელებს რა შეიცვალა დენის ჩართვისას, რა არის მაგნიტური ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული მტკიცებულება და რა დასკვნა გამომდინარეობს ცდიდან. კრიტერიუმები: დაკვირვების სიზუსტე; მიზეზისა და შედეგის სწორი დაკავშირება. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ცხრილი სამი სვეტით: „პირობა — დაკვირვება — დასკვნა“. წინასწარ შეიძლება შეტანილი იყოს პირობები: „დენი გამორთულია“, „დენი ჩართულია“, „დენის მიმართულება შეცვლილია“. მოსწავლემ უნდა შეავსოს დაკვირვება და დასკვნა. |

**შუალედური დასკვნა**

დენიანი ჩარჩოს მუდმივი მაგნიტის მოქმედების არეში მოთავსებისას ჩარჩოზე მაგნიტური ურთიერთქმედება ვლინდება და იგი მობრუნდება. ეს გვიჩვენებს, რომ დენიან გამტარსა და მაგნიტს შორის ურთიერთქმედება მათი მაგნიტური ველების საშუალებით ხორციელდება. მაგნიტური ველი არის მატერიის ფორმა, რომლის საშუალებითაც მაგნიტური ურთიერთქმედება ხორციელდება.

**აქტივობა 2. როგორ წარმოიქმნება მაგნიტური ველი?**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | თვალსაჩინო მოდელებისა და სქემების გამოყენებით მოსწავლეებმა გაიაზრონ, რომ მაგნიტური ველის აღძვრა დაკავშირებულია ელექტრული მუხტის მოძრაობასთან, ხოლო ნივთიერების მაგნიტური თვისებები შეიძლება აიხსნას მასში არსებული მიკროსკოპული მაგნიტური ეფექტების გარკვეული ორიენტაციით. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ვიზუალური მოდელირება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რა არის მაგნიტური ველის წარმოქმნის მიზეზი და როგორ შეიძლება დენიანი კონტურისა და მუდმივი მაგნიტის მსგავსების ახსნა? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი განმარტებას აგებს მოსწავლის წიგნის სურ. 2.2.1–2.2.8-ზე. თავდაპირველად ერთმანეთს ადარებს წრფივ დენიან გამტარს, დენიან ჩარჩოსა და რამდენიმე ხვიისაგან შედგენილ კონტურს. მოსწავლეები აკვირდებიან, რომ დენიანი კონტური მაგნიტური თვისებებით შეიძლება მუდმივ მაგნიტს დაემსგავსოს. აქედან გამოიყოფა ძირითადი აზრი: **მოძრავი ელექტრული მუხტი წარმოქმნის მაგნიტურ ველს.** შემდეგ მასწავლებელი თვალსაჩინო მოდელით გადადის ნივთიერების მაგნიტურ თვისებებზე და აღწერს, რომ ატომებში დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობასთან დაკავშირებული მაგნიტური ეფექტები შეიძლება წარმოვიდგინოთ მცირე „მაგნიტური ელემენტების“ სახით. არადამაგნიტებულ მდგომარეობაში მათი ორიენტაცია მეტწილად მოუწესრიგებელია, ხოლო დამაგნიტებისას ისინი უფრო შეთანხმებულად ორიენტირდებიან. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; ვიზუალური ინფორმაციის გაანალიზება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — მოძრავი მუხტი და მაგნიტური ველი** | ელექტრული დენი დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობაა. მოძრავი მუხტი მის გარემომცველ სივრცეში ქმნის მაგნიტურ ველს. ამიტომ როგორც წრფივი დენიანი გამტარის, ისე დენიანი ჩარჩოს გარშემო არსებობს მაგნიტური ველი. მოსწავლეები სურათებზე აკვირდებიან დენიანი კონტურისა და მაგნიტის მსგავს მოქმედებას. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — პირველი ბლოკის შემდეგ** | • რა პირობაა აუცილებელი ელექტრული მუხტის მიერ მაგნიტური ველის წარმოსაქმნელად? • რას წარმოადგენს ელექტრული დენი მუხტების მოძრაობის თვალსაზრისით? • ქმნის თუ არა დენიანი ჩარჩო მაგნიტურ ველს? • რატომ შეგვიძლია დენიანი ჩარჩოს მოქმედება მაგნიტის მოქმედებას შევადაროთ? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — ნივთიერების მაგნიტური თვისებების თვალსაჩინო მოდელი** | მასწავლებელი მოსწავლის წიგნის სურ. 2.2.5–2.2.8-ს იყენებს. პირველ ეტაპზე მოსწავლეები აკვირდებიან მცირე მაგნიტური ელემენტების მოუწესრიგებელ განლაგებას. შემდეგ ადარებენ მას უფრო მოწესრიგებულ მდგომარეობას. ხაზგასმულია, რომ ეს თვალსაჩინო მოდელია, რომელიც გვეხმარება ნივთიერების დამაგნიტების გააზრებაში: არადამაგნიტებულ მდგომარეობაში ცალკეული მაგნიტური ეფექტები ერთმანეთს მნიშვნელოვნად აბათილებს, ხოლო მათი უფრო შეთანხმებული ორიენტაციისას სხეულის საერთო მაგნიტური მოქმედება მკვეთრად იზრდება. |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ნახაზების გაანალიზებისას** | • რა განსხვავებას ხედავთ სურ. 2.2.7-ის ორ მდგომარეობას შორის? • როგორ იცვლება მცირე მაგნიტური ელემენტების ორიენტაცია დამაგნიტებისას? • რა ნიშნით ვასკვნით ნახაზიდან, რომ მეორე შემთხვევაში სხეულის საერთო მაგნიტური მოქმედება უფრო ძლიერია? • როგორ უკავშირდება მიკროსკოპულ დონეზე ელექტრული მუხტების მოძრაობა მაკროსკოპული სხეულის მაგნიტურ თვისებებს? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • წარმოქმნის თუ არა უძრავი ელექტრული მუხტი იმავე სახის მაგნიტურ მოქმედებას, რასაც მოძრავი მუხტი? • რატომ აქვს დენიან კოჭას მაგნიტური თვისებები მხოლოდ მაშინ, როდესაც მასში დენი გადის? • როგორ შეიძლება შეიცვალოს სხეულის საერთო მაგნიტური მოქმედება მისი შიდა მაგნიტური ელემენტების უფრო შეთანხმებული ორიენტაციისას? • რატომ შეიძლება დამაგნიტებული სხეულის მაგნიტური მოქმედება შემცირდეს, თუ შიდა მოწესრიგება დაირღვევა? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მუდმივად აკავშირებს მაკროსკოპულ დაკვირვებას მიკროსკოპულ მოდელთან. ყურადღებას ამახვილებს იმაზე, რომ ნახაზები რეალური ატომური სტრუქტურის პირდაპირი ფოტოები კი არა, პროცესის გასააზრებელი მოდელებია. მოსწავლეებს სთხოვს თითოეულ ნახაზში გამოყონ რა იცვლება და რა რჩება უცვლელი. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 2.2.1–2.2.8; პროექტორი ან დაფა; დენიანი ჩარჩოსა და ზოლისებრი მაგნიტის სქემები; მცირე ბარათები ან ისრები მიკროსკოპული მაგნიტური ელემენტების მოდელირებისთვის. |
| **შეფასება** | „სურათის ახსნა“ — მოსწავლე ირჩევს სურ. 2.2.7 ან 2.2.8-ის ერთ მდგომარეობას და ორი–სამი წინადადებით განმარტავს, რას გვიჩვენებს იგი სხეულის მაგნიტური თვისებების შესახებ. კრიტერიუმები: ნახაზის სწორი ინტერპრეტაცია; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირის ჩამოყალიბება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემა: „მოძრავი მუხტი → დენი → მაგნიტური ველი“ და ორი ნახატი — „მოუწესრიგებელი“ და „მოწესრიგებული“ მდგომარეობა. მოსწავლე ისრებით აკავშირებს შესაბამის ცნებებს. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად ხსნიან, როგორ უკავშირდება ეს მოდელი წინა პარაგრაფში განხილულ დამაგნიტებას. |

**შუალედური დასკვნა**

მაგნიტური ველის წარმოქმნა დაკავშირებულია ელექტრული მუხტის მოძრაობასთან. ელექტრული დენი მოძრავი მუხტების მოწესრიგებული მოძრაობაა და ამიტომ დენიანი გამტარი ან ჩარჩო მაგნიტურ ველს ქმნის. ნივთიერების მაგნიტური თვისებების თვალსაჩინო მოდელში სხეულის დამაგნიტება უკავშირდება მისი შიდა მაგნიტური ეფექტების შეთანხმებულ ორიენტაციას.

### აქტივობა 3. მაგნიტური ველი — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა ინტერაქციული მსჯელობით გაამთლიანონ მაგნიტური ურთიერთქმედების, მაგნიტური ველის, მოძრავი მუხტისა და დენიანი გამტარის შესახებ მიღებული ცოდნა და გამოიყენონ იგი განსხვავებულ სიტუაციებში. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმმართველი კითხვა–პასუხი; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ დავაკავშიროთ ერთმანეთთან მოძრავი მუხტი, ელექტრული დენი, მაგნიტური ველი და მაგნიტური ურთიერთქმედება? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი დაფაზე წერს ცნებებს: **ელექტრული მუხტი — მოძრავი მუხტი — ელექტრული დენი — მაგნიტური ველი — მაგნიტური ურთიერთქმედება — მაგნიტი**. მოსწავლეები წყვილებში ადგენენ მათ შორის კავშირებს და თითოეულ კავშირს ერთი წინადადებით ხსნიან. შემდეგ კლასში განიხილება რამდენიმე სიტუაცია: დენიანი ჩარჩო მუდმივი მაგნიტის ველში; დენის გამორთვა; დენის მიმართულების შეცვლა; არადამაგნიტებული და დამაგნიტებული სხეული; უძრავი და მოძრავი მუხტი. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; არგუმენტირებული დასკვნის ჩამოყალიბება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას** | • რას ეწოდება მაგნიტური ველი? • რა ქმნის მაგნიტურ ველს? • რა კავშირია ელექტრულ დენსა და მოძრავ მუხტებს შორის? • რა მოვლენით გამოვლინდა პირველ აქტივობაში მაგნიტური ურთიერთქმედება? • რას ჰგავს მაგნიტური თვისებებით დენიანი ჩარჩო? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ექსპერიმენტის და მოდელების გააზრებისას** | • როგორ დავადასტურეთ პირველ ექსპერიმენტში, რომ ჩარჩოს მოძრაობა დენის გავლას უკავშირდებოდა? • როგორ გამოვიყენეთ დენის მიმართულების შეცვლა ექსპერიმენტის შედეგის შესამოწმებლად? • მოდელზე დაყრდნობით, ელემენტარული მაგნიტების რა განლაგება (ორიენტაცია) ახასიათებს დამაგნიტებულ და არადამაგნიტებულ მდგომარეობებს?• როგორ მივედით დენიანი ჩარჩოდან მოძრავი მუხტის მიერ მაგნიტური ველის წარმოქმნის იდეამდე? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ სიტუაციებში** | • თუ დენიან ჩარჩოში დენს გავთიშავთ, რატომ გაქრება მასთან დაკავშირებული მაგნიტური მოქმედება? • წარმოქმნის თუ არა მაგნიტურ ველს ელექტრული მუხტი, თუ იგი უძრავია? • რა შეიცვლება, თუ პირველ ექსპერიმენტში დენის მიმართულებას შევცვლით? • რატომ შეიძლება სხეულის დამაგნიტებამ მისი სხვა მაგნიტებთან ურთიერთქმედება შეცვალოს? • როგორ უკავშირდება ამ პარაგრაფის მასალა ერსტედის ცდას? |
| **კონცეპტუალური მინი-დავალება — „დააკავშირე მიზეზი და შედეგი“** | მოსწავლეებს ეძლევათ ბარათები: **მუხტი მოძრაობს; დენი გადის გამტარში; წარმოიქმნება მაგნიტური ველი; დენიანი ჩარჩო მობრუნდება; დენი ითიშება; შიდა მაგნიტური ელემენტები მოწესრიგდება; სხეული მაგნიტურ თვისებას ავლენს.** წყვილებმა უნდა შექმნან მინიმუმ სამი სწორი მიზეზ–შედეგობრივი ჯაჭვი და თითოეული სიტყვიერად ახსნან. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი აკონტროლებს ტერმინების ზუსტ გამოყენებას და სთხოვს მოსწავლეებს ყველა პასუხში მიუთითონ მიზეზი. თუ მოსწავლე ამბობს მხოლოდ „მაგნიტი მოქმედებს“, მასწავლებელი აზუსტებინებს: რა ქმნის ველს, რომელ სხეულზე მოქმედებს და რა შედეგი მოჰყვა ამ მოქმედებას. |
| **რესურსები** | დაფა ან პროექტორი; ცნებების ბარათები; მოსწავლის წიგნის სურ. 2.2.1–2.2.8; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების სამუშაო ფურცელი. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **შეფასება** | „დაასრულე სქემა“ — **მოძრავი მუხტი → _____ → მაგნიტური ურთიერთქმედება**; **დენის ჩართვა → _____ → დენიანი ჩარჩოს მობრუნება**; **შიდა მაგნიტური ელემენტების შეთანხმებული ორიენტაცია → _____**. მოსწავლე ავსებს გამოტოვებულ ნაწილებს და ერთ კავშირს არგუმენტირებულად ხსნის. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ შემცირებული არჩევანი და წინადადების დასაწყისები: „მაგნიტური ველი წარმოიქმნება, როდესაც...“, „ჩარჩო მობრუნდა, რადგან...“. საჭიროების შემთხვევაში დასაშვებია ზეპირი პასუხი. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები მიზეზ–შედეგობრივ სქემას დამოუკიდებლად ავსებენ, მაღალი მზაობის მოსწავლეები კი ქმნიან დამატებით უცნობ სიტუაციას და კლასს სთავაზობენ მის ახსნას. |

### შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ძირითად დებულებებს:

- მაგნიტური ველი მატერიის ფორმაა, რომლის საშუალებითაც მაგნიტური ურთიერთქმედება ხორციელდება;
- მოძრავი ელექტრული მუხტი ქმნის მაგნიტურ ველს;
- ელექტრული დენი მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობაა და ამიტომ დენიანი გამტარი მაგნიტურ ველს აღძრავს;
- დენიანი ჩარჩო ურთიერთქმედებს მუდმივ მაგნიტთან;
- დენის მიმართულების ცვლილება ცვლის მაგნიტური ურთიერთქმედების ხასიათს (მიმართულებას);
- ნივთიერების დამაგნიტების თვალსაჩინო მოდელში სხეულის საერთო მაგნიტური მოქმედება ძლიერდება მისი შიდა მაგნიტური ეფექტების უფრო შეთანხმებული ორიენტაციისას.

### სასურველი დასკვნა

მაგნიტური ველი არის მატერიის ფორმა, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება მაგნიტური ურთიერთქმედება. მაგნიტური ველის წარმოქმნა დაკავშირებულია ელექტრული მუხტის მოძრაობასთან, ამიტომ დენიანი გამტარი და დენიანი ჩარჩო მაგნიტურ ველს ქმნის. მაგნიტური ურთიერთქმედების არსებობა შეიძლება ექსპერიმენტულად გამოვავლინოთ დენიანი ჩარჩოს მობრუნებით, ხოლო ნივთიერების დამაგნიტების მექანიზმის გასააზრებლად შეგვიძლია გამოვიყენოთ მისი შიდა მაგნიტური ეფექტების მოწესრიგების თვალსაჩინო მოდელი.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

„სურათის ახსნა“

მასწავლებელი მოსწავლეებს აჩვენებს მოსწავლის წიგნიდან ერთ-ერთ ნახაზს — დენიან ჩარჩოს, დენიან კონტურს ან მცირე მაგნიტური ელემენტების მოწესრიგებულ/მოუწესრიგებელ განლაგებას.

მოსწავლემ უნდა უპასუხოს სამ კითხვას:

6. რა არის გამოსახული?
7. რა ფიზიკურ მოვლენას ან პროცესს გვიჩვენებს ნახაზი?
8. რა დასკვნის გაკეთება შეიძლება ამ ნახაზის საფუძველზე?

შეფასების კრიტერიუმები: ფიზიკური ტერმინების სწორად გამოყენება; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირის გდადგენა; ნახაზის შესაბამისი დასკვნის ჩამოყალიბება.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რა შემთხვევაში მიიზიდება ორი პარალელური დენიანი გამტარი?**
   ორი პარალელური დენიანი გამტარი ერთმანეთს მაშინ მიიზიდავს, როდესაც მათში დენი ერთი და იმავე მიმართულებით გადის.

2. **რატომ ვერ გამოვიყენებთ მაგნიტური ველის შესასწავლად დენის მცირე ელემენტს?**
   რადგან მუდმივი დენის არსებობისათვის აუცილებელია წრედი შეკრული იყოს, ამიტომ ცალკეული მცირე დენის ელემენტის შექმნა შეუძლებელია. მის ნაცვლად იყენებენ მცირე ზომის ჩაკეტილ დენიან კონტურს.
3. **რატომ უნდა იყოს მაგნიტური ველის შესასწავლი ჩარჩო მცირე ზომის?**
   თუ ჩარჩო დიდი იქნება, მაგნიტური ველი მის სხვადასხვა ნაწილზე განსხვავებულად იმოქმედებს და მხოლოდ სივრცის დიდი უბნის საშუალო მახასიათებელს მივიღებთ. ამიტომ ჩარჩოს ზომები მცირე უნდა იყოს იმ მანძილებთან შედარებით, რომლებზეც მაგნიტური ველი საგრძნობლად იცვლება.
4. **წრფივ დენიან გამტარში დენის მიმართულების შეცვლა რატომ იწვევს დენიანი ჩარჩოს 180°-ით მობრუნებას?**
   ჩარჩო ისე ორიენტირდება, რომ წრფივ გამტარსა და ჩარჩოს მასთან უახლოეს გვერდში დენები ერთი მიმართულებით იყოს. როდესაც წრფივ გამტარში დენის მიმართულებას შევცვლით, იგივე მდგომარეობის აღსადგენად ჩარჩო 180°-ით უნდა შემობრუნდეს.
5. **რა ივარაუდა ამპერმა სხეულის მაგნიტური თვისების ბუნებაზე?**
   ამპერმა ივარაუდა, რომ ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების შიგნით არსებობს წრიული ელემენტარული დენები. დაუმაგნიტებელ სხეულში მათი ცირკულაციის სიბრტყეები ქაოსურადაა განლაგებული და მაგნიტური მოქმედებები ერთმანეთს აკომპენსირებს, ხოლო დამაგნიტებულ სხეულში ისინი მოწესრიგებულადაა განლაგებული და მათი მოქმედებები იკრიბება.
6. **ატომის თეორიის თანახმად რას წარმოადგენს ელემენტარული ელექტრული დენი?**
   ატომის თეორიის თანახმად, ელემენტარული წრიული ელექტრული დენი არის ატომის ბირთვის გარშემო ელექტრონების მოძრაობა.
7. **დროთა განმავლობაში რატომ სუსტდება სხეულის ნარჩენი დამაგნიტება?**
   პარაგრაფში აღწერილი მოდელის მიხედვით, დამაგნიტება განპირობებულია ელემენტარული დენების ცირკულაციის სიბრტყეების მოწესრიგებული განლაგებით. ამიტომ ნარჩენი დამაგნიტების შესუსტება ნიშნავს, რომ დროთა განმავლობაში ეს წესრიგი ნაწილობრივ ირღვევა და მათი მაგნიტური მოქმედებები უფრო მეტად იწყებს ერთმანეთის კომპენსირებას.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

ერსტედის ცდები აჩვენებენ, რომ ერთმანეთის პარალელური სწორი დენიანი გამტარები ერთმანეთზე ურთიერთქმედებენ. რას უწოდებენ იმ შუალედურ რგოლს, რომლითაც ეს ურთიერთქმედება ხორციელდება?

**ამოხსნა:**

დენიანი გამტარების ურთიერთქმედება უშუალოდ არ ხდება. თითოეული დენიანი გამტარი მის გარემომცველ სივრცეში ქმნის მაგნიტურ ველს.

ერთი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი მოქმედებს მეორე დენიან გამტარზე და, პირიქით, მეორე გამტარის ველი მოქმედებს პირველზე.

ამიტომ დენიან გამტარებს შორის ურთიერთქმედების შუალედური რგოლი არის მაგნიტური ველი.

**პასუხი:**

**მაგნიტური ველი.**

**ამოცანა 2**

რომელ შემთხვევებშია გამოთქმული მართებული აზრი?
მაგნიტურ ველს:
ა) ქმნის დენიანი გამტარი;
ბ) ქმნის მუდმივი მაგნიტი;
გ) არ ქმნის მოძრავი დამუხტული სხეული;

დ) ქმნის მოძრავი პროტონი;
ე) ქმნის უძრავი დამუხტული სხეული.

**ამოხსნა:**

პარაგრაფში აღნიშნულია, რომ მაგნიტური ველი იქმნება ელექტრული დენით, ანუ მოძრავი მუხტებით.

ა) დენიან გამტარში დამუხტული ნაწილაკები მოწესრიგებულად მოძრაობენ, ამიტომ დენიანი გამტარი ქმნის მაგნიტურ ველს — აზრი მართებულია.

ბ) მუდმივი მაგნიტიც ქმნის მაგნიტურ ველს — აზრი მართებულია.

გ) მოძრავი დამუხტული სხეული ქმნის მაგნიტურ ველს, ამიტომ მტკიცება „არ ქმნის“ მცდარია.

დ) პროტონი დამუხტული ნაწილაკია; თუ ის მოძრაობს, ქმნის მაგნიტურ ველს — აზრი მართებულია.

ე) უძრავი დამუხტული სხეული მაგნიტურ ველს არ ქმნის — აზრი მცდარია.

**პასუხი:**

**ა), ბ), დ).**

**ამოცანა 3**

ლითონის დაუმუხტავ ღეროში უამრავი პროტონი და ელექტრონია, მათ შორის თავისუფალი ელექტრონებიც. შექმნის თუ არა მოძრავი ღერო თავის გარშემო მაგნიტურ ველს? პასუხი დაასაბუთეთ.

**ამოხსნა:**

მოძრავ ღეროში ერთად მოძრაობენ როგორც დადებითად დამუხტული პროტონები, ისე უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები.

რადგან ღერო მთლიანობაში ელექტრულად ნეიტრალურია, დადებითი და უარყოფითი მუხტების საერთო რაოდენობები ერთმანეთის მოქმედებას აბათილებს.

ამიტომ მხოლოდ ღეროს მთლიანად გადაადგილება არ ქმნის ისეთ ჯამურ ელექტრულ დენს, რომელიც მის გარშემო მაგნიტურ ველს წარმოქმნიდა.

**პასუხი:**

**არა, მოძრავი დაუმუხტავი ლითონის ღერო თავის გარშემო ჯამურ მაგნიტურ ველს არ ქმნის.**

**ამოცანა 4**

თუ ზოლოვან მაგნიტს შუაში გავჭრით, განცალკევდებიან თუ არა მისი პოლუსები ერთმანეთისგან?

**ამოხსნა:**

ერთპოლუსიანი მაგნიტის მიღება შეუძლებელია.

ზოლოვანი მაგნიტის შუაში გაჭრისას თითოეულ ნაწილში მაგნიტური თვისება შენარჩუნდება და ორივე ნაწილი კვლავ ორ პოლუსს — ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსებს — შეიცავს.

ამიტომ, გაჭრით, სამხრეთ და ჩრდილოეთ პოლუსები ერთმანეთისგან არ განცალკევდება.

**პასუხი:**

**არა. მიღებული ორივე ნაწილი კვლავ ორპოლუსიანი მაგნიტი იქნება.**

**ამოცანა 5**

როგორ შეიძლება დამაგნიტებული რკინის განმაგნიტება?

**ამოხსნა:**

პარაგრაფში ნათქვამია, რომ მზა მუდმივი მაგნიტის შერყევა ან ტემპერატურის მკვეთრი მატება მის განმაგნიტებას უწყობს ხელს.

ასევე, სხეულის შიგნით მოწესრიგებულად განლაგებული ელემენტარული მაგნიტური მოქმედებების დარღვევა შესაძლებელია მექანიკური ზემოქმედებით.

ამიტომ დამაგნიტებული რკინის განმაგნიტება შეიძლება გაცხელებით ან დარტყმით.

**პასუხი:**

**გაცხელებით ან დარტყმით.**

**ამოცანა 6**

მაგნიტური ველის გამოსაკვლევად რატომ ამჯობინებენ მრავალხვიანი დენიანი ჩარჩოს გამოყენებას?

**ამოხსნა:**

მაგნიტური ველი დენიან ჩარჩოზე მოქმედებს და მის ორიენტაციას ცვლის.

ჩარჩოზე მაგნიტური მოქმედების გასაძლიერებლად შესაძლებელია მისი ხვიათა რიცხვის გაზრდა.

მრავალხვიან ჩარჩოში თითოეული ხვიის მაგნიტური მოქმედება ერთმანეთს ემატება, ამიტომ გარეშე მაგნიტური ველის ზემოქმედება უფრო მკაფიოდ და ადვილად შესამჩნევად ვლინდება.

**პასუხი:**

**რადგან ხვიათა რაოდენობის გაზრდით ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მოქმედება ძლიერდება და ველის გამოვლენა უფრო ადვილი ხდება.**

**ამოცანა 7**

ყოველთვის შემობრუნდება თუ არა დენიანი ჩარჩო სწორ დენიან გამტართან მიახლოებისას? პასუხი დაასაბუთეთ.

**ამოხსნა:**

დენიანი ჩარჩო მაგნიტურ ველში მაორიენტირებლად მოქმედი ძალების გამო შემობრუნდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც მისი საწყისი მდებარეობა ველის შესაბამის მდგრად ორიენტაციას არ ემთხვევა.

პარაგრაფში განხილულ ცდაში ჩარჩო ისე ბრუნდება, რომ სწორი დენიანი გამტარი ჩარჩოს სიბრტყეში აღმოჩნდეს და გამტარსა და ჩარჩოს უახლოეს გვერდში დენები ერთი მიმართულებით იყოს.

თუ ჩარჩო თავიდანვე სწორედ ასეთ მდგომარეობაშია, დამატებითი შემობრუნება აღარ არის საჭირო.

**პასუხი:**

**არა. თუ ჩარჩო თავიდანვე მაგნიტურ ველში მისთვის შესაბამის ორიენტაციაშია, იგი აღარ შემობრუნდება.**

**ამოცანა 8**

თუ გადაგრეხილ დენიან გამტარს მაგნიტურ ისარს მივუახლოებთ, ისარი არ შემობრუნდება. რატომ? ნიშნავს თუ არა ეს, რომ გადაგრეხილი დენიანი გამტარი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს არ ქმნის? პასუხი დაასაბუთეთ.

**ამოხსნა:**

გადაგრეხილი სადენის ერთმანეთთან ძალიან ახლოს მდებარე ნაწილებში დენები საპირისპირო მიმართულებით მიედინება.

ამ ნაწილების მიერ შექმნილი მაგნიტური მოქმედებები ერთმანეთის საწინააღმდეგოა და პრაქტიკულად აბათილებს ერთმანეთს. ამიტომ ახლოს მოთავსებულ მაგნიტურ ისარზე ჯამური მაორიენტირებელი მოქმედება თითქმის არ ვლინდება და ისარი არ შემობრუნდება.

ეს არ ნიშნავს, რომ თითოეული დენიანი გამტარი მაგნიტურ ველს არ ქმნის. პირიქით, ორივე ნაწილი ქმნის მაგნიტურ ველს, მაგრამ მათი ველების მოქმედებები მოცემულ პირობებში ერთმანეთს აკომპენსირებს.

**პასუხი:**

**ისარი არ შემობრუნდება იმიტომ, რომ გადაგრეხილი სადენის საპირისპირო მიმართულების დენების მაგნიტური მოქმედებები ერთმანეთს თითქმის აბათილებს. ეს არ ნიშნავს მაგნიტური ველის არარსებობას — თითოეული დენიანი ნაწილი ველს ქმნის.**

## პარაგრაფი №2.3 — მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი. მაგნიტური ინდუქციის წირები

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი — მოდული და მიმართულება | მოსწავლე შეძლებს მაგნიტური ველის რაოდენობრივი მახასიათებლის — მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის — არსის გააზრებას, მისი მიმართულების განსაზღვრას მაგნიტური ისრისა და მარჯვენა ხელის წესების გამოყენებით და მაგნიტური ინდუქციის წირების ინტერპრეტაციას. | **ნივთიერება და ველი** — მაგნიტური ველის თვისებებისა და მისი მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდის თვისებრივი და რაოდენობრივი აღწერა. |
| 2 | ახალი ცოდნის რაოდენობრივი გააზრება | მაგნიტური ინდუქციის მოდული — მაბრუნებელი მომენტიდან ფორმულამდე | მოსწავლე შეძლებს დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტისა და ჩარჩოს პარამეტრების გამოყენებით მაგნიტური ინდუქციის მოდულის ფორმულის მიღებას, მისი ფიზიკური შინაარსისა და ერთეულის გააზრებას. | **ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტური ველის მახასიათებელი სიდიდის რაოდენობრივი დახასიათება და შესაბამისი კანონზომიერების გამოყენება. |
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, განზოგადება და შეფასება | მაგნიტური ინდუქცია და მისი წირები — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი | მოსწავლე შეძლებს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის, მისი მიმართულების, მაგნიტური ინდუქციის წირების, მარჯვენა ხელის წესისა და ველების სუპერპოზიციის შესახებ ცოდნის გაერთიანებას და ახალ სიტუაციებში გამოყენებას. | **ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტური ველის თვისებებისა და მახასიათებელი სიდიდეების გააზრება; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნა და ცოდნის ტრანსფერი. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი, როგორც მაგნიტური ველის რაოდენობრივი მახასიათებელი;
- განსაზღვროს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება ველში თავისუფლად მბრუნავი, ველით ორიენტირებული მაგნიტური ისრის მიმართულების (S-დან N-სკენ) მიხედვით;
- გამოიყენოს მარჯვენა ხელის წესი წრფივი დენიანი გამტარისა და დენიანი კოჭის მაგნიტური ველის მიმართულების დასადგენად;
- განმარტოს მაგნიტური ინდუქციის წირების არსი და დაადგინოს მათი მიმართულება;
- განასხვავოს ერთგვაროვანი და არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველის სქემატური გამოსახულებები;
- დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტის ფორმულიდან მიიღოს დამოკიდებულება **B = Mmax/(IS)**;
- გამოიყენოს მაგნიტური ინდუქციის SI ერთეული — ტესლა;
- გამოიყენოს მაგნიტური ველების სუპერპოზიციის პრინციპი თვისებრივი მსჯელობისას.

### სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა;
- ნივთიერებისა და ველის ფიზიკური თვისებების ცოდნის მნიშვნელობის შესახებ საკუთარი მოსაზრებების დასაბუთება და ამ ცოდნის თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებასთან დაკავშირება;
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;
- ურთიერთქმედების სახეების — გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური — თვისებრივი დახასიათება;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების, მათ შორის ელექტრომაგნიტური პროცესების, თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა.

### წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად განმარტავს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის ფიზიკურ შინაარსს; ადგენს მის მიმართულებას მაგნიტური ისრისა და მარჯვენა ხელის წესის გამოყენებით; სწორად კითხულობს მაგნიტური ინდუქციის წირებით წარმოდგენილ ველს; განასხვავებს ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან მაგნიტურ ველს; მაბრუნებელი მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობიდან იღებს და იყენებს ფორმულას **B = Mmax/(IS)**; სწორად ასახელებს მაგნიტური ინდუქციის ერთეულს — ტესლას და რამდენიმე ველის არსებობისას იყენებს სუპერპოზიციის პრინციპს.

#### აქტივობა 1. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი — მოდული და მიმართულება

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება — მოსწავლეებმა გაიაზრონ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის არსი, მისი მიმართულების განსაზღვრის წესები და მაგნიტური ინდუქციის წირებით მაგნიტური ველის გამოსახვის პრინციპი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ვიზუალური მოდელირება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ შეიძლება მაგნიტური ველი არა მხოლოდ თვისობრივად, არამედ მიმართულებითა და რაოდენობრივი მახასიათებლითაც აღვწეროთ? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
| --- | --- |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი წინა პარაგრაფის ცოდნას უკავშირებს ახალ ცნებას: დენიანი გამტარი ქმნის მაგნიტურ ველს, ხოლო მაგნიტური ველი სხვა მაგნიტურ სხეულებზე მოქმედებს. იმისათვის, რომ ველი სივრცის კონკრეტულ წერტილში რაოდენობრივად და მიმართულებით აღვწეროთ, შემოდის **მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი B**. მასწავლებელი ხაზს უსვამს, რომ B ვექტორული სიდიდეა და ამიტომ მის დასახასიათებლად საჭიროა როგორც მოდული, ისე მიმართულება. მოსწავლის წიგნის სურ. 2.3.1–2.3.2-ის მიხედვით განისაზღვრება ინდუქციის მიმართულება მაგნიტური ისრით და მარჯვენა ხელის წესით. შემდეგ მოსწავლეები სურ. 2.3.5–2.3.11-ის მიხედვით აკვირდებიან მაგნიტური ინდუქციის წირებს. **განვითარებადი უნარები:** სივრცითი აზროვნება; ვიზუალური ინფორმაციის გაანალიზება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება** | მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებად მოცემულ წერტილში მიღებულია ამ წერტილში თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისრის მიმართულება სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ. შესაბამისად, B ვექტორი მოცემულ წერტილში მაგნიტური ველის მიმართულებას გვიჩვენებს. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — სწორი დენიანი გამტარის ველის მიმართულება** | წრფივი დენიანი გამტარის გარშემო მაგნიტური ინდუქციის მიმართულება განისაზღვრება **მარჯვენა ხელის წესით**: თუ მარჯვენა ხელის ცერი დენის მიმართულებითაა მიმართული, მოხრილი თითები გვიჩვენებს გამტარის გარშემო მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულებას. მოსწავლეები სურ. 2.3.2 და 2.3.6–2.3.7-ის მიხედვით აკავშირებენ დენის მიმართულებას B ვექტორის მიმართულებასთან. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — კოჭისა და სოლენოიდის ველი** | სოლენოიდის მაგნიტური ველის მიმართულების დასადგენად ასევე გამოიყენება მარჯვენა ხელის წესი: თუ მოხრილი თითები ემთხვევა ხვიებში დენის მიმართულებას, გაშლილი ცერი მიუთითებს სოლენოიდის შიგნით B ვექტორის მიმართულებას. სოლენოიდის ჩრდილოეთი პოლუსიდან გამოდიან წირები და შედიან სამხრეთ პოლუსში. ამდენად, წირების მიმართულების დადგენით განისაზღვრება სოლენოიდის პოლუსები. მოსწავლეები ადარებენ სოლენოიდისა და ზოლისებრი მაგნიტის მაგნიტური ველის წირებს. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 4 — მაგნიტური ინდუქციის წირები** | მაგნიტური ინდუქციის წირები არის წარმოსახვითი წირები, რომელთა თითოეულ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება ემთხვევა ამ წერტილში B ვექტორის მიმართულებას. მაგნიტურ წირებს აქვს გარკვეული მიმართულება. მათი განლაგების სიჭიდროვე თვალსაჩინოდ ასახავს მაგნიტური ველის ინტენსივობას (ინდუქციის სიდიდეს) სივრცის სხვადასხვა არეში. სადაც წირები უფრო მჭიდროდაა, ველი უფრო ძლიერია. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირები პარალელური და თანაბრად დაშორებულია. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ინფორმაციის მიწოდებისას** | • რა ფიზიკური სიდიდით ხასიათდება მაგნიტური ველი რაოდენობრივად? • ვექტორული თუ სკალარული სიდიდეა მაგნიტური ინდუქცია? • როგორ განისაზღვრება B ვექტორის მიმართულება მაგნიტური ისრის გამოყენებით? • რას გვიჩვენებს მარჯვენა ხელის წესში გაშლილი ცერი? • რას ეწოდება მაგნიტური ინდუქციის წირი? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — მიმართულების განსაზღვრისას** | • როგორ გამოვიყენებთ მარჯვენა ხელის წესს წრფივი დენიანი გამტარისათვის? • თუ დენის მიმართულებას შევცვლით, როგორ შეიცვლება B ვექტორის მიმართულება? • როგორ განვსაზღვროთ სოლენოიდის ჩრდილოეთ პოლუსი დენის მიმართულების მიხედვით? • როგორ განვსაზღვროთ B ვექტორის მიმართულება ინდუქციის წირის კონკრეტულ წერტილში? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • რას ნიშნავს, თუ მაგნიტური ინდუქციის წირები ერთმანეთთან ძალიან ახლოსაა განლაგებული? • როგორ მივხვდებით ნახაზიდან, რომ ველი ერთგვაროვანია? • რა შეიცვლება დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის სურათში, თუ დენის მიმართულება საპირისპიროდ შეიცვლება? • რატომ არ  შეიძლება ინდუქციის ორმა წირმა ერთმანეთი გადაკვეთოს? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი B ვექტორის მიმართულების განსაზღვრის წესებს არ აძლევს მხოლოდ დასამახსოვრებლად. ყოველი ნახაზის განხილვისას მოსწავლეს სთხოვს ჯერ განსაზღვროს დენის მიმართულება, შემდეგ გამოიყენოს შესაბამისი წესი და მხოლოდ ამის შემდეგ მიუთითოს B ვექტორის მიმართულება. ინდუქციის წირების განხილვისას აკავშირებს წირისადმი გავლებულ მხებს B ვექტორის მიმართულებასთან (ითვალისწინებს, რომ B ვექტორი ყოველ წერტილში წირის მხების გასწვრივაა მიმართული). |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 2.3.1–2.3.11; დაფა ან პროექტორი; სწორი დენიანი გამტარის, სოლენოიდისა და ზოლისებრი მაგნიტის მაგნიტური ველის სქემები; მაგნიტური ისარი ან კომპასი. |
| **შეფასება** | „მიუთითე მიმართულება“ — მოსწავლეებს ეძლევათ 2–3 მარტივი სქემა, რომლებშიც მოცემულია დენის მიმართულება. მათ უნდა მიუთითონ B ვექტორის ან ინდუქციის წირების მიმართულება და დაასახელონ გამოყენებული წესი. კრიტერიუმები: მიმართულების დადგენის სიზუსტე; შესაბამისი წესის სწორად გამოყენება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ მარჯვენა ხელის წესის ილუსტრირებული ბარათი და ნაწილობრივ შევსებული ნახაზები, რომლებზეც უკვე მითითებულია დენის მიმართულება. მოსწავლემ მხოლოდ B ვექტორის მიმართულება უნდა დაამატოს. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამოუკიდებლად აანალიზებენ შემთხვევას, როდესაც დენის მიმართულება შებრუნებულია. |

## შუალედური დასკვნა

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი **B** მაგნიტური ველის ვექტორული მახასიათებელია. მისი მიმართულება ემთხვევა მოცემულ წერტილში თავისუფალი მაგნიტური ისრის ჩრდილოეთ პოლუსის მიმართულებას. დენიანი გამტარისა და სოლენოიდის მაგნიტური ველის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით. მაგნიტური ინდუქციის წირები გვაძლევს ველის მიმართულებისა და სივრცეში მისი განაწილების თვალსაჩინო გამოსახულებას.

### აქტივობა 2. მაგნიტური ინდუქციის მოდული — მაბრუნებელი მომენტიდან ფორმულამდე

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა გაიაზრონ მაგნიტური ინდუქციის მოდულის რაოდენობრივი განსაზღვრება და დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტის საფუძველზე მიიღონ ფორმულა **B = Mmax/(IS)**. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; მიმართულებითი აღმოჩენა. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ შეიძლება მაგნიტური ველის „სიძლიერის“ (ინდუქციის) რაოდენობრივი განსაზღვრა დენიან ჩარჩოზე მისი ძალისმიერი მაბრუნებელი მოქმედების მიხედვით? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი უბრუნდება წინა პარაგრაფში განხილულ დენიან ჩარჩოს მაგნიტურ ველში და მოსწავლის წიგნის სურ. 2.3.3–2.3.4-ს. მოსწავლეები იხსენებენ, რომ მაგნიტურ ველში დენიანი ჩარჩოს სხვადასხვა უბანზე მოქმედი ძალები ქმნის მაბრუნებელ ეფექტს. მასწავლებელი განმარტავს, რომ ჩარჩოს გარკვეული ორიენტაციისას მაბრუნებელი მომენტი მაქსიმალურია და ექსპერიმენტულად დადგენილია დამოკიდებულება **Mmax = BIS**. შემდეგ ფორმულის გარდაქმნით მიიღება მაგნიტური ინდუქციის მოდულის გამოსახულება **B = Mmax/(IS)**. თითოეული სიდიდის ფიზიკური შინაარსი ცალკე განიხილება. **განვითარებადი უნარები:** მათემატიკური მოდელირება; კრიტიკული აზროვნება. |
| **ფორმულის მიღება — ნაბიჯი 1** | განიხილება მაგნიტურ ველში მოთავსებული **S** ფართობის მქონე ჩარჩო, რომელშიც გადის **I** დენი. ჩარჩოზე მოქმედი ძალები გარკვეულ მდგომარეობაში ქმნის მაქსიმალურ მაბრუნებელ მომენტს **Mmax**. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ფორმულის მიღება — ნაბიჯი 2** | ექსპერიმენტული კანონზომიერება ჩაიწერება სახით: **Mmax = BIS**. მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ პროპორციულობებს: ერთსა და იმავე ველში I-ის ან S-ის ზრდისას მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი იზრდება. |
| **ფორმულის მიღება — ნაბიჯი 3** | ტოლობიდან B-ს გამოყოფით მიიღება: **B = Mmax/(IS)**. ხაზგასმულია, რომ B წარმოადგენს მოცემული მაგნიტური ველის საკუთარ ძალოვან მახასიათებელს — იგი გვიჩვენებს დენიან ჩარჩოზე ველის მოქმედების მაქსიმალურ მომენტს ერთეულოვან დენის ძალასა და ფართობზე გაანგარიშებით. |
| **მაგნიტური ინდუქციის ერთეული** | SI-ში მაგნიტური ინდუქციის ერთეულია **ტესლა (ტლ)**. ერთი ტესლა არის ისეთი მაგნიტური ველის ინდუქცია, რომელშიც 1 ა დენის მქონე 1 მ² ფართობის ჩარჩოზე მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი 1 ნ·მ-ის ტოლია. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის შემოტანისას** | • რომელ სიდიდეს აღნიშნავს Mmax? • რას აღნიშნავს I? • რას აღნიშნავს S? • რა სიდიდით აღვნიშნავთ მაგნიტური ინდუქციის მოდულს? • რა არის მაგნიტური ინდუქციის SI ერთეული? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის მიღებისას** | • როგორ მივიღეთ **B = Mmax/(IS)** ფორმულიდან **Mmax = BIS**? • თუ Mmax, I და S არის ცნობილი, როგორ ვიპოვით B-ს? • როგორ შეიცვლება Mmax, თუ ერთსა და იმავე ველში დენი ორჯერ გაიზრდება და სხვა პირობები უცვლელი დარჩება? • როგორ შეიცვლება Mmax ჩარჩოს ფართობის ზრდისას? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფიზიკური შინაარსის გასააზრებლად** | • თუ ერთნაირი I და S-ის მქონე ჩარჩოზე ერთ ველში უფრო დიდი Mmax მოქმედებს, რომელ ველს აქვს უფრო დიდი B? • რატომ ვერ შევადარებთ ორი ველის სიძლიერეს მხოლოდ Mmax-ის მიხედვით, თუ ჩარჩოებში სხვადასხვა დენი გადის? • რა პირობების ცოდნაა საჭირო, რომ მაბრუნებელი მომენტიდან ველის ინდუქცია გამოვთვალოთ? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი არ შემოიფარგლება ფორმულის დაფაზე დაწერით. იგი ყოველ გარდაქმნას სიტყვიერად ახსნევინებს მოსწავლეებს და სთხოვს ფორმულის მიხედვით დაასახელონ, რომელი სიდიდის ცვლილება როგორ იმოქმედებს შედეგზე. განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს B-ს, როგორც ველის მახასიათებლისა და Mmax-ის, როგორც კონკრეტულ ჩარჩოზე მოქმედების შედეგის, ერთმანეთისგან გამიჯვნას. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 2.3.3–2.3.4; დაფა ან პროექტორი; დენიანი ჩარჩოს სქემა; ფორმულების სამუშაო ბარათი. |
| **შეფასება** | „ფორმულა — ფიზიკური აზრი“ — მოსწავლე წერს **B = Mmax/(IS)** და ერთი–ორი წინადადებით განმარტავს, რას გვიჩვენებს ეს დამოკიდებულება. კრიტერიუმები: სიდიდეების სწორად დასახელება; ფორმულის ფიზიკური აზრის სიზუსტე; ერთეულის ცოდნა. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ფორმულის ბარათი და სიდიდეთა დასახელებების შემცირებული არჩევანი. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ადგენენ, როგორ შეიცვლება B-ს მნიშვნელობა სხვადასხვა მონაცემის ცვლილებისას. |

## შუალედური დასკვნა

მაგნიტური ინდუქციის მოდული რაოდენობრივად ახასიათებს მაგნიტურ ველს. დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტისათვის მოქმედებს დამოკიდებულება **Mmax = BIS**, საიდანაც მიიღება:

**B = Mmax/(IS).**

მაგნიტური ინდუქციის SI ერთეულია **ტესლა (ტლ)**.

### აქტივობა 3. მაგნიტური ინდუქცია და მისი წირები — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა კითხვა–პასუხისა და მოკლე კონცეპტუალური დავალებების საშუალებით გაამთლიანონ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულისა და მიმართულების, ინდუქციის წირების, მარჯვენა ხელის წესისა და ველების სუპერპოზიციის შესახებ მიღებული ცოდნა. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმმართველი კითხვა–პასუხი; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ შეგვიძლია მაგნიტური ველი სრულად დავახასიათოთ ინდუქციის ვექტორის მოდულის, მიმართულებისა და ინდუქციის წირების გამოყენებით? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი დაფაზე წერს საკვანძო ცნებებს: **მაგნიტური ველი — B ვექტორი — მიმართულება — ინდუქციის წირი — მარჯვენა ხელის წესი — ტესლა — სუპერპოზიცია**. მოსწავლეები ჯერ წყვილებში, შემდეგ მთლიან კლასში ხსნიან მათ შორის კავშირებს. მოსწავლის წიგნის სურ. 2.3.5–2.3.11-ის მიხედვით განიხილება რამდენიმე სქემა: ზოლისებრი მაგნიტი, სწორი დენიანი გამტარი, სოლენოიდი და დედამიწის მაგნიტური ველი. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია და არგუმენტირებული მსჯელობა. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცნებების აღდგენისას** | • რას ახასიათებს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი? • რა არის B ვექტორის მიმართულება? • რა არის მაგნიტური ინდუქციის ერთეული? • რას ეწოდება ინდუქციის წირი? • როგორი წირებით გამოისახება ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — წესების გამოყენებისას** | • როგორ განვსაზღვროთ წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის B ვექტორის მიმართულება? • როგორ ვიპოვოთ სოლენოიდის ჩრდილოეთ პოლუსი დენის მიმართულების მიხედვით? • როგორ განვსაზღვროთ B ვექტორის მიმართულება მოცემული ინდუქციის წირის კონკრეტულ წერტილში? • როგორ ვიპოვით B-ს, თუ ცნობილია Mmax, I და S? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — უცნობ სიტუაციებში** | • როგორ შეიცვლება წრფივი გამტარის გარშემო მაგნიტური ველის (ინდუქციის წირების) მიმართულება, თუ მასში დენის მიმართულებას შევცვლით? • თუ ორი მაგნიტური ველი ერთსა და იმავე წერტილში მოქმედებს, როგორ უნდა განვსაზღვროთ ჯამური B ვექტორი? • რატომ შეიძლება ერთ წერტილში B იყოს უფრო დიდი, ვიდრე მეორეში? • რას მიგვანიშნებს ინდუქციის წირების სიმჭიდროვე ველის შესახებ? • რატომ არ შეიძლება მაგნიტური ინდუქციის ორი წირი გადაიკვეთოს? |
| **კონცეპტუალური მინი-დავალება — „დაადგინე მიმართულება“** | წყვილებს ეძლევათ სამი სქემა: 1) წრფივი გამტარი, რომელშიც დენი მიმართულია ფურცლიდან დამკვირვებლისკენ; 2) წრფივი გამტარი, რომელშიც დენი მიმართულია ფურცლის სიღრმისკენ; 3) სოლენოიდი მითითებული დენის მიმართულებით. მოსწავლეები ადგენენ B ვექტორის ან ინდუქციის წირების მიმართულებას და თითოეულ პასუხს შესაბამისი წესით ასაბუთებენ. |
| **ველების სუპერპოზიცია** | მასწავლებელი განმარტავს, რომ თუ სივრცის მოცემულ წერტილში რამდენიმე წყაროს მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი არსებობს, ჯამური მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ცალკეული ვექტორების ვექტორული ჯამის ტოლია: $\mathbf{B = B_1 + B_2 + B_3 + \ldots + B_n}$. ყურადღება გამახვილებულია ვექტორულ შეკრებაზე და არა მხოლოდ მოდულების არითმეტიკულ შეკრებაზე. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი კითხვებით ავლენს ტიპიურ შეცდომებს: B-სა და ინდუქციის წირის გაიგივება; მარჯვენა ხელის წესის არასწორი გამოყენება; დენის მიმართულების ცვლილების უგულებელყოფა; B ვექტორების მოდულების სკალარული შეკრება მათი მიმართულებების გათვალისწინების გარეშე. პასუხისას მოსწავლეს ყოველთვის სთხოვს დასაბუთებას. |
| **რესურსები** | დაფა ან პროექტორი; მოსწავლის წიგნის სურ. 2.3.1–2.3.12; მიმართულებების ამოსაცნობი სამუშაო ბარათები; მაგნიტური ველის სქემები. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| შეფასება | „ერთი სქემა — ერთი არგუმენტი“ — მოსწავლე იღებს მაგნიტური ველის ერთ სქემას, მიუთითებს B ვექტორის მიმართულებას და ერთი წინადადებით ასაბუთებს პასუხს შესაბამისი წესის გამოყენებით. კრიტერიუმები: მიმართულების სიზუსტე; წესის სწორად გამოყენება; არგუმენტის გამართულობა. |
| დიფერენცირება | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ წინადადების დასაწყისები: „B ვექტორი მიმართულია..., რადგან...“ და მარჯვენა ხელის წესის ვიზუალური მინიშნება. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები მიმართულებებს დამოუკიდებლად ადგენენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით აანალიზებენ ორი დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი ველების შეკრების მარტივ შემთხვევას. |

## შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ძირითად დებულებებს:

- მაგნიტური ველის რაოდენობრივი მახასიათებელია მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი **B**;
- B ვექტორის მიმართულება ემთხვევა მოცემულ წერტილში თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისრის სამხრეთი პოლუსიდან ჩრდილოეთ პოლუსისკენ მიმართულებას;
- წრფივი დენიანი გამტარისა და სოლენოიდის მაგნიტური ველის მიმართულების დასადგენად გამოიყენება მარჯვენა ხელის წესი;
- მაგნიტური ინდუქციის წირის თითოეულ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება ემთხვევა B ვექტორის მიმართულებას;
- ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირები პარალელური და თანაბრად დაშორებულია;
- დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტისთვის **Mmax = BIS**, საიდანაც **B = Mmax/(IS)**;
- მაგნიტური ინდუქციის SI ერთეულია ტესლა;
- რამდენიმე მაგნიტური ველის არსებობისას მაგნიტური ველის ჯამური ინდუქცია განისაზღვრება ვექტორული სუპერპოზიციის პრინციპით.

## სასურველი დასკვნა

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი **B** მაგნიტური ველის რაოდენობრივი და მიმართულებითი მახასიათებელია. მისი მიმართულების განსაზღვრა შესაძლებელია მაგნიტური ისრით ან დენიანი გამტარის შემთხვევაში მარჯვენა ხელის წესით. მაგნიტური ინდუქციის წირები თვალსაჩინოდ გვიჩვენებს ველის მიმართულებასა და სივრცეში მის განაწილებას. დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტის მიხედვით მაგნიტური ინდუქციის მოდული განისაზღვრება ფორმულით **B = Mmax/(IS)**, ხოლო მისი SI ერთეულია ტესლა.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### „იპოვე შეცდომა“

მასწავლებელი მოსწავლეებს სთავაზობს დებულებებს:

1. „მაგნიტური ინდუქცია სკალარული სიდიდეა.“
2. „B ვექტორის მიმართულება შეიძლება განვსაზღვროთ მაგნიტური ისრის ჩრდილოეთ პოლუსის მიმართულებით.“
3. „წრფივი დენიანი გამტარის გარშემო B ვექტორის მიმართულების დასადგენად შეიძლება გამოვიყენოთ მარჯვენა ხელის წესი.“
4. „მაგნიტური ინდუქციის ორი წირი შეიძლება ერთმანეთს კვეთდეს.“
5. „მაგნიტური ინდუქციის SI ერთეულია ტესლა.“
6. „რამდენიმე მაგნიტური ველის შემთხვევაში ჯამური B ვექტორი ცალკეული B ვექტორების ვექტორული ჯამით განისაზღვრება.“

მოსწავლემ უნდა იპოვოს მცდარი დებულებები, გაასწოროს ისინი და თითოეული შესწორება მოკლე ფიზიკური არგუმენტით დაასაბუთოს.

შეფასების კრიტერიუმები: ტერმინების ზუსტი გამოყენება; მიმართულების დადგენის წესების ცოდნა; ფორმულისა და ფიზიკური შინაარსის სწორად დაკავშირება.

## მასწავლებლის ინსტრუქცია

მომდევნო გაკვეთილის დასაწყისში რამდენიმე მოსწავლეს სთხოვეთ საკუთარი ნახაზის წარმოდგენა. განსაკუთრებული ყურადღება გაამახვილეთ **B ვექტორისა და ინდუქციის წირის განსხვავებაზე**, მარჯვენა ხელის წესის სწორ გამოყენებასა და იმაზე, რომ დენის მიმართულების შეცვლა იწვევს მაგნიტური ველის წირების მიმართულების შეცვლას. ფორმულა **B = Mmax/(IS)** განიხილეთ არა მხოლოდ გამოსათვლელ ფორმულად, არამედ მაგნიტური ველის რაოდენობრივი მახასიათებლის განსაზღვრებად.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რომელი ცდები მიუთითებს იმაზე, რომ მაგნიტური ინდუქცია ვექტორული სიდიდე უნდა იყოს?**
   მაგნიტურ ველში მოთავსებული მაგნიტური ისრის ან მცირე ზომის დენიანი ჩარჩოს ორიენტაცია აჩვენებს, რომ მაგნიტურ ველს მიმართულება აქვს. ამიტომ მისი მახასიათებელი სიდიდე ვექტორული უნდა იყოს.
2. **რისი პროპორციულია დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური ძალთა მომენტი?**
   დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური ძალთა მომენტი ჩარჩოს ფართობისა და მასში გამავალი დენის ძალის პროპორციულია.
3. **რატომ გამოდგება $M_{max}$ /IS შეფარდება მაგნიტური ველის მახასიათებელ სიდიდედ?**
   მაქსიმალური ძალთა მომენტის შეფარდება ჩარჩოს ფართობისა და დენის ძალის ნამრავლთან გამოდგება მაგნიტური ველის მახასიათებლად, რადგან ეს შეფარდება აღარ არის დამოკიდებული თვითონ ჩარჩოს ფართობსა და მასში გამავალ დენზე და მხოლოდ მოცემულ წერტილში არსებულ მაგნიტურ ველს ახასიათებს.
4. **რა არის მაგნიტური ველების ზედდების პრინციპი?**
   მაგნიტური ველების ზედდების პრინციპი ნიშნავს, რომ თუ სივრცის ერთ წერტილში ველს რამდენიმე დენიანი გამტარი ან მაგნიტი ქმნის, ჯამური მაგნიტური ველი თითოეული მათგანის მიერ შექმნილი ველების ვექტორული შეკრებით მიიღება.
5. **რას წარმოადგენს წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირები?**
   წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირები არის გამტარის მართობულ სიბრტყეში მდებარე კონცენტრული წრეწირები, რომელთა ცენტრები გამტარზე მდებარეობს.
6. **რა შემთხვევაში იქნება დენიანი სოლენოიდის შიგნით ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი?**
   დენიანი სოლენოიდის შიგნით მაგნიტური ველი ერთგვაროვანი იქნება მაშინ, როდესაც სოლენოიდის სიგრძე მის დიამეტრზე გაცილებით დიდია. ასეთ შემთხვევაში მის შიგნით ინდუქციის წირები პარალელური და თანაბარი სიხშირისაა.
7. **ემთხვევა თუ არა დასახელებით, დედამიწის გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს?**
   არა, არ ემთხვევა. დედამიწის გეოგრაფიულ ჩრდილოეთთან მაგნიტური სამხრეთ პოლუსია, ხოლო გეოგრაფიულ სამხრეთთან — მაგნიტური ჩრდილოეთ პოლუსი.
8. **რისი შედეგია, რომ მაგნიტური ველის ძალწირები შეკრულია?**
   მაგნიტური ველის ძალწირები შეკრულია, რადგან მათ არც დასაწყისი აქვთ და არც ბოლო. ამიტომ მაგნიტურ ველს გრიგალურ ველს უწოდებენ.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**-

სურ. 2.3.14-ზე ნაჩვენები ორი შემთხვევიდან რომელი მათგანი შეესაბამება მაგნიტური ისრის მართებულ ორიენტაციას?

**ამოხსნა:**

ჩარჩოში დენის მიმართულების მიხედვით მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას მარჯვენა ხელის წესით ვადგენთ: მოხრილი ოთხი თითი უნდა ემთხვეოდეს დენის მიმართულებას, ხოლო გაშლილი ცერა თითი გვიჩვენებს ჩარჩოს მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის მიმართულებას.

სურათზე მოცემული დენის მიმართულებისთვის ჩარჩოს ცენტრში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი მარჯვნივაა მიმართული. მაგნიტური ისარი კი ველში ისე უნდა ორიენტირდეს, რომ მისი ჩრდილოეთ, ანუ წითელი ბოლო, მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას ემთხვეოდეს.

ამ პირობას ბ) შემთხვევა აკმაყოფილებს.

**პასუხი: ბ).**

**ამოცანა 2**

ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია $S = 20$ სმ$^2$ ფართობის მქონე ბრტყელი გამტარი ჩარჩო, რომელშიც გადის $I = 2$ ა დენი. რისი ტოლია ველის მაგნიტური ინდუქცია, თუ ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი $M_{max} = 0{,}008$ ნ · მ.

**ამოხსნა:**

მაგნიტური ინდუქციის მოდულის განმარტების თანახმად:

$$B = \frac{M_{max}}{IS}$$

ჯერ ფართობი გადავიყვანოთ SI-ის ერთეულებში:

$$S = 20 \cdot 10^{-4}\ მ^2 = 0{,}002\ მ^2$$

მოცემული სიდიდეები ჩავსვათ ფორმულაში:

$$B = \frac{0{,}008}{2 \cdot 0{,}002} = 2\ ტლ$$

**პასუხი: 2 ტლ.**

**ამოცანა 3**

0,5 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია 5 სმ სიგრძის გვერდის მქონე კვადრატული ფორმის გამტარი ჩარჩო, რომელშიც გადის $I = 1{,}6$ ა დენი. რისი ტოლია ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი?

**ამოხსნა:**

კვადრატული ჩარჩოს ფართობია:

$$S = a^2 = (0{,}05\ მ)^2 = 0{,}0025\ მ^2$$

მაგნიტური ინდუქციის განმარტებიდან:

$$M_{max} = BIS$$

მნიშვნელობების ჩასმით:

$$M_{max} = 0{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}0025 = 0{,}002\ ნ \cdot მ$$

**პასუხი:**

**0,002 ნ·მ.**

**ამოცანა 4**

2 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია 5 სმ სიგრძის და 6 სმ სიგანის მქონე მართკუთხა გამტარი ჩარჩო ისე, რომ ჩარჩოს $n$ ნორმალი მაგნიტური ინდუქციის $B$ ვექტორთან 90°-იან კუთხეს ქმნის (სურ. 2.3.15). რისი ტოლია ჩარჩოში დენის ძალა, თუ ამ დროს ჩარჩოზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტი 0,0018 ნ·მ-ია?

**ამოხსნა:**

რადგან ჩარჩოს ნორმალი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორთან 90°-იან კუთხეს ქმნის, მაბრუნებელი მომენტი მაქსიმალურია.

ჩარჩოს ფართობია:

$$S = ab = 0{,}05 \cdot 0{,}06 = 0{,}003\ მ^2$$

ფორმულიდან:

$$M_{max} = BIS$$

დენის ძალისთვის მივიღებთ:

$$I = \frac{M_{max}}{BS} = \frac{0{,}0018}{2 \cdot 0{,}003} = 0{,}3\ ა$$

**პასუხი:**

**0,3 ა.**

**ამოცანა 5**

1 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია 20 ხვიისგან შედგენილი კვადრატული ფორმის გამტარი ჩარჩო. რისი ტოლია ჩარჩოს გვერდის სიგრძე, თუ მასში 1 ა დენის გატარებისას ჩარჩოზე მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი 0,072 ნ·მ-ია?

**ამოხსნა:**

20-ხვიანი ჩარჩოს თითოეულ ხვიაზე ველის მოქმედება ერთნაირია, ამიტომ მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტები იკრიბება:

$$M_{max} = NBIS$$

აქედან ერთი ხვიის ფართობია:

$$S = \frac{M_{max}}{NBI} = \frac{0{,}072}{20 \cdot 1 \cdot 1} = 0{,}0036\ მ^2$$

ჩარჩო კვადრატულია, ამიტომ:

$$a = \sqrt{S} = \sqrt{0{,}0036} = 0{,}06\ მ = 6\ სმ$$

**პასუხი:**

**6 სმ.**

**ამოცანა 6**

პირველ შემთხვევაში, როდესაც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში შეიტანეს კვადრატული ფორმის ჩარჩო და მასში 1 ა დენი გაატარეს, ჩარჩოზე 0,02 ნ·მ მაქსიმალურმა მაბრუნებელმა მომენტმა იმოქმედა. რა მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი იმოქმედებს იმავე ველში შეტანილ იმავე ფართობის მქონე წრიულ ჩარჩოზე, თუ მასში 1,5 ა დენს გავატარებთ?

**ამოხსნა:**

მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი ჩარჩოს ფორმაზე არ არის დამოკიდებული, თუ მისი ფართობი უცვლელია. მოცემულ შემთხვევაში ორივე ჩარჩოსთვის ველი და ფართობი ერთნაირია, ამიტომ:

$$M_{max} = BIS$$

ამიტომ მაქსიმალური მომენტების შეფარდება დენის ძალების შეფარდების ტოლია:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1{,}5}{1} = 1{,}5$$

$$M_2 = 1{,}5 \cdot 0{,}02 = 0{,}03\ ნ \cdot მ$$

**პასუხი: 0,03 ნ·მ.**

**ამოცანა 7***

ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი ჯერ გამოიკვლიეს 2N ხვიისაგან შედგენილი კვადრატული ფორმის ჩარჩოთი, შემდეგ კი იმავე პერიმეტრის N ხვიის მქონე წრიული ჩარჩოთი. რომელ შემთხვევაში უფრო მეტი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი მოქმედებს ჩარჩოზე და რამდენჯერ, თუ ორივე შემთხვევაში ჩარჩოებში ერთი და იმავე სიდიდის დენს გაატარებენ?

**ამოხსნა:**

მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტისთვის ვიყენებთ მრავალხვიანი ჩარჩოს ფორმულას:

$$M_{max} = NBIS$$

ორივე ჩარჩოს ერთ ხვიას ერთი და იგივე პერიმეტრი ჰქონდეს და იგი P-თი აღვნიშნოთ. კვადრატისთვის:

$$a = \frac{P}{4},\ S_{კვ} = a^2 = \frac{P^2}{16}$$

რადგან კვადრატულ ჩარჩოს 2N ხვია აქვს:

$$M_{კვ} = 2NBI \cdot \frac{P^2}{16} = \frac{NBIP^2}{8}$$

წრიული ჩარჩოსთვის:

$$2\pi R = P,\ R = \frac{P}{2\pi}$$

$$S_{წრ} = \pi R^2 = \frac{P^2}{4\pi}$$

რადგან წრიულ ჩარჩოს N ხვია აქვს:

$$M_{წრ} = NBI \cdot \frac{P^2}{4\pi}$$

მომენტების შეფარდება:

$$\frac{M_{კვ}}{M_{წრ}} = \frac{NBIP^2/8}{NBIP^2/(4\pi)} = \frac{\pi}{2}$$

**პასუხი:**

**პირველ შემთხვევაში, ანუ 2N ხვიის მქონე კვადრატულ ჩარჩოზე, მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი π/2-ჯერ მეტია.**

**ამოცანა 8**

ორ წრფივ, პარალელურ გამტარში გადის ერთნაირი სიდიდის დენი: ერთ შემთხვევაში ერთნაირი მიმართულებით და მეორე შემთხვევაში კი საპირისპიროდ (სურ. 2.3.16 ა და ბ). აჩვენეთ თითოეული დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორები გამტარებს შორის ზუსტად შუა პარალელური წრფის C წერტილში და დაადგინეთ ჯამური მაგნიტური ველის ინდუქცია თითოეულ შემთხვევაში, თუ ცნობილია, რომ თითოეული დენი ამ წრფეზე ტოლი მნიშვნელობის 0,2 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველს ქმნის.

**ამოხსნა:**

თითოეული წრფივი დენიანი გამტარის ველის მიმართულებას მარჯვენა ხელის წესით ვადგენთ.

ა) როდესაც დენები ერთნაირი მიმართულებით მიედინება, C წერტილში მარცხენა და მარჯვენა გამტარების მიერ შექმნილი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორები ერთმანეთის საპირისპიროდაა მიმართული. მათი მოდულები ტოლია:

$$B_1 = B_2 = 0{,}2 \text{ ტლ}$$

ამიტომ ჯამური ინდუქციაა:

$$B = B_1 - B_2 = 0$$

ბ) როდესაც დენები საპირისპირო მიმართულებით მიედინება, C წერტილში ორივე გამტარის მიერ შექმნილი ინდუქციის ვექტორი ერთი მიმართულებით — ნახაზის სიბრტყის სიღრმისკენ — არის მიმართული. ამიტომ მათი მოდულები იკრიბება:

$$B = B_1 + B_2 = 0{,}2 + 0{,}2 = 0{,}4 \text{ ტლ}$$

**პასუხი: ა) 0; ბ) 0,4 ტლ.**

## პარაგრაფი №2.4 — მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარსა და მოძრავ მუხტზე

### აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | ამპერის ძალა — მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე | მოსწავლე შეძლებს გაიაზროს მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალის ფიზიკური არსი, გააანალიზოს მისი მოდულის დამოკიდებულება მაგნიტურ ინდუქციაზე, დენის ძალაზე, გამტარის სიგრძეზე, ინდუქციის და დენის მიმართულებას შორის კუთხეზე; განსაზღვროს ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით. | **ძალა; ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტური ურთიერთქმედების თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; ძალის მოქმედებით გამოწვეული შედეგებისა და მათი განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა. |
| 2 | ახალი ცოდნის აგება და გააზრება | ლორენცის ძალა — მაგნიტური ველის მოქმედება მოძრავ მუხტზე | მოსწავლე შეძლებს გაიაზროს მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის არსი, მისი ფორმულის ფიზიკური შინაარსი, ძალის მიმართულების განსაზღვრის წესი და დააკავშიროს ლორენცის ძალა ამპერის ძალასთან. | **ძალა; ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტურ ველში მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალის თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნა. |
| 3 | პრობლემის გადაჭრა და ცოდნის გამოყენება | ამპერისა და ლორენცის ძალა ამოცანებში | მოსწავლე შეძლებს მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ამოცანებში მოცემული ფიზიკური სიტუაციების გაანალიზებას, შესაბამისი ფორმულის შერჩევას, ძალების მიმართულებების დადგენას და მიღებული შედეგების ფიზიკური აზრით შეფასებას. | **ძალა; ფიზიკური პროცესი** — ფიზიკური კანონზომიერებების რაოდენობრივი გამოყენება; პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა და შედეგის დასაბუთება. |

### სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- განმარტოს ამპერის ძალა, როგორც მაგნიტური ველის მიერ დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა;
- გამოიყენოს ამპერის ძალის ფორმულა **F = BIl sinα** და სიტყვიერად განმარტოს მასში შემავალი სიდიდეების ფიზიკური შინაარსი;
- გააანალიზოს, რა შემთხვევაშია ამპერის ძალა მაქსიმალური და რა შემთხვევაშია ნულის ტოლი;
- განსაზღვროს ამპერის ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით;
- განმარტოს ლორენცის ძალა, როგორც მაგნიტური ველის მხრიდან მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალა;
- გამოიყენოს ლორენცის ძალის ფორმულა **Fლ = |q|vB sinα**;

- გაითვალისწინოს ნაწილაკის მუხტის ნიშანი ლორენცის ძალის მიმართულების განსაზღვრისას;
- დააკავშიროს ამპერის ძალა გამტარში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედ ლორენცის ძალებთან;
- მიღებული ცოდნა გამოიყენოს რაოდენობრივი და თვისებრივი ამოცანების ამოსახსნელად.

## სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- ურთიერთქმედების სახეების — გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური — თვისებრივი დახასიათება;
- ადვილად დაკვირვებადი ძალების დაკავშირება მათი მოქმედებით გამოწვეულ შედეგებთან;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების, მათ შორის ელექტრომაგნიტური პროცესების, თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა;
- ნივთიერებისა და ველის თვისებების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეთა გამოყენებით შესაბამისი სიტუაციური, ცხოვრებისეული და პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნა/გადაჭრა;
- ფიზიკის კანონებისა და კანონზომიერებების გამოყენება ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების ასახსნელად და შესაბამისი პრობლემების გადასაჭრელად.

## წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად განმარტავს ამპერისა და ლორენცის ძალების ფიზიკურ არსს; ფორმულებში სწორად ასახელებს შემავალ სიდიდეებს და ადგენს მათ შორის დამოკიდებულებებს; განსაზღვრავს ძალის მიმართულებას შესაბამისი წესით; ხსნის, რატომ არის ამპერის ძალა მაქსიმალური, როდესაც დენის მიმართულება და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ერთმანეთის მართობულია, ხოლო ამპერის ძალა ნულის ტოლი ხდება, თუ დენის მიმართულება და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ერთმანეთის პარალელურია. ამოხსნისას სწორად ირჩევს ამპერისა თუ ლორენცის ძალის შესაბამის ფორმულას, აგებს ძალების ვექტორულ დიაგრამას (სქემას) და აფასებს მიღებულ შედეგს ფიზიკური შინაარსის (აზრის) გათვალისწინებით;

**აქტივობა 1. ამპერის ძალა — მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა გაიაზრონ მაგნიტურ ველში დენიან გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალის არსი, მისი მოდულის განმსაზღვრელი ფაქტორები და ძალის მიმართულების დადგენის წესი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რაზეა დამოკიდებული მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა და როგორ განვსაზღვროთ მისი მიმართულება? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი მოსწავლის წიგნის სურ. 2.4.1–2.4.5-ზე დაყრდნობით განმარტავს, რომ მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედებს ძალა, რომელსაც **ამპერის ძალა** ეწოდება. ყურადღება გამახვილებულია იმ ფაქტზე, რომ ძალის არსებობის მიზეზია დენიანი გამტარისა და გარე მაგნიტური ველის ურთიერთქმედება. შემდეგ ეტაპობრივად განიხილება ძალის მოდულის დამოკიდებულება მაგნიტური ინდუქციის მოდულზე **B**, დენის ძალაზე **I**, მაგნიტურ ველში მოთავსებული გამტარის სიგრძეზე **l** და დენის მიმართულებასა და B ვექტორს შორის **α** კუთხეზე. დაფაზე მიიღება ფორმულა **F = BIl sinα**. თითოეული ფაქტორის განხილვის შემდეგ მოსწავლეები სიტყვიერად განმარტავენ შესაბამის პროპორციულობას. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; მათემატიკური დამოკიდებულების ფიზიკური ინტერპრეტაცია. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — ამპერის ძალის არსი** | მაგნიტური ველი მოქმედებს მასში მოთავსებულ დენიან გამტარზე. ამ მოქმედების შედეგად გამტარმა შეიძლება შეიცვალოს მდებარეობა. მაგნიტური ველის მიერ დენიან გამტარზე მოქმედ ძალას ამპერის ძალა ეწოდება. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — ძალის მოდულის ფორმულა** | ამპერის ძალის მოდული განისაზღვრება ფორმულით **F = BIl sinα**, სადაც **B** არის მაგნიტური ინდუქციის მოდული, **I** — დენის ძალა, **l** — მაგნიტურ ველში მოთავსებული გამტარის სიგრძე, ხოლო **α** — კუთხე დენის მიმართულებასა და B ვექტორს შორის. |
| **ფორმულის ფიზიკური გააზრება** | მოსწავლეები ფორმულიდან ადგენენ: ერთსა და იმავე პირობებში B-ს, I-ს ან l-ის ზრდა ზრდის ამპერის ძალას. თუ **α = 90°**, მაშინ **sinα = 1** და ძალა მაქსიმალურია: **Fmax = BIl**. თუ გამტარი B ვექტორის პარალელურია, **α = 0°** ან **180°**, ამიტომ **sinα = 0** და ამპერის ძალა ნულის ტოლია. |
| **ამპერის ძალის მიმართულება** | მასწავლებელი სურ. 2.4.4-ის მიხედვით განმარტავს მარცხენა ხელის წესს: მარცხენა ხელი ისე უნდა მოვათავსოთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის გამტარის მიმართ მართობული მდგენელი ხელისგულში შედიოდეს, ოთხი გაშლილი თითი კი დენის მიმართულებას ემთხვეოდეს; მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერი გვიჩვენებს ამპერის ძალის მიმართულებას. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ინფორმაციის მიწოდებისას** | • რას ეწოდება ამპერის ძალა? • რა სიდიდეებზეა დამოკიდებული მისი მოდული? • რას აღნიშნავს α კუთხე ფორმულაში? • რა შემთხვევაშია ამპერის ძალა მაქსიმალური? • რა შემთხვევაშია იგი ნულის ტოლი? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულისა და მიმართულების გამოყენებისას** | • როგორ განვსაზღვროთ α კუთხე კონკრეტულ სქემაზე? • როგორ გამოვიყენოთ მარცხენა ხელის წესი ამპერის ძალის მიმართულების დასადგენად? • თუ დენის მიმართულებას შევცვლით, როგორ შეიცვლება ძალის მიმართულება? • თუ B ვექტორის მიმართულებას შევცვლით, როგორ შეიცვლება ძალის მიმართულება? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას** | • რატომ არ მოქმედებს ამპერის ძალა გამტარზე, როცა დენის მიმართულება B ვექტორის პარალელურია? • როგორ შეიძლება ძალის მოდული გავზარდოთ დენის ძალის შეცვლის გარეშე? • რატომ არის მნიშვნელოვანი ფორმულაში არა მხოლოდ B-სა და I-ის, არამედ მიმართულებებს შორის კუთხის გათვალისწინებაც? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ფორმულას არ აწვდის მხოლოდ დასამახსოვრებლად. ცალკეული შემთხვევების განხილვით მოსწავლეებს აყალიბებინებს დამოკიდებულებებს **F ~ B**, **F ~ I**, **F ~ l** და **F ~ sinα**. მიმართულების დადგენისას მოსწავლე ჯერ მიუთითებს B-სა და I-ის მიმართულებებს და მხოლოდ შემდეგ იყენებს მარცხენა ხელის წესს. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 2.4.1–2.4.5; დაფა ან პროექტორი; ამპერის ძალის მიმართულების სქემები; მარცხენა ხელის წესის ვიზუალური ბარათი. |
| **შეფასება** | „ფორმულა — პირობა — მიმართულება“ — მოსწავლეს ეძლევა ერთი მარტივი სქემა. მან უნდა ჩაწეროს შესაბამისი ფორმულა, განსაზღვროს α და მარცხენა ხელის წესით მიუთითოს F ვექტორის მიმართულება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ მარცხენა ხელის წესის ილუსტრირებული ბარათი და ნაწილობრივ შევსებული სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები სქემებს დამოუკიდებლად აანალიზებენ, მაღალი მზაობის მოსწავლეები კი განმარტავენ, როგორ იცვლება ძალა α კუთხის ცვლილებისას. |

## შუალედური დასკვნა

მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედებს ამპერის ძალა. მისი მოდულია

**F = BIl sinα.**

ამპერის ძალა მაქსიმალურია, როდესაც დენის მიმართულება და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ერთმანეთის მართობულია, ხოლო თუ დენის მიმართულება და მაგნიტური ინდუქციის

ვექტორი ერთმანეთის პარალელურია, ამპერის  ძალა ნულის ტოლია. ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით.

**აქტივობა 2. ლორენცის ძალა — მაგნიტური ველის მოქმედება მოძრავ მუხტზე**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა გაიაზრონ მაგნიტურ ველში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის ფიზიკური არსი, მისი მოდულის ფორმულა და მიმართულების განსაზღვრის წესი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; მიმართულებითი აღმოჩენა. |
| **ძირითადი კითხვა** | თუ მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე მოქმედებს, როგორ მოქმედებს იგი ცალკეულ მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი ამპერის ძალიდან გადადის მიკროსკოპულ სურათზე. ვინაიდან ელექტრული დენი დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობაა, გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალა არის არა ცალკე მდგომი მოვლენა, არამედ თითოეულ მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალების ჯამური ეფექტი. მაგნიტური ველის მიერ მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედ ძალას **ლორენცის ძალა** ეწოდება. დაფაზე იწერება ფორმულა $F_ლ = \|q\|vB \sin\alpha$ |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — ლორენცის ძალის ფორმულა** | ლორენცის ძალის მოდულია $F_ლ = \|q\|vB \sin\alpha$ |
| **ფორმულის ფიზიკური გააზრება** | ერთსა და იმავე პირობებში ლორენცის ძალა იზრდება მუხტის მოდულის, სიჩქარისა და მაგნიტური ინდუქციის ზრდასთან ერთად. ძალა მაქსიმალურია $v \perp B$ შემთხვევაში, ხოლო $v \parallel B$ შემთხვევაში ნულის ტოლია. თუ ნაწილაკი უძრავია, $v = 0$, ამიტომ მაგნიტური ველი მასზე ლორენცის ძალით არ მოქმედებს. ამიტომ, ამ შემთხვევაშიც, ლორენცის ძალა ნულის ტოლია. |
| **ლორენცის ძალის მიმართულება** | დადებით მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესის ან შესაბამისი ვექტორული წესის მიხედვით, სადაც დენის მიმართულების ნაცვლად გამოიყენება დადებითი მუხტის მოძრაობის მიმართულება. უარყოფითი მუხტის შემთხვევაში ძალის მიმართულება მიღებული მიმართულების საპირისპიროა. |
| **ამპერისა და ლორენცის ძალების კავშირი** | მასწავლებელი ხაზს უსვამს, რომ დენიანი გამტარის შემთხვევაში მოძრავ მუხტებზე მოქმედი ლორენცის ძალების ერთობლივი მოქმედება მაკროსკოპულ დონეზე ამპერის ძალით ვლინდება. ამგვარად, ორი ძალა ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი მოვლენები კი არა, ერთი მაგნიტური ურთიერთქმედების აღწერაა მხოლოდ სხვადასხვა მასშტაბზე. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცნების შემოტანისას** | • რას ეწოდება ლორენცის ძალა? • რა სიდიდეებზეა დამოკიდებული მისი მოდული? • რას აღნიშნავს α ფორმულაში? • რა შემთხვევაშია ლორენცის ძალა მაქსიმალური? • რა შემთხვევაშია იგი ნულის ტოლი? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ფორმულის გამოყენებისას** | • როგორ განვსაზღვროთ v და B ვექტორებს შორის კუთხე? • როგორ ვადგენთ დადებით მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას? • რა უნდა შევცვალოთ მიმართულების განსაზღვრისას, თუ ნაწილაკის მუხტი უარყოფითია? • როგორ შევარჩიოთ შესაბამისი ფორმულა, თუ ნაწილაკი B ვექტორის მართობულად მოძრაობს? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • იმოქმედებს თუ არა მაგნიტური ველი უძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე ლორენცის ძალით? რატომ? • როგორ შეიცვლება ძალა, თუ ნაწილაკის სიჩქარე ორჯერ გაიზრდება? • როგორ შეიცვლება ძალის მიმართულება ნაწილაკის მუხტის ნიშნის შეცვლისას? • რატომ არის მაგნიტური ძალის (ლორენცის ძალის) მუშაობა ნულის ტოლი, როდესაც იგი ნაწილაკის სიჩქარის (გადაადგილების) მართობულად მოქმედებს? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მუდმივად უსვამს ხაზს განსხვავებას **მუხტის მოდულსა** და **მუხტის ნიშანს** შორის: მოდული განსაზღვრავს ძალის სიდიდეს, ნიშანი კი გავლენას ახდენს მის მიმართულებაზე. ასევე აკავშირებს ლორენცის ძალას ამპერის ძალასთან, რათა მოსწავლემ ორი ფორმულა იზოლირებულად არ დაიმახსოვროს. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 2.4.6–2.4.7; დაფა ან პროექტორი; v, B და F ვექტორების სქემები; მიმართულების განსაზღვრის სამუშაო ბარათები. |
| **შეფასება** | „მუხტი — სიჩქარე — ძალა“ — მოსწავლეს ეძლევა v და B ვექტორების მიმართულებები და ნაწილაკის მუხტის ნიშანი. იგი განსაზღვრავს ლორენცის ძალის მიმართულებას და ერთი წინადადებით ასაბუთებს პასუხს. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ვიზუალური მინიშნებები **q > 0** და **q < 0** შემთხვევებისთვის და წინადადების დასაწყისი: „დადებითი მუხტის შემთხვევაში ძალა მიმართულია..., ხოლო უარყოფითი მუხტის შემთხვევაში...“. შესაძლებელია ზეპირი პასუხის ალტერნატივა. |

## შუალედური დასკვნა

მაგნიტური ველი მოქმედებს მასში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე ლორენცის ძალით:

**Fლ = |q|vB sinα.**

ლორენცის ძალა მაქსიმალურია, როდესაც ნაწილაკის სიჩქარე B ვექტორის მართობულია, ხოლო პარალელური მოძრაობისას ნულის ტოლია. ძალის მიმართულება დამოკიდებულია როგორც v და B ვექტორების მიმართულებებზე, ისე ნაწილაკის მუხტის ნიშანზე.

### აქტივობა 3. ამპერისა და ლორენცის ძალა ამოცანებში

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ორი ამოცანის განხილვით გამოიყენონ ამპერისა და ლორენცის ძალის შესახებ მიღებული ცოდნა, სწორად ააგონ ფიზიკური მოდელი, შეარჩიონ შესაბამისი ფორმულები და გააანალიზონ ძალების მიმართულებები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლება; თანამშრომლობითი სწავლება. |
| **პრობლემური კითხვა** | როგორ გადავიტანოთ ამპერისა და ლორენცის ძალის ფორმულები კონკრეტულ ფიზიკურ სიტუაციაზე ისე, რომ სწორად გავითვალისწინოთ ძალების მიმართულებები, კუთხეები და მოცემული პირობები? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მოსწავლეები მუშაობენ წყვილებში. ორივე ამოცანაში პირველ ეტაპზე ქმნიან ნახაზს და ადგენენ, რომელი ძალები მოქმედებს სხეულზე ან ნაწილაკზე. მხოლოდ ამის შემდეგ წერენ შესაბამის ფორმულებს. მასწავლებელი განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს ვექტორული სურათის შექმნას და იმას, რომ რიცხვითი გამოთვლა არ დაიწყონ სიტუაციის ფიზიკური გააზრების გარეშე. **განვითარებადი უნარები:** პრობლემის გადაჭრა; მონაცემების გაანალიზება. |
| **ამოცანა 1 — დენიანი გამტარი მაგნიტურ ველში** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის პირველ ამოცანაში განიხილება ჰორიზონტალურად მოთავსებული დენიანი გამტარი **B = 0,8 ტლ** ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. მოცემულია გამტარის მასა **m = 40 გ**, სიგრძე **l = 1 მ** და დენის ძალა **I = 2 ა**. მოსწავლეებმა უნდა გააანალიზონ გამტარზე მოქმედი სიმძიმისა და ამპერის ძალები, ააგონ მათი ვექტორული სურათი და შესაბამისი პირობის გამოყენებით განსაზღვრონ საძიებელი სიდიდე. |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ამოცანა 1** | 1. გამოყავით მოცემული სიდიდეები: **B, m, l, I**. 2. დახაზეთ გამტარზე მოქმედი ძალები — სიმძიმის ძალა **mg** და ამპერის ძალა **Fა**. 3. გამოიყენეთ წონასწორობის შესაბამისი პირობა, როდესაც ამპერის ძალის ვერტიკალური მდგენელი სიმძიმის ძალას აბალანსებს. 4. ჩაწერეთ **Fა = BIl sinα**. 5. საჭიროების მიხედვით გამოიყენეთ **BIl sinα = mg**. 6. გამოთვლის შემდეგ გადაამოწმეთ, ფიზიკურად და მათემატიკურად შესაძლებელია თუ არა მიღებული **sinα**-ს მნიშვნელობა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **ამოცანა 2 — მოძრავი დამუხტული ნაწილაკები მაგნიტურ ველში** | მოსწავლის წიგნის მეორე ამოცანაში ერთსა და იმავე ინდუქციის მაგნიტურ ველში განიხილება ორი დამუხტული ნაწილაკი. მოცემულ მასებსა და მუხტებს შორის თანაფარდობების გამოყენებით მოსწავლეებმა უნდა შეადარონ ნაწილაკებზე მოქმედი ლორენცის ძალები და მათი მოძრაობის შესაბამისი მახასიათებლები. |
| **ამოხსნის ორგანიზება — ამოცანა 2** | 1. ჩაწერეთ ორივე ნაწილაკისთვის ლორენცის ძალა. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოცანების დაწყებისას** | • რა ფორმულით განისაზღვრება ამპერის ძალა? • რა ფორმულით განისაზღვრება ლორენცის ძალა? • როგორია სიმძიმის ძალის ფორმულა? • რაზეა დამოკიდებული ლორენცის ძალის მოდული? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ამოხსნისას** | • რატომ ვიწყებთ პირველ ამოცანას ძალების ვექტორული დიაგრამით? • როგორ განვსაზღვროთ, რომელი მდგენელი უნდა აბალანსებდეს სიმძიმის ძალას? • რატომ არის მეორე ამოცანაში მოსახერხებელი ძალების შეფარდების დაწერა? • როგორ გამოვიყენებთ **a = F/m** კავშირს, თუ საჭიროა აჩქარებების შედარება? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას** | • რა შეიცვლებოდა პირველ ამოცანაში, დენის ძალა ორჯერ მეტი რომ ყოფილიყო? • შესაძლებელი იქნებოდა თუ არა წონასწორობა, თუ მაქსიმალური ამპერის ძალაც სიმძიმის ძალაზე ნაკლები აღმოჩნდებოდა? • მეორე ამოცანაში რომელი მონაცემები ხდება ზედმეტი, თუ მოსაძებნია მხოლოდ ძალების შეფარდება, ხოლო ორივე ნაწილაკი მაგნიტურ ველში ტოლი სიჩქარითა და ერთნაირი კუთხით მოძრაობს? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი რიცხვით პასუხს წინასწარ არ აძლევს. პირველ ამოცანაში მოსწავლეებს სთხოვს ჯერ გამოყონ ყველა მოქმედი ძალა და მხოლოდ შემდეგ დაწერონ წონასწორობის პირობა. მეორე ამოცანაში ყურადღებას ამახვილებს შეფარდებების მეთოდზე და მოსწავლეებს აჩვენებს, რომ საერთო ფაქტორების შეკვეცა ამოცანის ამოხსნას ამარტივებს. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის საკლასო აქტივობის ორი ამოცანა; დაფა; კალკულატორი; მარცხენა ხელის წესის ბარათი; სამუშაო ფურცელი „მოცემულია — ძალების სქემა — ფორმულა — გამოთვლა — პასუხი“. |
| **შეფასება** | ურთიერთშეფასება — „შეამოწმე ოთხი ნაბიჯი“: 1) სწორადაა თუ არა აგებული ძალების სქემა; 2) სწორადაა შერჩეული ფორმულა; 3) გათვალისწინებულია თუ არა კუთხე და მიმართულება; 4) პასუხს ახლავს თუ არა ფიზიკური დასაბუთება. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს პირველ ამოცანაში ეძლევათ ნაწილობრივ შევსებული ძალების დიაგრამა, ხოლო მეორე ამოცანაში — თანაფარდობის დასაწყისი $F_1/F_2 = \ldots$. სტანდარტული მზაობის მოსწავლეები ამოხსნას დამოუკიდებლად აწყობენ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, როგორ შეიცვლება პასუხი ერთ-ერთი პარამეტრის ცვლილებისას. |

## შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ძირითად დებულებებს:

- მაგნიტურ ველში დენიან გამტარზე მოქმედებს ამპერის ძალა;
- ამპერის ძალის მოდულია **F = BIl sinα**;
- ამპერის ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით;
- მაგნიტურ ველში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს ლორენცის ძალა;
- ლორენცის ძალის მოდულია **Fლ = |q|vB sinα**;
- დადებითი და უარყოფითი მუხტებისთვის ლორენცის ძალის მიმართულებები ურთიერთ-საპირისპიროა, თუ v და B სიდიდეების მნიშვნელობები არ იცვლება.
- ამპერის ძალა შეიძლება განვიხილოთ გამტარში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედი ლორენცის ძალების ჯამურ გამოვლინებად;
- ამოცანის ამოხსნისას აუცილებელია არა მხოლოდ ფორმულის შერჩევა, არამედ ძალების მიმართულებებისა და მოქმედების პირობების გააზრებაც.

## სასურველი დასკვნა

მაგნიტური ველი მოქმედებს როგორც დენიან გამტარზე, ისე მასში მოძრავ ცალკეულ დამუხტულ ნაწილაკებზე. დენიან გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალა განისაზღვრება ფორმულით **F = BIl sinα**, ხოლო მოძრავ მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალა — **Fლ = |q|vB sinα**. ორივე შემთხვევაში ძალის მოდული დამოკიდებულია მაგნიტური ინდუქციის მოდულზე, (დენის ან სიჩქარის) მიმართულებასა და B ვექტორს შორის კუთხეზე. ძალის სრულად დასახასიათებლად საჭიროა როგორც მისი მოდულის გამოთვლა, ისე მიმართულების განსაზღვრა.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

## „ერთი შემთხვევა — ერთი არგუმენტი“

მასწავლებელი მოსწავლეებს აჩვენებს ოთხ სიტუაციას:

1. დენიანი გამტარი B ვექტორის პარალელურია;
2. დენიანი გამტარი B ვექტორის მართობულია;
3. დადებითი მუხტი B ვექტორის მართობულად მოძრაობს;
4. უარყოფითი მუხტი იმავე მიმართულებით მოძრაობს.

მოსწავლემ თითოეულ შემთხვევაში უნდა დაადგინოს:

- მოქმედებს თუ არა მაგნიტური ძალა;
- თუ მოქმედებს — მაქსიმალურია თუ არა მისი მოდული;
- რა მიმართულება აქვს ძალას.

შეფასების კრიტერიუმები: ფორმულის პირობის სწორად გამოყენება; მიმართულების განსაზღვრა; პასუხის ფიზიკური დასაბუთება.

## მასწავლებლის ინსტრუქცია

ყურადღება გაამახვილეთ იმაზე, რომ მოსწავლეებმა ფორმულებში **α** სწორად განსაზღვრონ: ამპერის ძალის შემთხვევაში ეს არის კუთხე დენის მიმართულებასა და **B** ვექტორს შორის, ხოლო ლორენცის ძალის შემთხვევაში — ნაწილაკის სიჩქარის **v** ვექტორსა და **B** ვექტორს შორის. ძალის მიმართულების განსაზღვრა ყოველთვის მოსთხოვეთ ცალკე, რადგან ფორმულა მხოლოდ ძალის მოდულს გვაძლევს.

## მასწავლებლისთვის — საკლასო აქტივობის ამოცანების ამოხსნის ორგანიზება

### ამოცანა 1

პირველ რიგში აგებულია გამტარზე მოქმედი ძალების ვექტორული დიაგრამა. გამტარზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა **mg** და მაგნიტური ველის მიერ გამოწვეული ამპერის ძალა.

წონასწორობის შესაბამის შემთხვევაში:

**Fა = mg**

ამპერის ძალისთვის:

**Fა = BIl sinα**

ამიტომ:

**BIl sinα = mg**

საიდანაც:

**sinα = mg/(BIl).**

მოცემული მონაცემები SI ერთეულებში:

**B = 0,8 ტლ**
**m = 40 გ = 0,04 კგ**
**l = 1 მ**
**I = 2 ა**

მიღებული დამოკიდებულებიდან განისაზღვრება შესაბამისი კუთხე. საბოლოო პასუხის წარმოდგენისას მოსწავლემ აუცილებლად უნდა მიუთითოს ძალების მიმართულებები და განმარტოს, რომ წონასწორობისთვის ამპერის ძალის შესაბამისი მდგენელი სიმძიმის ძალას უნდა აბალანსებდეს.

### ამოცანა 2

ორივე ნაწილაკისთვის გამოიყენება ლორენცის ძალის ფორმულა:

$F_1 = |q_1|v_1B \sin\alpha_1$

$F_2 = |q_2|v_2B \sin\alpha_2$

თუ ამოცანის პირობით ნაწილაკები ერთსა და იმავე მაგნიტურ ველში, ერთნაირი სიჩქარითა და ერთნაირი კუთხით მოძრაობენ, შეფარდებისას საერთო სიდიდეები იკვეცება და მივიღებთ:

$F_1/F_2 = |q_1|/|q_2|$.

თუ შემდგომ საჭიროა აჩქარებების შედარება, გამოიყენება:

$a = F/m$

და შესაბამისად:

$a_1/a_2 = (F_1/F_2) \cdot (m_2/m_1)$.

ამ გზით მოსწავლე მუხტებისა და მასების მოცემული თანაფარდობებიდან ადგენს როგორც ლორენცის ძალების, ისე ნაწილაკების აჩქარებების შეფარდებას.

**მოსწავლის წიგნში პარაგრაფის ბოლოს მოცემულ კითხვებზე პასუხები:**

1. **რა განსხვავებაა მაგნიტური ველის მხრიდან მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალისა და ელექტრული ძალის ბუნებას შორის?**
   მაგნიტური ველი მოქმედებს მოძრავ მუხტზე და მისი მოქმედება დამოკიდებულია მუხტის მოძრაობის მიმართულებაზე. მაგნიტური ძალა მუხტის სიჩქარის მართობულია, ამიტომ იგი მუშაობას არ ასრულებს, არ ცვლის ნაწილაკის კინეტიკურ ენერგიასა და სიჩქარის მოდულს — მხოლოდ მოძრაობის მიმართულებას ცვლის. ელექტრული ძალის მოქმედება კი მუხტის მოძრაობის არსებობასა და მიმართულებაზე ასე არ არის დამოკიდებული.
2. **როგორ უნდა მოვათავსოთ დენიანი გამტარი მაგნიტურ ველში, რომ მასზე მოქმედი ამპერის ძალის მოდული მაქსიმალური იყოს? ნულის ტოლი იყოს?**
   ამპერის ძალა მაქსიმალური იქნება, როცა დენიანი გამტარი მაგნიტური ინდუქციის მიმართულების მართობულად იქნება მოთავსებული. ძალა ნულის ტოლი იქნება, როცა გამტარში დენის მიმართულება მაგნიტური ინდუქციის მიმართულების თანხვედრილი ან საპირისპირო იქნება.
3. **რა შემთხვევაში იმოქმედებს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ მუხტზე მაქსიმალური ლორენცის ძალა?**
   ლორენცის ძალა მაქსიმალური იქნება მაშინ, როდესაც დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულად მოძრაობს.
4. **რა შემთხვევაში არ იმოქმედებს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ მუხტზე ლორენცის ძალა?**
   ლორენცის ძალა არ იმოქმედებს, თუ დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტური ინდუქციის წირების გასწვრივ ან მათ საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობს.
5. **ერთმანეთის მიმართ როგორ უნდა მოძრაობდნენ სხვადასხვანიშნიანი დამუხტული ნაწილაკები მაგნიტურ ველში, რომ მათზე ერთი და იმავე მიმართულების ლორენცის ძალამ იმოქმედოს?**
   დადებით და უარყოფით მუხტებზე ერთნაირი მიმართულების ლორენცის ძალა რომ მოქმედებდეს, ისინი ერთმანეთის საპირისპირო მიმართულებით უნდა მოძრაობდნენ. მიზეზი ისაა, რომ უარყოფითი მუხტის შემთხვევაში ლორენცის ძალის მიმართულების განსაზღვრისას მისი მოძრაობის საპირისპირო მიმართულება გაითვალისწინება.

**საშინაო აქტივობის პასუხები/ამოცანების ამოხსნები:**

**ამოცანა 1**

$B = 0{,}4$ ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირების მართობულად მოთავსებულია სწორი დენიანი გამტარი, რომელშიც 1 ა დენი გადის. რა ძალით მოქმედებს ველი ამ გამტარის $L = 50$ სმ სიგრძის უბანზე?

**ამოხსნა:**

გამტარი მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულია, ამიტომ დენსა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს შორის კუთხე 90°-ია. ამპერის ძალის ფორმულიდან:

$$F = BIL$$

$L = 50$ სმ = 0,5 მ

$F = 0{,}4 \cdot 1 \cdot 0{,}5 = 0{,}2$ ნ

**პასუხი:**

**0,2 ნ.**

**ამოცანა 2**

სწორი დენიანი გამტარის 40 სმ სიგრძის უბანზე მისი მართობული ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი 1 ნ ძალით მოქმედებს. რისი ტოლია მაგნიტური ველის ინდუქცია, თუ გამტარში 2 ა დენი გადის?

**ამოხსნა:**

რადგან მაგნიტური ველი გამტარის მართობულია:

$$F = BIL$$

$L = 40$ სმ = 0,4 მ

$B = \frac{F}{IL} = \frac{1}{2 \cdot 0{,}4} = 1{,}25$ ტლ

**პასუხი:**

**1,25 ტლ.**

**ამოცანა 3**

სწორი დენიანი გამტარის 80 სმ სიგრძის უბანზე 0,5 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი 0,4 ნ ძალით მოქმედებს. რისი ტოლია კუთხე გამტარსა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს შორის, თუ გამტარში 2 ა დენი გადის?

**ამოხსნა:**

ამპერის ძალის მოდულია:

$$F = BIL\,sin\alpha$$

$L = 80$ სმ = 0,8 მ

$$sin\alpha = \frac{F}{BIL} = \frac{0{,}4}{0{,}5 \cdot 2 \cdot 0{,}8} = 0{,}5$$

$$\alpha = 30°$$

**პასუხი: 30°.**

**ამოცანა 4**

$B = 0{,}5$ ტლ ინდუქციის ჰორიზონტალურ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირების მართობულად, ორ ძაფზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში დაკიდებულია $m = 60$ გ მასის და
$L = 80$ სმ სიგრძის სპილენძის სწორი მავთული . მოქნილი, მსუბუქი მიმყვანი სადენებით მავთულში გაატარეს ისეთი მიმართულების
$I = 1$ ა დენი, რომ ძაფების დაჭიმულობა შემცირდა (ძაფები ვერტიკალურ მდგომარეობაშია). რისი ტოლია ამ დროს თითოეული ძაფის დაჭიმულობის ძალა? $g = 10$ მ/წმ$^2$.

**ამოხსნა:**

ძაფების დაჭიმულობა შემცირდა, ამიტომ ამპერის ძალა ზევითაა მიმართული და სიმძიმის ძალის ნაწილს აბალანსებს.

$m = 0{,}06$ კგ

$L = 0{,}8$ მ

$F = BIL = 0{,}5 \cdot 1 \cdot 0{,}8 = 0{,}4$ ნ

$mg = 0{,}06 \cdot 10 = 0{,}6$ ნ

წონასწორობის პირობაა:

$$2T + F = mg$$

$T = \frac{mg - F}{2} = \frac{0{,}6 - 0{,}4}{2} = 0{,}1$ ნ

**პასუხი:**

**0,1 ნ.**

**ამოცანა 5**

$B = 0{,}4$ ტლ ინდუქციის ვერტიკალურად ქვევით მიმართულ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ორ ძაფზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში დაკიდეს $L$
$= 60$ სმ სიგრძის სპილენძის სწორი მავთული. როდესაც მოქნილი, მსუბუქი მიმყვანი სადენებით მავთულში $I = 1{,}5$ ა დენი გაატარეს, იგი ისე გადაიხარა, რომ ძაფებმა ვერტიკალთან 30°-იანი კუთხე შექმნეს. რა ძალით დაიჭიმა ამ დროს თითოეული ძაფი? (ორივე ძაფი მავთულის მართობულია).

**ამოხსნა:**

მავთული მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულია, ამიტომ ამპერის ძალაა:

$$F = BIL$$

$L = 0{,}6$ მ

$F = 0{,}4 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}6 = 0{,}36$ ნ

ამპერის ძალა ჰორიზონტალურადაა მიმართული. ორი ერთნაირი დაჭიმულობის ძალის ჰორიზონტალური მდგენელების ჯამი ამპერის ძალას აბალანსებს:

$$2T\,sin30° = F$$

$T = \frac{F}{2\,sin30°} = \frac{0{,}36}{2 \cdot 0{,}5} = 0{,}36$ ნ

**პასუხი:**

**0,36 ნ.**

**ამოცანა 6**

$10^7$ მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ელექტრონი შეიჭრა 0,8 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირებისადმი 30°-იანი კუთხით. იპოვეთ მაგნიტური ველის მხრიდან ელექტრონზე მოქმედი ძალა.

**ამოხსნა:**

მაგნიტური ველის მხრიდან მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალის მოდულია:

$$F = qvB\,sin\alpha$$

აქ q აღნიშნავს მუხტის მოდულს. ელექტრონისთვის:

$q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ

მნიშვნელობების ჩასმით:

$F = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^7 \cdot 0{,}8 \cdot sin30° = 6{,}4 \cdot 10^{-13}$ ნ

**პასუხი:**

**$6{,}4 \cdot 10^{-13}$ ნ.**

**ამოცანა 7**

დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობს 0,2 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წრეწირზე, $10^7$ მ/წმ სიჩქარით. ველი მასზე მოქმედებს $3{,}2 \cdot 10^{-13}$ ნ ძალით. იპოვეთ ამ ნაწილაკის მუხტის მოდული. თქვენთვის ცნობილი რომელი ნაწილაკი შეიძლება იყოს ეს?

**ამოხსნა:**

ნაწილაკი წრეწირზე მოძრაობს, ამიტომ მისი სიჩქარე მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობულია:

$$F = qvB$$

$q = \frac{F}{vB} = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-13}}{10^7 \cdot 0{,}2} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ

მიღებული მნიშვნელობა ელემენტარული მუხტის მოდულის ტოლია. სახელმძღვანელოში უკვე განხილული ნაწილაკებიდან ასეთი მუხტის მოდული აქვთ ელექტრონსა და პროტონს.

**პასუხი:**

**$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ; ნაწილაკი შეიძლება იყოს ელექტრონი ან პროტონი.**

**ამოცანა 8**

α ნაწილაკი 83 მტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში შემოწერს 10 სმ რადიუსის წრეწირს. იპოვეთ α ნაწილაკის სიჩქარე. მიიჩნიეთ, რომ $m\alpha = 6{,}64 \cdot 10^{-27}$ კგ.

**ამოხსნა:**

წრეწირზე მოძრაობისას ლორენცის ძალა ცენტრისკენული ძალის როლს ასრულებს:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

აქედან:

$$v = \frac{qBR}{m}$$

α ნაწილაკის მუხტის მოდულია ორი ელემენტარული მუხტი:

$q = 2e = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ კ

$B = 0{,}083$ ტლ

$R = 0{,}1$ მ

$v = \frac{3{,}2\cdot10^{-19}\cdot0{,}083\cdot0{,}1}{6{,}64\cdot10^{-27}} = 4\cdot10^{5}$ მ/წმ

**პასუხი:**

**$4\cdot10^{5}$ მ/წმ.**

**ამოცანა 9***

ერთი და იმავე კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონი და α ნაწილაკი შეიჭრა ერთი და იმავე ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირების მართობულად. შეადარეთ ერთმანეთს მათი ორბიტების რადიუსები.

**ამოხსნა:**

წირების მართობულად მოძრავი ნაწილაკის ორბიტის რადიუსია:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

აქ q მუხტის მოდულია. პროტონსა და α ნაწილაკს ერთნაირი კინეტიკური ენერგია აქვს, ამიტომ:

$$mp\cdot vp^2 = m\alpha\cdot v\alpha^2$$

α ნაწილაკისთვის სახელმძღვანელოში მოცემულია:

$$m\alpha = 4mp,\ q\alpha = 2qp$$

ამიტომ სიჩქარეებისთვის მივიღებთ:

$$vp = 2v\alpha$$

პროტონის ორბიტის რადიუსი:

$$Rp = \frac{mp\cdot vp}{qpB} = \frac{2mp\cdot v\alpha}{qpB}$$

α ნაწილაკის ორბიტის რადიუსი:

$$R\alpha = \frac{4mp\cdot v\alpha}{2qpB} = \frac{2mp\cdot v\alpha}{qpB}$$

$$R\alpha = Rp$$

**პასუხი:**

**Rα = Rp.**

**ამოცანა 10***

სივრცეში ერთდროულად შექმნილია E დაძაბულობის და B ინდუქციის ურთიერთმართობული, ერთგვაროვანი ელექტრული და მაგნიტური ველები. ამ სივრცეში წრფივად და თანაბრად მოძრაობს ელექტრონი, მინიმალური შესაძლო v სიჩქარით. შეადგინეთ v, B და E ვექტორების ურთიერთგანლაგების შესაბამისი ნახაზი და იპოვეთ ამ სიჩქარის მოდული (ელექტრონზე მოქმედი სიმძიმის ძალა უგულებელყავით).

**ამოხსნა:**

ელექტრონი წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, ამიტომ მასზე მოქმედი ელექტრული და მაგნიტური ძალები ერთმანეთს უნდა აბალანსებდეს. ძალების მოდულებისთვის:

$$qE = qvB\ sin\alpha$$

$$v = \frac{E}{B\ sin\alpha}$$

სიჩქარე მინიმალური იქნება მაშინ, როდესაც sinα მაქსიმალურია, ანუ sinα = 1 და α = 90°. მაშასადამე, სიჩქარის ვექტორი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობულია.

$$v = \frac{E}{B}$$

ვექტორები უნდა განლაგდეს ისე, რომ ელექტრული და მაგნიტური ძალები ურთიერთსაპირისპირო იყოს.

**პასუხი:**

**v = E/B.**

## პარაგრაფი №2.5 — დედამიწის მაგნიტური ველი. კომპასი. პოლარული ციალი

## აქტივობების მოკლე მიმოხილვა

| № | გაკვეთილი/ეტაპი | აქტივობის დასახელება | აქტივობის მიზანი | სამიზნე ცნება/ცნებები და ინდიკატორები |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ახალი ცოდნის აგება და ვიზუალური გააზრება | დედამიწის მაგნიტური ველი — დედამიწა, როგორც გიგანტური მაგნიტი | მოსწავლე შეძლებს შესაბამისი სურათებისა და ვიდეორგოლის საფუძველზე გაიაზროს დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობა, დედამიწის მაგნიტური პოლუსების განლაგება და კომპასის მაგნიტური ისრის ორიენტაციის მიზეზი. | **ნივთიერება და ველი** — მაგნიტური ველის თვისებების ზოგადი აღწერა; მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტისა და მის მიერ შექმნილი ველის დაკავშირება. |
| 2 | ახალი ცოდნის აგება და მოვლენაზე დაკვირვება | პოლარული ციალი — მზიდან მოსული ნაწილაკები და დედამიწის მაგნიტური ველი | მოსწავლე შეძლებს ვიდეორგოლისა და სურათების საფუძველზე ზოგადად ახსნას, როგორ უკავშირდება პოლარული ციალის წარმოქმნა მზიდან მოსულ დამუხტულ ნაწილაკებს, დედამიწის მაგნიტურ ველსა და ატმოსფეროს ზედა ფენებს. | **ფიზიკური პროცესი; ნივთიერება და ველი** — ელექტრომაგნიტური პროცესის თვისებრივი დახასიათება და პროცესის მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება. |
| 3 | ცოდნის განმტკიცება, განზოგადება და შეფასება | დედამიწის მაგნიტური ველი — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი | მოსწავლე შეძლებს დედამიწის მაგნიტური ველის, კომპასის მუშაობისა და პოლარული ციალის შესახებ მიღებული ცოდნის გაერთიანებას, მიზეზ–შედეგობრივი კავშირების ახსნას და ცოდნის გამოყენებას ახალ სიტუაციებში. | **ნივთიერება და ველი; ფიზიკური პროცესი** — მაგნიტური მოვლენების თვისებრივი დახასიათება; ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება. |

## სასწავლო შედეგები - მოსწავლე შეძლებს:

- აღწეროს დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობის ძირითადი ნიშნები;
- გაიაზროს დედამიწა, როგორც მაგნიტური ველის შემქმნელი სხეული;
- განასხვავოს დედამიწის გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები;
- ახსნას, რატომ ორიენტირდება თავისუფალი მაგნიტური ისარი ჩრდილოეთ–სამხრეთის მიმართულებით;
- განმარტოს კომპასის მუშაობის პრინციპი დედამიწის მაგნიტურ ველთან კავშირში;

- სურათებისა და ვიდეორგოლის მიხედვით ზოგადად აღწეროს პოლარული ციალის წარმოქმნის მექანიზმი;
- დააკავშიროს მზიდან მოსული დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა დედამიწის მაგნიტურ ველთან და ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებთან;
- გამოიყენოს მიღებული ცოდნა მაგნიტურ მოვლენებთან დაკავშირებული მარტივი სიტუაციების ასახსნელად.

### სტანდარტის შესაბამისი ინდიკატორები

- გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური ველის შემქმნელი ობიექტების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების დაკავშირება მათ მიერ შექმნილ ველებთან; აღნიშნული ველების თვისებების ზოგადი აღწერა;
- ურთიერთქმედების სახეების — გრავიტაციული, ელექტრული და მაგნიტური — თვისებრივი დახასიათება; ბუნების მოვლენების მიმდინარეობაში ამ ურთიერთქმედებების როლისა და მნიშვნელობის შესახებ მსჯელობა ადვილად დაკვირვებად მაგალითებზე დაყრდნობით;
- ფიზიკური მოვლენებისა და პროცესების, მათ შორის ელექტრომაგნიტური პროცესების, თვისებრივი და რაოდენობრივი დახასიათება;
- ფიზიკური პროცესის გამომწვევი მიზეზებისა და შედეგების ერთმანეთთან დაკავშირება და ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების ახსნა;
- ფიზიკური ცოდნის დაკავშირება ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებთან და თანამედროვე ტექნოლოგიურ პროცესებთან.

### წარმატების კრიტერიუმები

მოსწავლე სწორად აღწერს დედამიწის მაგნიტური ველის ძირითად მახასიათებლებს და ერთმანეთისგან განასხვავებს გეოგრაფიულ და მაგნიტურ პოლუსებს. იგი კომპასის მოქმედების პრინციპს უკავშირებს დედამიწის მაგნიტურ ველს, ხოლო პოლარული ციალის წარმოქმნას ხსნის მზიდან მოსული დამუხტული ნაწილაკების, მაგნიტური ველისა და ატმოსფეროს ურთიერთქმედებით. მსჯელობისას მკაფიოდ აყალიბებს მიზეზ-შედეგობრივ კავშირებს.

**აქტივობა 1. დედამიწის მაგნიტური ველი — დედამიწა, როგორც გიგანტური მაგნიტი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | შესაბამისი ვიდეორგოლის, ილუსტრაციებისა და სქემების გამოყენებით მოსწავლეებმა გაიაზრონ დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობა, მაგნიტური პოლუსების განლაგება და კომპასის მაგნიტური ისრის ორიენტაციის მიზეზი. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ინტერაქტიული მინი-ლექცია; ვიზუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | რატომ ორიენტირდება თავისუფლად მოძრავი კომპასის მაგნიტური ისარი დედამიწის ზედაპირზე განსაზღვრული მიმართულებით? |
| **აქტივობის განხორციელება** | აქტივობა იწყება დედამიწის მაგნიტური ველის ამსახველი მოკლე ვიდეორგოლის ან ანიმაციის ჩვენებით. მასწავლებელი სთხოვს მოსწავლეებს დააკვირდნენ დედამიწის მაგნიტური ინდუქციის წირების ფორმას და გაიხსენონ, ადრე შესწავლილ რომელ სხეულთან აქვს მსგავსება დედამიწის გარშემო გამოსახულ მაგნიტურ ველს. სურ. 2.5.2-ის გამოყენებით მასწავლებელი განმარტავს, რომ დედამიწას აქვს საკუთარი მაგნიტური ველი და მისი სივრცული სურათი გარკვეულწილად ზოლისებრი მაგნიტის ველს ჰგავს. შემდეგ სურ. 2.5.3-ზე დაყრდნობით განიხილება გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსების მდებარეობა და ხაზგასმულია, რომ ისინი ზუსტად არ ემთხვევა ერთმანეთს. ბოლოს მოსწავლეები კომპასის მუშაობას უკავშირებენ დედამიწის მაგნიტურ ველში მაგნიტური ისრის ორიენტაციას. **განვითარებადი უნარები:** ვიზუალური ინფორმაციის გაანალიზება; მიზეზ–შედეგობრივი კავშირის დადგენა. |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — დედამიწის მაგნიტური ველი** | დედამიწის გარშემო არსებობს მაგნიტური ველი. მისი მაგნიტური ინდუქციის წირების სურათი გარკვეულ მსგავსებას ამჟღავნებს ზოლისებრი მაგნიტის მაგნიტური ველის წირებთან. სწორედ ამ ველის მოქმედების შედეგად იკავებს თავისუფლად მოძრავი მაგნიტური ისარი განსაზღვრულ მიმართულებას. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები** | დედამიწის მაგნიტური ღერძი გეოგრაფიულ ღერძს ზუსტად არ ემთხვევა. შესაბამისად, მაგნიტური პოლუსებიც გეოგრაფიულ პოლუსებთან ზუსტად არ არის თანხვედრილი. მასწავლებელი შესაბამისი ნახაზით აჩვენებს ამ განსხვავებას და განმარტავს, რომ დედამიწის მაგნიტური პოლუსების მდებარეობა დროთა განმავლობაში გარკვეულ ცვლილებასაც განიცდის. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — კომპასი** | კომპასის ძირითადი ნაწილი თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისარია. დედამიწის მაგნიტური ველი მოქმედებს მასზე, რის გამოც ისარი დაახლოებით ჩრდილოეთ–სამხრეთის მიმართულებით ორიენტირდება. ეს თვისება სივრცეში ორიენტირებისთვის გამოიყენება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ინფორმაციის მიწოდებისას** | • აქვს თუ არა დედამიწას საკუთარი მაგნიტური ველი?<br>• როგორია დედამიწის მაგნიტური ველის წირების განლაგება?<br>• ემთხვევა თუ არა ერთმანეთს დედამიწის გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები?<br>• რა არის კომპასის ძირითადი ნაწილი?<br>• რა განაპირობებს კომპასის ისრის გარკვეული მიმართულების გარკვეულ ორიენტაციას? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სურათების გაანალიზებისას** | • როგორ მივხვდით სურ. 2.5.2-დან, რომ დედამიწის ველი ზოლისებრი მაგნიტის ველს ჰგავს? • როგორ განვასხვავოთ ნახაზზე გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები? • როგორ გამოვიყენებთ კომპასს მიმართულების დასადგენად? • რატომ უნდა დაველოდოთ კომპასის ისრის დამშვიდებას მიმართულების წაკითხვამდე? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის გამოყენებისას** | • რატომ შეიძლება კომპასის ჩვენება შეიცვალოს ძლიერი მაგნიტის ან დენიანი მოწყობილობის სიახლოვეს? • იმუშავებდა თუ არა ჩვეულებრივი კომპასი დედამიწას საკუთარი მაგნიტური ველი რომ არ ჰქონოდა? • რატომ არ შეიძლება კომპასის მიერ მითითებული მიმართულება ავტომატურად გავაიგივოთ ზუსტად გეოგრაფიულ ჩრდილოეთთან? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი მუდმივად აკავშირებს ახალ ინფორმაციას წინა პარაგრაფებში განხილულ ზოლისებრი მაგნიტისა და მაგნიტური ინდუქციის წირების სურათთან. მოსწავლეებს სთხოვს თავად აღმოაჩინონ მსგავსებები და განსხვავებები. გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსების განხილვისას განსაკუთრებით აკონტროლებს ტერმინების სწორ გამოყენებას. |
| **რესურსები** | დედამიწის მაგნიტური ველის შესახებ მოკლე ვიდეორგოლი/ანიმაცია; მოსწავლის წიგნის სურ. 2.5.2–2.5.4; კომპასი; პროექტორი ან ინტერაქტიული დაფა. |
| **შეფასება** | „ნახატი + ერთი ახსნა“ — მოსწავლე დედამიწის სქემაზე მონიშნავს მაგნიტური ველის ზოგად მიმართულებას და ერთი–ორი წინადადებით ხსნის, რატომ ორიენტირდება კომპასის ისარი. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ ფერებით კოდირებული სქემა, რომელზეც ცალ-ცალკეა აღნიშნული **გეოგრაფიული ღერძი** და **მაგნიტური ღერძი**. მოსწავლე ავსებს ორ გამოტოვებულ წარწერას და წინადადების დასაწყისს: „კომპასის ისარი ორიენტირდება, რადგან...“. |

## შუალედური დასკვნა

დედამიწას საკუთარი მაგნიტური ველი აქვს. მისი მაგნიტური ღერძი და მაგნიტური პოლუსები ზუსტად არ ემთხვევა დედამიწის გეოგრაფიულ ღერძსა და პოლუსებს. კომპასის მაგნიტური ისარი დედამიწის მაგნიტური ველის მოქმედებით ორიენტირდება და ამიტომ კომპასი სივრცეში მიმართულების დასადგენად გამოიყენება.

**აქტივობა 2. პოლარული ციალი — მზიდან მოსული ნაწილაკები და დედამიწის მაგნიტური ველი**

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა ვიდეორგოლისა და მოსწავლის წიგნის შესაბამისი სურათების საფუძველზე ზოგად დონეზე გაიაზრონ პოლარული ციალის წარმოქმნის მექანიზმი და მისი კავშირი დედამიწის მაგნიტურ ველთან. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | ვიზუალური სწავლება; ინტერაქტიული მინი-ლექცია. |
| **ძირითადი კითხვა** | რა კავშირია მზიდან დედამიწისკენ მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებს, დედამიწის მაგნიტურ ველსა და პოლარულ ციალს შორის? |
| **აქტივობის განხორციელება** | მასწავლებელი აჩვენებს პოლარული ციალის მოკლე ვიდეორგოლს და მოსწავლეებს სთხოვს აღწერონ, რას აკვირდებიან. შემდეგ სურ. 2.5.5–2.5.6-ის გამოყენებით განმარტავს, რომ მზიდან დედამიწის მიმართულებით მოძრაობს დამუხტული ნაწილაკების ნაკადები. დედამიწის მაგნიტური ველი ამ ნაწილაკების მოძრაობაზე მოქმედებს და მათი მნიშვნელოვანი ნაწილი მაგნიტური პოლუსების მიმდებარე არეებისკენ მიემართება. ატმოსფეროს ზედა ფენებში ნაწილაკების ურთიერთქმედება ატმოსფეროს ნაწილაკებთან იწვევს სინათლის გამოსხივებას, რასაც პოლარული ციალის სახით ვაკვირდებით. განმარტება შემოიფარგლება სახელმძღვანელოში მოცემული ზოგადი მოდელის დონით (არ შეიცავს სიღრმისეულ/დეტალურ ანალიზს). **განვითარებადი უნარები:** მიზეზ–შედეგობრივი მსჯელობა; ვიზუალური ინფორმაციის ინტერპრეტაცია. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 1 — მზიდან მოსული ნაწილაკები** | მზიდან მუდმივად ამოიფრქვევა დამუხტული ნაწილაკების ნაკადები. ისინი სივრცეში ვრცელდება და მათი ნაწილი დედამიწის სიახლოვეს აღწევს. |
| **საინფორმაციო ბლოკი 2 — დედამიწის მაგნიტური ველის როლი** | მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე მაგნიტური ველი მოქმედებს. ვინაიდან დედამიწის მაგნიტური ველი ცვლის მზიდან წამოსული დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულებას, იგი მათ მაგნიტური პოლუსებისაკენ მიმართავს, სადაც მაგნიტური ველის წირების სიმჭიდროვე მაქსიმალურია (ველი ძლიერია). |
| **საინფორმაციო ბლოკი 3 — პოლარული ციალის წარმოქმნა** | მაღალი ენერგიის დამუხტული ნაწილაკები დედამიწის პოლუსებთან დამუხრუჭების, ასევე ატმოსფეროს სხვა მოლეკულებთან დაჯახების გამო ქმნიან ელექტრომაგნიურ გამოსხივებას, რომელიც ხშირად პალარული ციალის სახით დაიმზირება. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ვიდეოს შემდეგ** | • საიდან მოდის დედამიწისკენ დამუხტული ნაწილაკების ნაკადი? • რა განსაზღვრავს მზიდან მოსული დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის ტრაექტორიას დედამიწის მახლობლად? • დედამიწის რომელ რაიონებში შეიმჩნევა პოლარული ციალი განსაკუთრებით ხშირად? • სად მიმდინარეობს ის პროცესები, რომლებიც ხილულ ნათებას წარმოქმნის? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — სურ. 2.5.5-ის გაანალიზებისას** | • როგორ იცვლება ნაწილაკების მოძრაობა დედამიწის მაგნიტური ველის მახლობლად? • რა ინფორმაციის მიღება შეგვიძლია ნახაზზე ნაჩვენები მაგნიტური ველის წირებიდან? • როგორ დავაკავშიროთ სურათზე ნაჩვენები ნაწილაკების მოძრაობა პოლარული ციალის წარმოქმნასთან? |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — განზოგადებისას** | • რატომ გვხვდება პოლარული ციალი უფრო ხშირად პოლარულ რეგიონებში და არა ეკვატორთან? • რა როლი აქვს დედამიწის მაგნიტურ ველს მზიდან მოსულ დამუხტულ ნაწილაკებთან ურთიერთქმედებაში? • რა მოხდებოდა ამ პროცესისას ატმოსფეროს ნაწილაკებთან ურთიერთქმედება რომ არ მიმდინარეობდეს? |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი არ ამძიმებს ახსნას პარაგრაფის დონეზე მეტად. ვიდეოს ნახვის შემდეგ პირველ რიგში მოსწავლეებს სთხოვს აღწერონ დამზერილი მოვლენა, შემდეგ კი ეტაპობრივად ადგენს ჯაჭვს: **მზე → დამუხტული ნაწილაკები → დედამიწის მაგნიტური ველი → ატმოსფეროს ზედა ფენები → სინათლის გამოსხივება**. |
| **რესურსები** | პოლარული ციალის მოკლე ვიდეორგოლი; მოსწავლის წიგნის სურ. 2.5.1, 2.5.5 და 2.5.6; პროექტორი ან ინტერაქტიული დაფა. |
| **შეფასება** | „მიზეზობრივი ჯაჭვი“ — მოსწავლე სწორ თანმიმდევრობაში აწყობს ბარათებს: **მზიდან მოსული ნაწილაკები → მაგნიტური ველის მოქმედება → ატმოსფეროს ნაწილაკებთან ურთიერთქმედება → პოლარული ციალი** და სიტყვიერად ხსნის ერთ კავშირს. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ მოვლენების ოთხი ილუსტრირებული ბარათი, რომლებიც სწორი თანმიმდევრობით უნდა დაალაგონ. მაღალი მზაობის მოსწავლეები დამატებით ხსნიან, რატომ უკავშირდება ციალის გავრცელება დედამიწის მაგნიტური პოლუსების მიმდებარე რეგიონებს. |

## შუალედური დასკვნა

მზიდან დედამიწისკენ მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობაზე დედამიწის მაგნიტური ველი მოქმედებს. პოლუსების მიმდებარე რეგიონებში ამ ნაწილაკების ატმოსფეროს ზედა ფენებთან ურთიერთქმედებამ შეიძლება სინათლის გამოსხივება გამოიწვიოს. ამ მოვლენას პოლარული ციალი ეწოდება.

### აქტივობა 3. დედამიწის მაგნიტური ველი — ინტერაქციული კითხვა–პასუხი

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის მიზანი** | მოსწავლეებმა ინტერაქციული კითხვა–პასუხით გაამთლიანონ დედამიწის მაგნიტური ველის, კომპასისა და პოლარული ციალის შესახებ მიღებული ცოდნა და მიზეზ–შედეგობრივად დაუკავშირონ ერთმანეთს ძირითადი ცნებები. |
| **გამოყენებული სწავლების მიდგომა/მეთოდი** | მიმმართველი კითხვა–პასუხი; კონცეპტუალური სწავლება. |
| **ძირითადი კითხვა** | როგორ ვლინდება დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობა და რა ბუნებრივ მოვლენებთან შეგვიძლია მისი დაკავშირება? |

| აქტივობის კომპონენტი | აღწერა |
|---|---|
| **აქტივობის განხორციელება** | დაფაზე იწერება საკვანძო ცნებები: **დედამიწა — მაგნიტური ველი — მაგნიტური პოლუსები — კომპასი — მზიდან მოსული დამუხტული ნაწილაკები — პოლარული ციალი**. მოსწავლეები წყვილებში ადგენენ ამ ცნებებს შორის კავშირებს. შემდეგ მასწავლებელი ატარებს სწრაფ ინტერაქციულ კითხვა–პასუხს და მოსწავლეებს სხვადასხვა სიტუაციის ახსნას სთხოვს. **განვითარებადი უნარები:** კრიტიკული აზროვნება; კომუნიკაცია. |
| **ფაქტობრივი ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ძირითადი ცოდნის აღდგენისას** | • რას ქმნის დედამიწა მის გარშემო? • ემთხვევა თუ არა გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები? • რატომ გამოიყენება კომპასი ორიენტირებისთვის? • რა არის პოლარული ციალი? • მზისგან მოსული რა ტიპის ნაწილაკები მონაწილეობენ ამ პროცესში? |
| **პროცედურული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ინფორმაციის გაანალიზებისას** | • როგორ გამოვიყენებთ კომპასს მიმართულების დასადგენად? • როგორ ამოვიცნოთ სურათზე დედამიწის მაგნიტური ველის წირები? • როგორ ავაწყოთ პოლარული ციალის წარმოქმნის მიზეზობრივი ჯაჭვი? • სურ. 2.5.5-ზე დაყრდნობით (გამოყენებით) ახსენით, როგორ მოქმედებს დედამიწის მაგნიტური ველი მზიდან მოსულ დამუხტულ ნაწილაკებზე. |
| **პირობისეული ცოდნის შესაბამისი კითხვები — ცოდნის ტრანსფერისას** | • რატომ შეიძლება კომპასის ისარი ძლიერ მაგნიტთან მიახლოებისას აღარ მიუთითებდეს ჩვეულ მიმართულებას? • რატომ არის პოლარული ციალი უფრო დამახასიათებელი მაღალი განედებისთვის? • როგორ უკავშირდება ამ პარაგრაფის მასალა მოძრავ მუხტზე მოქმედ ლორენცის ძალას? • რატომ შეიძლება დედამიწის მაგნიტური ველის შესწავლა მნიშვნელოვანი იყოს არა მხოლოდ ფიზიკისთვის, არამედ ტექნოლოგიებისთვისაც? |
| **კონცეპტუალური მინი-დავალება — „დააკავშირე ცნებები“** | მოსწავლეები ადგენენ ორ ჯაჭვს: **დედამიწის მაგნიტური ველი → კომპასის ისრის ორიენტაცია → სივრცეში ორიენტირება** და **მზე → დამუხტული ნაწილაკები → დედამიწის მაგნიტური ველი → ატმოსფერო → პოლარული ციალი**. თითოეული ჯგუფი ერთ-ერთ ჯაჭვს სიტყვიერად ხსნის. |
| **მასწავლებლის ფასილიტაციის როლი** | მასწავლებელი ყურადღებას ამახვილებს მიზეზობრივ კავშირებზე და არ კმაყოფილდება მხოლოდ ტერმინების ჩამოთვლით. მოსწავლეს თითოეულ პასუხს აზუსტებინებს კითხვებით: „რა იწვევს ამას?“, „რა შედეგი მოჰყვება?“, „რომელი ადრე შესწავლილი კანონი ან მოვლენა გეხმარება ახსნაში?“. |
| **რესურსები** | მოსწავლის წიგნის სურ. 2.5.1–2.5.6; კომპასი; ვიდეორგოლებიდან შერჩეული კადრები; ცნებების ბარათები; დაფა. |
| **შეფასება** | „3–2–1“: მოსწავლე წერს **3** ფაქტს დედამიწის მაგნიტური ველის შესახებ, **2** კავშირს წინა პარაგრაფებში შესწავლილ მასალასთან და **1** წინადადებით ხსნის პოლარული ციალის წარმოქმნის ზოგად მიზეზს. |
| **დიფერენცირება** | მხარდაჭერის საჭიროების მქონე მოსწავლეებს ეძლევათ წინადადების დასაწყისები: „კომპასი მუშაობს იმიტომ, რომ...“, „პოლარული ციალის წარმოქმნაში მონაწილეობს...“, „დედამიწის მაგნიტური ველი მოქმედებს...“. საჭიროების შემთხვევაში პასუხი შეიძლება ზეპირად წარმოადგინონ. |

## შეჯამება

მოსწავლეები ერთობლივად აყალიბებენ ძირითად დებულებებს:

- დედამიწას საკუთარი მაგნიტური ველი აქვს;
- დედამიწის მაგნიტური და გეოგრაფიული ღერძები ერთმანეთს ზუსტად არ ემთხვევა;
- კომპასის ისარი მცირე მაგნიტია და დედამიწის მაგნიტური ველის მოქმედებით ორიენტირდება;
- დედამიწის მაგნიტური პოლუსების მდებარეობა დროთა განმავლობაში შეიძლება შეიცვალოს;
- მზიდან დედამიწისკენ მოძრაობს დამუხტული ნაწილაკების ნაკადები;

- დედამიწის მაგნიტური ველი გავლენას ახდენს ამ ნაწილაკების მოძრაობაზე;
- ატმოსფეროს ზედა ფენებში მიმდინარე ურთიერთქმედებებმა შეიძლება გამოიწვიოს სინათლის გამოსხივება — პოლარული ციალი.

## სასურველი დასკვნა

დედამიწა საკუთარი მაგნიტური ველის მქონე სხეულია. ამ ველის მოქმედებით ორიენტირდება კომპასის მაგნიტური ისარი, რაც ადამიანს სივრცეში მიმართულების განსაზღვრის საშუალებას აძლევს. დედამიწის მაგნიტური ველი ასევე მოქმედებს მზიდან მოსულ დამუხტულ ნაწილაკებზე. პოლარული რეგიონების მახლობლად ამ ნაწილაკების ატმოსფეროს ზედა ფენებთან ურთიერთქმედება შეიძლება ხილული ნათების — პოლარული ციალის — წარმოქმნის მიზეზი გახდეს.

## მინი აქტივობა განმავითარებელი შეფასებისთვის

### კონცეპტუალური რუკა

მოსწავლეებმა ერთმანეთთან უნდა დააკავშირონ შემდეგი ცნებები:

**დედამიწა — მაგნიტური ველი — მაგნიტური პოლუსები — კომპასი — მზე — დამუხტული ნაწილაკები — ატმოსფერო — პოლარული ციალი**

თითოეულ შეერთებულ ცნებას შორის ისრის გასწვრივ უნდა დაწერონ ერთი მოკლე განმარტება.
შეფასების კრიტერიუმები: ცნებებს შორის კავშირის სისწორე; მიზეზისა და შედეგის გამიჯვნა; ფიზიკური ტერმინების ზუსტად გამოყენება.

## მასწავლებლის ინსტრუქცია

მომდევნო გაკვეთილის დასაწყისში რამდენიმე მოსწავლეს სთხოვეთ საკუთარი კონცეპტუალური რუკის წარმოდგენა. ყურადღება გაამახვილეთ იმაზე, რომ კომპასის მუშაობა და პოლარული ციალი ერთმანეთისგან განსხვავებული მოვლენებია, თუმცა ორივეს ახსნაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს დედამიწის მაგნიტურ ველს. პოლარული ციალის განმარტება შეინარჩუნეთ სახელმძღვანელოში წარმოდგენილ ზოგად დონეზე და მოერიდეთ მასალის გადატვირთვას დამატებითი ასტროფიზიკური დეტალებით.

## დამატებითი ამოცანები

**ამოცანა 1**

**პირობა:**

გვაქვს $1$ მკკ, $3$ მკკ, $4$ მკკ მუხტების მქონე სამი ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულა და მეოთხე, იმავე ზომის დამუხტული ლითონის ბურთულა. ოთხივე ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ ერთდროულად დააშორეს. რისი ტოლია მეოთხე ბურთულას მუხტი, თუ შეხების შემდეგ თითოეულის მუხტი – $1$ მკკ-ის ტოლი აღმოჩნდა?

**ამოხსნა:**

ოთხივე ბურთულა ერთნაირი ზომისაა. ერთმანეთთან შეხებისას მათი სრული მუხტი ინახება, ხოლო შეხების შემდეგ ოთხივე ბურთულაზე მუხტი თანაბრად ნაწილდება.

შეხების შემდეგ თითოეული ბურთულას მუხტია – $1$ მკკ, ამიტომ ოთხივე ბურთულის სრული მუხტი გახდა:

$$Q = 4 \cdot (-1 \text{ მკკ}) = -4 \text{ მკკ}.$$

შეხებამდე პირველი სამი ბურთულის მუხტების ჯამია:

$$q_1 + q_2 + q_3 = 1 + 3 + 4 = 8 \text{ მკკ}.$$

მუხტის შენახვის კანონის თანახმად:

$$8 \text{ მკკ} + q_4 = -4 \text{ მკკ},$$

$$q_4 = -12 \text{ მკკ}.$$

**პასუხი:**

$$-12 \text{ მკკ}.$$

**ამოცანა 2**

**პირობა:**

ვაკუუმში, ერთმანეთისგან $80$ სმ-ით დაშორებული ორი ერთნაირი, მცირე ზომის ლითონის ბურთულადან — ერთ-ერთს $4 \cdot 10^{12}$ ჭარბი ელექტრონი აქვს, მეორეს კი $5 \cdot 10^{12}$ ელექტრონი აკლია.
ა) მიიზიდავენ თუ განიზიდავენ ეს ბურთულები ერთმანეთს? რა ძალით?
ბ) რისი ტოლი გახდება ბურთულებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა, თუ მათ ერთმანეთს შევახებთ და შემდეგ იმავე მანძილით დავაშორებთ?

**ამოხსნა:**

ელექტრონის მუხტის მოდულია $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ. პირველი ბურთულა ჭარბი ელექტრონების გამო უარყოფითად, მეორე კი ელექტრონების ნაკლებობის გამო დადებითადაა დამუხტული.

$$q_1 = -4 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = -6{,}4 \cdot 10^{-7} \text{ კ} = -0{,}64 \text{ მკკ},$$

$$q_2 = +5 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = +8 \cdot 10^{-7} \text{ კ} = +0{,}8 \text{ მკკ}.$$

ა) მუხტები სხვადასხვა ნიშნისაა, ამიტომ ბურთულები ერთმანეთს მიიზიდავენ. კულონის კანონი:

$$F = k|q_1 q_2|/r^2, \quad k = 9 \cdot 10^9 \text{ ნ} \cdot \text{მ}^2/\text{კ}^2, \quad r = 0{,}8 \text{ მ}.$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot (0{,}64 \cdot 10^{-6})(0{,}8 \cdot 10^{-6})/(0{,}8)^2 = 7{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ ნ}.$$

ბ) შეხებისას სრული მუხტი ინახება:

$$Q = q_1 + q_2 = -0{,}64 \text{ მკკ} + 0{,}8 \text{ მკკ} = 0{,}16 \text{ მკკ}.$$

ბურთულები ერთნაირია, ამიტომ შეხების შემდეგ თითოეულზე იქნება:

$$q' = Q/2 = 0{,}08 \text{ მკკ} = 8 \cdot 10^{-8} \text{ კ}.$$

ორივე მუხტი დადებითია, ამიტომ ბურთულები განიზიდავენ ერთმანეთს. იმავე $0{,}8$ მ მანძილზე:

$$F' = k(q')^2/r^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot (8 \cdot 10^{-8})^2/(0{,}8)^2 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ ნ}.$$

**პასუხი:**

**ა) მიიზიდავენ** $7{,}2 \cdot 10^{-3}$ ნ **ძალით; ბ) შეხების შემდეგ განიზიდავენ** $9 \cdot 10^{-5}$ ნ **ძალით.**

**ამოცანა 3**

**პირობა:**

ორ წერტილოვან მუხტს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა $F$-ის ტოლია. ერთ-ერთის მუხტის მოდული გაზარდეს $80\%$-ით, მეორის კი შეამცირეს $20\%$-ით. რამდენი %-ით უნდა შევცვალოთ (გავზარდოთ/შევამციროთ) მათ შორის მანძილი, რომ ურთიერთქმედების ძალა არ შეიცვალოს?

**ამოხსნა:**

კულონის კანონის თანახმად $F \sim |q_1 q_2|/r^2$.

ცვლილების შემდეგ მუხტების ნამრავლი გახდება:

$$q_1' q_2' = 1{,}8 q_1 \cdot 0{,}8 q_2 = 1{,}44 q_1 q_2.$$

ძალა რომ უცვლელი დარჩეს, მანძილის კვადრატიც $1{,}44$-ჯერ უნდა გაიზარდოს:

$$r'^2 = 1{,}44 r^2,$$

$$r' = 1{,}2 r.$$

ეს ნიშნავს მანძილის $20\%$-ით გაზრდას.

**პასუხი:**

**მანძილი უნდა გავზარდოთ** $20\%$**-ით.**

**ამოცანა 4**

**პირობა:**

ვაკუუმში $q_1 = 800$ ნკ დამაგრებული წერტილოვანი მუხტიდან $1$ მ-ის დაშორებით ასევე დამაგრებულია $q_2$ წერტილოვანი მუხტი. როდესაც მათ შემაერთებელ მონაკვეთზე, $q_1$-დან $40$ სმ-ით დაშორებულ წერტილში შეიტანეს წერტილოვანი $q$ მუხტი, იგი წონასწორობაში აღმოჩნდა. რისი ტოლია $q_2$ მუხტი?

**ამოხსნა:**

სასინჯი $q$ მუხტი ორ მუხტს შორისაა. წონასწორობისათვის მასზე მოქმედი კულონური ძალები მოდულით ტოლი და მიმართულებით საპირისპირო უნდა იყოს. ამიტომ $q_1$ და $q_2$ ერთნაირი ნიშნისაა.

$$r_1 = 0{,}4 \text{ მ}, \quad r_2 = 1 - 0{,}4 = 0{,}6 \text{ მ}.$$

$$k|q_1 q|/{r_1}^2 = k|q_2 q|/{r_2}^2.$$

$$q_2 = q_1 \cdot {r_2}^2/{r_1}^2 = 800 \cdot (0{,}6/0{,}4)^2 = 1800 \text{ ნკ}.$$

**პასუხი:**

$$q_2 = +1800 \text{ ნკ}.$$

**ამოცანა 5**

**პირობა:**

ერთმანეთისგან გარკვეული მანძილით დაშორებული ორი ერთნაირი, მცირე ზომის ლითონის ბურთულა დაელექტროებულია $q_1 > q_2 > 0$ მუხტებით. ბურთულების ერთმანეთთან ლითონის წვრილი მავთულით შეერთების შემდეგ მათ შორის ელექტრული განზიდვის ძალა 80%-ით გაიზარდა. რისი ტოლია $q_1$ მუხტი, თუ $q_2 = 4$ მკკ.

**ამოხსნა:**

შეერთებამდე:

$$F = kq_1q_2/r^2.$$

ერთნაირი ბურთულების მავთულით შეერთების შემდეგ თითოეულზე მუხტი გახდება:

$$q' = (q_1 + q_2)/2.$$

ახალი ძალა 80%-ით მეტია, ანუ $F' = 1{,}8F$:

$$k(q_1 + q_2)^2/(4r^2) = 1{,}8 \cdot kq_1q_2/r^2.$$

$$(q_1 + q_2)^2 = 7{,}2q_1q_2.$$

ავიღოთ $x = q_1/q_2$. მაშინ:

$$(x + 1)^2 = 7{,}2x,$$

$$x^2 - 5{,}2x + 1 = 0.$$

ფესვებია $x = 5$ და $x = 0{,}2$. პირობის $q_1 > q_2$ გამო ვირჩევთ $x = 5$.

$$q_1 = 5q_2 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ მკკ}.$$

**პასუხი:**

$$q_1 = 20 \text{ მკკ}.$$

**ამოცანა 6**

**პირობა:**

სამი წერტილოვანი $q$ მუხტი მოთავსებულია ერთი და იმავე წრფის $A, B$ და $C$ წერტილებში ისე, რომ $AB = BC$. $A$ და $B$ წერტილებში მყოფი მუხტების ერთმანეთთან ურთიერთქმედების ძალა $F$-ის ტოლია. რისი ტოლია:

ა) $B$ წერტილში მოთავსებულ მუხტზე დანარჩენი ორი მუხტის მხრიდან მოქმედი ჯამური ელექტრული ძალა;

ბ) $C$ წერტილში მოთავსებულ მუხტზე დანარჩენი ორი მუხტის მხრიდან მოქმედი ჯამური ელექტრული ძალა.

**ამოხსნა:**

ავიღოთ $AB = BC = d$. მაშინ მეზობელ ორ $q$ მუხტს შორის ძალაა:

$$F = kq^2/d^2.$$

ა) $B$ მუხტზე $A$-დან და $C$-დან მოქმედი ძალები ტოლია $F$-ის და საპირისპიროდ არის მიმართული, ამიტომ:

$$F_B = F - F = 0.$$

ბ) $C$ მუხტზე $B$-დან მოქმედი ძალაა $F$, ხოლო $A$-დან დაშორება $2d$-ია:

$$F_{Ac} = kq^2/(2d)^2 = F/4.$$

ორივე ძალა ერთი მიმართულებითაა, ამიტომ:

$$F_c = F + F/4 = 1{,}25F.$$

**პასუხი:**

ა) $0$; ბ) $1{,}25F$.

**ამოცანა 7***

**პირობა:**

$R$ რადიუსიან წრეწირში ჩახაზული წესიერი სამკუთხედის წვეროებში დამაგრებულია $+q, +q$ და $-q$ წერტილოვანი მუხტები (სურ. 1). დაწერეთ წრეწირის ცენტრში შეტანილ $+q$ მუხტზე მოქმედი ჯამური კულონური ძალის გამოსათვლელი ფორმულა. საით იქნება ეს ძალა მიმართული?

**ამოხსნა:**

ცენტრიდან სამივე წვერომდე მანძილი $R$-ია, ამიტომ თითოეული წვეროს მუხტი ცენტრში მოთავსებულ $+q$ მუხტზე ერთი და იმავე მოდულის ძალით მოქმედებს:

$$F_0 = kq^2/R^2.$$

ზედა $+q$ მუხტი ცენტრის მუხტს ქვემოთ განიზიდავს. მარცხენა $+q$ მუხტი მას მარჯვნივ-ზევით განიზიდავს, ხოლო მარჯვენა $-q$ მუხტი მარჯვნივ-ქვევით მიიზიდავს.

სამი ძალის ვექტორული შეკრებით ჰორიზონტალური მდგენელია $\sqrt{3}F_0$, ვერტიკალური კი $-F_0$. ამიტომ:

$$F = \sqrt{[(\sqrt{3}F_0)^2 + {F_0}^2]} = 2F_0 = 2kq^2/R^2.$$

ტოლქმედი მიმართულია ზუსტად $-q$ მუხტისკენ.

**პასუხი:**

$F = 2kq^2/R^2$; **ძალა მიმართულია** $-q$ **მუხტისკენ.**

**ამოცანა 8***

**პირობა:**

მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზა $1$ მ-ის ტოლია. მისი მახვილი კუთხეების წვეროებში დამაგრებულია $6$ მკკ წერტილოვანი მუხტები, მართი კუთხის წვეროში კი $5$ მკკ წერტილოვანი მუხტი (სურ. 2) იპოვეთ ჰიპოტენუზის შუა წერტილში შეტანილ $-15$ მკკ მუხტზე მოქმედი ჯამური კულონური ძალა. საით არის იგი მიმართული?

**ამოხსნა:**

მართკუთხა სამკუთხედში ჰიპოტენუზის შუა წერტილი სამივე წვეროდან თანაბრადაა დაშორებული. ჰიპოტენუზა $1$ მ-ია, ამიტომ ეს მანძილია:

$$r = 0{,}5 \text{ მ}.$$

ჰიპოტენუზის ბოლოებში მოთავსებული ორი $6$ მკკ მუხტი სასინჯ $-15$ მკკ მუხტზე ტოლი მოდულისა და საპირისპირო მიმართულების ძალებით მოქმედებს, ამიტომ მათი ტოლქმედი ნულია.

რჩება მართი კუთხის წვეროში მოთავსებული $5$ მკკ მუხტის მოქმედება:

$$F = k|qQ|/r^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot (15 \cdot 10^{-6})(5 \cdot 10^{-6})/(0{,}5)^2 = 2{,}7 \text{ ნ}.$$

სასინჯი მუხტი უარყოფითია, ხოლო $5$ მკკ მუხტი დადებითი, ამიტომ ძალა მიმართულია მართი კუთხის წვეროსკენ, ანუ $q_2$ მუხტისკენ.

**პასუხი:**

$2{,}7$ ნ, **მიმართულია** $q_2$ **მუხტისკენ.**

**ამოცანა 9**

**პირობა:**

სურ. 3-ზე ნაჩვენებია სამი განცალკევებული წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის წირები. დაალაგე ბურთულების მუხტების მოდულები ზრდის მიხედვით.

**ამოხსნა:**

პარაგრაფში მიღებული წესის მიხედვით, ელექტრული ველის დაძაბულობის წირების რაოდენობა მუხტის მოდულს ახასიათებს: რაც მეტია წირები, მით მეტია მუხტის მოდული.

სურ. 3-ში ყველაზე ნაკლები წირი აქვს $q_1$-ს, შემდეგ $q_3$-ს, ყველაზე მეტი კი $q_2$-ს.

**პასუხი:**

$$|q_1| < |q_3| < |q_2|.$$

**ამოცანა 10**

**პირობა:**

როდესაც ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის $P$ წერტილში $400$ მკკ წერტილოვანი სასინჯი მუხტი შეიტანეს, ველმა მასზე $120$ მნ ძალით იმოქმედა.
ა) რისი ტოლია ველის დაძაბულობა $P$ წერტილში?
ბ) რა ძალა იმოქმედებს $-800$ მკკ წერტილოვან სასინჯ მუხტზე, თუ მას ამ წერტილიდან $25$ სმ-ით დაშორებულ წერტილში შევიტანთ?

**ამოხსნა:**

ელექტრული ველის დაძაბულობის განმარტებაა:

$$E = F/|q|.$$

ა) $F = 120$ მნ $= 0{,}12$ ნ, $q = 400$ მკკ $= 4 \cdot 10^{-4}$ კ:

$$E = 0{,}12/(4 \cdot 10^{-4}) = 300 \text{ ნ/კ}.$$

ბ) ველი ერთგვაროვანია, ამიტომ $25$ სმ-ით დაშორებულ წერტილშიც $E = 300$ ნ/კ.

$$F = |q|E = 800 \cdot 10^{-6} \cdot 300 = 0{,}24 \text{ ნ} = 240 \text{ მნ}.$$

რადგან სასინჯი მუხტი უარყოფითია, ძალა ველის დაძაბულობის მიმართულების საპირისპიროდაა მიმართული.

**პასუხი:**

**ა)** $300$ ნ/კ; **ბ)** $240$ მნ, **ველის მიმართულების საპირისპიროდ.**

**ამოცანა 11**

**პირობა:**

მცირე ზომის ნაწილაკზე $8 \cdot 10^{10}$ ჭარბი ელექტრონია. რისი ტოლია ამ ნაწილაკის ველის დაძაბულობა მისგან $40$ სმ-ით დაშორებულ წერტილში და საით არის იგი მიმართული?

**ამოხსნა:**

ჭარბი ელექტრონების გამო ნაწილაკის მუხტი უარყოფითია:

$$q = -Ne = -8 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = -1{,}28 \cdot 10^{-8} \text{ კ}.$$

წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის მოდულია:

$$E = k|q|/r^2.$$

$$r = 40 \text{ სმ} = 0{,}4 \text{ მ}.$$

$$E = 9 \cdot 10^9 \cdot 1{,}28 \cdot 10^{-8}/(0{,}4)^2 = 720 \text{ ნ/კ}.$$

უარყოფითი მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის ვექტორი მუხტისკენაა მიმართული.

**პასუხი:**

720 ნ/კ, მიმართულია ნაწილაკისკენ.

**ამოცანა 12**

**პირობა:**

$E = 450$ ნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის $A$ წერტილში ჩაამაგრეს $q = 8$ ნკ წერტილოვანი მუხტი (სურ. 4).

ა) რისი ტოლი იქნება ჯამური ველის დაძაბულობა $B$ წერტილში, თუ $AB = 50$ სმ.

ბ) მოძებნეთ ისეთი $C$ წერტილი, რომელშიც ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია. განსაზღვრეთ $AC$ მონაკვეთის სიგრძე.

გ) რისი ტოლი იქნება ჯამური ველის დაძაბულობა $D$ წერტილში, თუ $AD = 20\sqrt{3}$ სმ.

**ამოხსნა:**

ა) $B$ წერტილი დადებითი $q$ მუხტის მარჯვნივაა. როგორც ერთგვაროვანი ველის, ისე წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა აქ მარჯვნივაა მიმართული.

$$E_q = kq/AB^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-9}/(0{,}5)^2 = 288 \text{ ნ/კ}.$$

$$E_B = E + E_q = 450 + 288 = 738 \text{ ნ/კ}.$$

ბ) ჯამური ველი ნულის ტოლი შეიძლება იყოს $A$-ს მარცხნივ, რადგან იქ დადებითი მუხტის ველი მარცხნივაა, ერთგვაროვანი ველი კი მარჯვნივ.

$$kq/AC^2 = E,$$

$$AC = \sqrt{(kq/E)} = \sqrt{(72/450)} = 0{,}4 \text{ მ} = 40 \text{ სმ}.$$

გ) $D$ წერტილი $A$-ს ზემოთაა, ამიტომ $q$ მუხტის მიერ შექმნილი ველი ზევითაა მიმართული და ერთგვაროვან ველს მართობულია.

$$AD = 20\sqrt{3} \text{ სმ} = 0{,}2\sqrt{3} \text{ მ}, \quad AD^2 = 0{,}12 \text{ მ}^2.$$

$$E_q = 72/0{,}12 = 600 \text{ ნ/კ}.$$

$$E_D = \sqrt{(450^2 + 600^2)} = 750 \text{ ნ/კ}.$$

**პასუხი:**

ა) 738 ნ/კ; ბ) $AC = 40$ სმ; გ) 750 ნ/კ.

**ამოცანა 13**

**პირობა:**

წერტილოვანი $q_1$ და $q_2$ მუხტების შემაერთებელ წრფეზე მდებარე $C$ წერტილში ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია (სურ. 5). დაადგინეთ $q_2$ მუხტის მნიშვნელობა, თუ $AB = 1$ მ; $BC = 25$ სმ და $q_1 = -25$ მკკ.

**ამოხსნა:**

$C$ წერტილი ორივე მუხტის მარჯვნივაა. $q_1$ უარყოფითია, ამიტომ მისი ველი $C$-ში მარცხნივაა მიმართული. ჯამური ველი ნული რომ იყოს, $q_2$ უნდა იყოს დადებითი.

$$AC = AB + BC = 1 + 0{,}25 = 1{,}25 \text{ მ}.$$

$$k|q_1|/AC^2 = kq_2/BC^2.$$

$$q_2 = |q_1| \cdot (BC/AC)^2 = 25 \cdot (0{,}25/1{,}25)^2 = 1 \text{ მკკ}.$$

**პასუხი:**

$$q_2 = +1 \text{ მკკ}.$$

**ამოცანა 14**

**პირობა:**

$d = 1$ მ დიაგონალის მქონე კვადრატის წვეროებში დამაგრებულია $q_1 = 10$ ნკ, $q_2 = 20$ ნკ, $q_3 = 10$ ნკ და $q_4 = -20$ ნკ წერტილოვანი მუხტები (სურ. 6). რისი ტოლია ჯამური ველის დაძაბულობა კვადრატის ცენტრში და საით არის იგი მიმართული?

**ამოხსნა:**

კვადრატის ცენტრიდან თითოეულ წვერომდე მანძილი დიაგონალის ნახევარია:

$$r = d/2 = 0{,}5 \text{ მ}.$$

$q_1$ და $q_3$ ტოლი დადებითი მუხტებია და ერთმანეთის მოპირდაპირე წვეროებშია, ამიტომ მათ მიერ ცენტრში შექმნილი ველები ერთმანეთს აბათილებს.

$q_2 = +20$ ნკ და $q_4 = -20$ ნკ ასევე მოპირდაპირე წვეროებშია. ორივეს ველი ცენტრში $q_4$-სკენაა მიმართული და მათი მოდულები ტოლია:

$$E_2 = E_4 = k \cdot 20 \cdot 10^{-9}/(0{,}5)^2 = 720 \text{ ნ/კ}.$$

$$E = E_2 + E_4 = 1440 \text{ ნ/კ}.$$

**პასუხი:**

1440 ნ/კ, მიმართულია $q_4$-სკენ.

**ამოცანა 15***

**პირობა:**

$ABC$ ტოლფერდა მართკუთხა სამკუთხედის მახვილი კუთხეების წვეროებში დამაგრებულია $q_1 = +3q$ და $q_2 = -4q$ წერტილოვანი მუხტები (სურ. 7). რისი ტოლია ამ მუხტებით შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა $C$ წერტილში, თუ მათ შორის ელექტრული მიზიდულობის ძალა $F$-ის ტოლია ($q$ და $F$ ცნობილია).

**ამოხსნა:**

ავიღოთ ტოლფერდა მართკუთხა სამკუთხედის კათეტები $AC = BC = a$. მაშინ ჰიპოტენუზაა $AB = a\sqrt{2}$.

მუხტებს შორის მიზიდულობის ძალაა:

$$F = k \cdot |(+3q)(-4q)|/(a\sqrt{2})^2 = 6kq^2/a^2.$$

აქედან:

$$kq/a^2 = F/(6q).$$

$C$ წერტილში $q_1 = +3q$ მუხტის ველია:

$$E_1 = 3kq/a^2 = F/(2q).$$

$q_2 = -4q$ მუხტის ველია:

$$E_2 = 4kq/a^2 = 2F/(3q).$$

ეს ორი ვექტორი ერთმანეთის მართობულია, ამიტომ:

$$E = \sqrt{(E_1{}^2 + E_2{}^2)} = (F/q)\sqrt{(1/4 + 4/9)} = 5F/(6q).$$

**პასუხი:**

$$E = 5F/(6q).$$

**ამოცანა 16**

**პირობა:**

$E = 400$ ვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ძალწირის მიმართულებით, ერთმანეთის მომდევნოდ განლაგებულ $A, B$ და $C$ წერტილებიდან, $B$ წერტილში ველის პოტენციალი $\varphi_B = 80$ ვ-ია (სურ. 8). (ველში წინასწარაა არჩეული პოტენციალის ნულოვანი დონე).

ა) გაავლეთ პოტენციალის ნულოვანი დონე;

ბ) რისი ტოლია ველის პოტენციალები ნულოვანი დონის მიმართ $A$ და $C$ წერტილებში, თუ $AB = 30$ სმ და $AC = 60$ სმ.

გ) რისი ტოლია ძაბვა $B$ და $C$ წერტილებს შორის?

დ) რა მუშაობას შეასრულებს ველი, თუ $q = -500$ მკკ მუხტს გადაიტანენ $A$-დან $C$ წერტილში?

ე) იპოვეთ სიჩქარე, რომელსაც შეიძენს თავდაპირველად უძრავი ელექტრონი ველში $C$-დან $A$ წერტილში გადასვლისას.

**ამოხსნა:**

ერთგვაროვან ველში ძალწირის მიმართულებით პოტენციალი მცირდება და ორ წერტილს შორის $U = Ed$.

ა) $B$-დან ძალწირის მიმართულებით ნულოვან პოტენციალამდე საჭირო მანძილია:

$$d_0 = \varphi_B/E = 80/400 = 0{,}20 \text{ მ} = 20 \text{ სმ}.$$

ამიტომ ნულოვანი დონე არის $B$-დან 20 სმ-ით მარჯვნივ, ანუ $C$-მდე 10 სმ-ით ადრე, ძალწირების მართობულად გამავალი ხაზი.

ბ) $AB = 0{,}30$ მ, ამიტომ:

$$\varphi_A - \varphi_B = E \cdot AB = 400 \cdot 0{,}30 = 120 \text{ ვ},$$

$$\varphi_A = 80 + 120 = 200 \text{ ვ}.$$

ასევე $BC = AC - AB = 0{,}30$ მ:

$$\varphi_B - \varphi_C = 120 \text{ ვ},$$

$$\varphi_C = 80 - 120 = -40 \text{ ვ}.$$

გ) $B$ და $C$ წერტილებს შორის ძაბვა:

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 80 - (-40) = 120 \text{ ვ}.$$

დ) ველის მუშაობაა:

$$A = q(\varphi_A - \varphi_C) = -500 \cdot 10^{-6} \cdot [200 - (-40)] = -0{,}12 \text{ ჯ}.$$

ე) ელექტრონის მუხტია $q_e = -e$. $C$-დან $A$-მდე ველის მიერ შესრულებული დადებითი მუშაობა მთლიანად კინეტიკური ენერგიის ზრდას ხმარდება:

$$A = q_e(\varphi_c - \varphi_A) = (-1{,}6 \cdot 10^{-19})(-240) = 3{,}84 \cdot 10^{-17} \text{ ჯ}.$$

$$A = mv^2/2.$$

$$v = \sqrt{(2A/m)} \approx 9 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ} = 9000 \text{ კმ/წმ}.$$

**პასუხი:**

**ა) ნულოვანი დონე $B$-დან 20 სმ-ით მარჯვნივ; ბ)** $\varphi_A = 200$ ვ, $\varphi_C = -40$ ვ;
**გ)** 120 ვ; **დ)** $-0{,}12$ ჯ; **ე)** $\approx 9 \cdot 10^6$ მ/წმ $= 9000$ კმ/წმ.

**ამოცანა 17***

**პირობა:**

$m = 200$ გ მასის და $q = 800$ მკკ მუხტის მქონე მცირე ზომის თავდაპირველად უძრავი ბურთულა $F$ ცვლადი ძალის მოქმედებით გადაიტანეს $A$-დან $B$ წერტილში ისე (სურ. 9), რომ $B$ წერტილში ნულოვან დონეზე მისი სიჩქარე $v = 4$ მ/წმ გახდა და $F$ ძალამაც შეწყვიტა მოქმედება. გადატანა ხდებოდა $E = 5000$ ნ/კ დაძაბულობის ჰორიზონტალურად მიმართულ ერთგვაროვან ველში. სურათზე მითითებულია $F$ ძალის სავარაუდო მიმართულება დროის ერთ-ერთ მომენტში. გაითვალისწინეთ, რომ $AC = 80$ სმ, $BC = 60$ სმ და უპასუხეთ კითხვებს ($g = 10$ მ/წმ$^2$):
ა) რისი ტოლია ველის პოტენციალები $A$ და $B$ წერტილებში?
ბ) რისი ტოლია $q$ მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიები $A$ და $B$ წერტილებში და, შესაბამისად, ამ ენერგიის ცვლილება მუხტის $A$-დან $B$ წერტილში გადატანისას?
გ) რა მუშაობა შეასრულა ბურთულაზე მოქმედმა სიმძიმის ძალამ? რა მუშაობა შეასრულა $F$ ძალამ?
დ) რა აჩქარებით გააგრძელებს მოძრაობას ბურთულა $B$ წერტილის გავლის შემდეგ?

**ამოხსნა:**

ა) სურათზე $B$ და $C$ წერტილებზე გამავალი ვერტიკალური დონე ნულოვანი პოტენციალის დონეა. $A$ მისგან $AC = 0{,}8$ მ-ით მარცხნივაა.

$$\varphi_A = E \cdot AC = 5000 \cdot 0{,}8 = 4000 \text{ ვ},$$

$$\varphi_B = 0 \text{ ვ}.$$

ბ) პოტენციალური ენერგია $W_\text{პოტ} = q\varphi$:

$$W_A = 800 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 = 3{,}2 \text{ ჯ},$$

$$W_B = 800 \cdot 10^{-6} \cdot 0 = 0 \text{ ჯ}.$$

$$\Delta W = W_B - W_A = -3{,}2 \text{ ჯ}.$$

გ) $A$-დან $B$-მდე ბურთულა $BC = 0{,}6$ მ-ით დაეცა. ამიტომ სიმძიმის ძალის მუშაობაა:

$$A_{mg} = -mgh = -0{,}2 \cdot 10 \cdot 0{,}6 = -1{,}2 \text{ ჯ}.$$

ელექტრული ველის მუშაობაა პოტენციალური ენერგიის უარყოფითი ცვლილება:

$$A_\text{ელ} = -\Delta W = 3{,}2 \text{ ჯ}.$$

ბურთულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილება:

$$\Delta E = mv^2/2 = 0{,}2 \cdot 4^2/2 = 1{,}6 \text{ ჯ}.$$

ენერგიის თეორემით:

$$\Delta E = A_\text{ელ} + A_{mg} + A_F,$$

$$1{,}6 = 3{,}2 - 1{,}2 + A_F,$$

$$A_F = -0{,}4 \text{ ჯ}.$$

დ) $B$-ის შემდეგ $F$ ძალა აღარ მოქმედებს. რჩება ელექტრული ძალა $qE$ ჰორიზონტალურად მარჯვნივ და სიმძიმის ძალა $mg$ ქვევით:

$$qE = 800 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 4 \text{ ნ},$$

$$mg = 0{,}2 \cdot 10 = 2 \text{ ნ}.$$

$$F_\text{ჯ} = \sqrt{(4^2 + 2^2)} = 2\sqrt{5} \text{ ნ}.$$

$$a = F_\text{ჯ}/m = 2\sqrt{5}/0{,}2 = 10\sqrt{5} \text{ მ/წმ}^2.$$

**პასუხი:**

**ა)** $\varphi_A = 4000$ ვ, $\varphi_B = 0$ ვ; **ბ)** $W_A = 3{,}2$ ჯ, $W_B = 0$ ჯ, $\Delta W = -3{,}2$ ჯ; **გ)** $A_{mg} = -1{,}2$ ჯ, $A_F = -0{,}4$ ჯ;
**დ)** $a = 10\sqrt{5}$ მ/წმ$^2$.

**ამოცანა 18**

**პირობა:**

ამპერმეტრის ჩვენება სურ. 10-ზე ნაჩვენებ წრედში 1 ა-ია.
ა) რა დროში გაივლის ნათურაში $6{,}25 \cdot 10^{12}$ ელექტრონი?
ბ) როგორ შეიცვლებოდა ეს დრო, თუ ნაჩვენებ წრედში ნათურას იგივე წინაღობის უთოთი ჩავანაცვლებდით?

**ამოხსნა:**

ა) დენის ძალის განმარტებაა $I = q/t$, ხოლო $N$ ელექტრონის საერთო მუხტის მოდულია $q = Ne$.

$$q = 6{,}25 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ კ}.$$

$$t = q/I = 10^{-6}/1 = 10^{-6} \text{ წმ} = 1 \text{ მკწმ}.$$

ბ) იგივე წინაღობის უთოთი ჩანაცვლებისას, იმავე წყაროს პირობებში წრედის წინაღობა და დენის ძალა არ შეიცვლება. ამიტომ იგივე მუხტის გავლის დროც უცვლელი დარჩება.

**პასუხი:**

**ა)** 1 მკწმ; **ბ) არ შეიცვლება.**

**ამოცანა 19**

**პირობა:**

ნათურაზე 18 ვ ძაბვის მოდებისას, მასში 400 მა დენი გადის. რა ძაბვა უნდა მოვდოთ ნათურაზე, რომ მასში დენი 200 მა-ით გაიზარდოს?

**ამოხსნა:**

პირველ მდგომარეობაში ომის კანონიდან ნათურის წინაღობაა:

$$R = U_1/I_1 = 18/0{,}4 = 45 \text{ ომი}.$$

დენი უნდა გაიზარდოს $200 \text{ მა} = 0{,}2$ ა-ით:

$$I_2 = 0{,}4 + 0{,}2 = 0{,}6 \text{ ა}.$$

$$U_2 = I_2 R = 0{,}6 \cdot 45 = 27 \text{ ვ}.$$

**პასუხი:**

27 ვ.

**ამოცანა 20**

**პირობა:**

ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებულ მავთულის ორ ნაჭერს ერთნაირი მასა აქვს, მაგრამ ერთი მათგანის დიამეტრი 3-ჯერ მეტია მეორისაზე. რომელ ნაჭერს აქვს მეტი წინაღობა და რამდენჯერ?

**ამოხსნა:**

ერთნაირი ნივთიერებისა და ერთნაირი მასის გამო მავთულების მოცულობები ტოლია: $S_1 l_1 = S_2 l_2$.

თუ დიდი დიამეტრია $D = 3d$, განივკვეთის ფართობი დიამეტრის კვადრატის პროპორციულია:

$$S_D/S_d = (D/d)^2 = 3^2 = 9.$$

ტოლი მოცულობიდან გამომდინარე, დიდი დიამეტრის მავთულის სიგრძე 9-ჯერ ნაკლებია:

$$l_D = l_d/9.$$

წინაღობა $R = \rho l/S$. ამიტომ:

$$R_d/R_D = (l_d/S_d)/[(l_d/9)/(9S_d)] = 81 = 3^4.$$

**პასუხი:**

**უფრო დიდი წინაღობა აქვს მცირე დიამეტრის ნაჭერს — $3^4 = 81$-ჯერ მეტი.**

**ამოცანა 21**

**პირობა:**

სურ. 11-ზე იდეალური ვოლტმეტრის ჩვენება 12 ვ-ია. $R_1 = 2$ ომი; $R_2 = 3$ ომი; $R_3 = 9$ ომი და $R_4 = 6$ ომი. იპოვეთ:

ა) დენის ძალა $R_2$-ში.

ბ) ძაბვა მომჭერებს შორის.

**ამოხსნა:**

იდეალური ვოლტმეტრი პარალელური უბნის ბოლოებს შორის ძაბვას ზომავს, ამიტომ ზედა შტოზე $R_2 + R_3$ და ქვედა $R_4$ რეზისტორზე ძაბვა 12 ვ-ია.

ა) ზედა შტოს წინაღობა:

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 3 + 9 = 12 \text{ ომი}.$$

$$I_2 = I_{23} = 12/12 = 1 \text{ ა}.$$

ქვედა შტოში:

$$I_4 = 12/6 = 2 \text{ ა}.$$

ამიტომ $R_1$-ში გამავალი სრული დენია:

$$I = I_{23} + I_4 = 1 + 2 = 3 \text{ ა}.$$

$$U_1 = IR_1 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ ვ}.$$

ბ) მომჭერებს შორის სრული ძაბვა:

$$U = U_1 + 12 = 6 + 12 = 18 \text{ ვ}.$$

**პასუხი:**

**ა)** 1 ა; **ბ)** 18 ვ.

**ამოცანა 22**

**პირობა:**

მოცემული გვაქვს საკმარისი რაოდენობის **25 ომიანი** რეზისტორი. რეზისტორების რა მინიმალური რაოდენობითაა შესაძლებელი ავაწყოთ წრედი, რომლის წინაღობა **15 ომის** ტოლი იქნება? დახაზეთ ეს წრედი.

**ამოხსნა:**

ავიღოთ თითოეული რეზისტორის წინაღობა $R = 25$ ომი. ორი პარალელურად შეერთებული რეზისტორის წინაღობაა:

$$R/2 = 12{,}5 \text{ ომი.}$$

ამ წყვილს მიმდევრობით დავუმატოთ ერთი $R$ რეზისტორი:

$$R_s = R + R/2 = 25 + 12{,}5 = 37{,}5 \text{ ომი.}$$

მიღებული შტო პარალელურად შევაერთოთ მეოთხე 25 ომიან რეზისტორთან:

$$R_\text{სრ} = (25 \cdot 37{,}5)/(25 + 37{,}5) = 15 \text{ ომი.}$$

ერთი, ორი ან სამი ერთნაირი 25 ომიანი რეზისტორის მიმდევრობით/პარალელურად შეერთებით 15 ომი ვერ მიიღება, ამიტომ მინიმალური რაოდენობა ოთხია.

**პასუხი:**

4 **რეზისტორი.**

**ამოცანა 23**

**პირობა:**

სურ. 12-ზე გამოსახულ წრედში ძაბვა მომჭერებს შორის 6 ვ-ია. $r^1 = 30$ ომი; $r^2 = 60$ ომი; $r_3 = 25$ ომი და $r_4 = 100$ ომი. იპოვეთ ამპერმეტრის ჩვენება.

**ამოხსნა:**

სურ. 12-ის მიხედვით ამპერმეტრი დგას იმ საერთო სადენში, რომელიც $r_1, r_2$ და $r_3$ პარალელურ შტოებს კვებავს. $r_4$-ის დენი ამპერმეტრში არ გადის.

სამივე პარალელურ რეზისტორზე ძაბვა 6 ვ-ია:

$$I_1 = 6/30 = 0{,}20 \text{ ა,}$$

$$I_2 = 6/60 = 0{,}10 \text{ ა,}$$

$$I_3 = 6/25 = 0{,}24 \text{ ა.}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}54 \text{ ა} = 540 \text{ მა.}$$

**პასუხი:**

540 მა.

**ამოცანა 24***

**პირობა:**

სურ. 13-ზე გამოსახულ წრედში ძაბვა $A$ და $B$ მომჭერებს შორის 18 ვ-ია. $R^1 = R^2 = 8$ ომი; $R_3 = 3$ ომი; $R_4 = 6$ ომი და $R_5 = 4$ ომი. იპოვეთ დენის ძალა (მოდული და დენის მიმართულება) $CD$ სადენში.

**ამოხსნა:**

$C$ და $D$ წერტილები იდეალური სადენითაა შეერთებული, ამიტომ მათი პოტენციალები ტოლია და ისინი ერთ კვანძად შეიძლება მივიჩნიოთ.

$A$-დან ამ კვანძამდე $R_1$ და $R_2$ პარალელურადაა:

$$R_AX = 4 \text{ ომი.}$$

ამ კვანძიდან მარჯვენა კვანძამდე $R_3$ და $R_4$ პარალელურადაა:

$$R_XY = 2 \text{ ომი.}$$

$R_5 = 4$ ომი მათთან მიმდევრობითაა, ამიტომ:

$$R_\text{სრული} = 4 + 2 + 4 = 10 \text{ ომი.}$$

$$I = 18/10 = 1{,}8 \text{ ა.}$$

პირველ პარალელურ უბანზე ძაბვაა $U_AX = 1{,}8 \cdot 4 = 7{,}2$ ვ, ამიტომ $R_1$-სა და $R_2$-ში თითოეულში:

$$I_1 = I_2 = 7{,}2/8 = 0{,}9 \text{ ა.}$$

მეორე პარალელურ უბანზე ძაბვაა $U_XY = 1{,}8 \cdot 2 = 3{,}6$ ვ:

$$I_3 = 3{,}6/3 = 1{,}2 \text{ ა}, \quad I_4 = 3{,}6/6 = 0{,}6 \text{ ა.}$$

$C$ კვანძში $R_2$-დან შედის $0{,}9$ ა, ხოლო $R_3$-ში გადის $1{,}2$ ა. დანაკლისი $0{,}3$ ა უნდა შემოვიდეს $D$-დან $C$-სკენ.

**პასუხი:**

$0{,}3$ ა, მიმართულება $D$-დან $C$-სკენ.

**ამოცანა 25***

**პირობა:**

სურ. 14-ზე გამოსახულ წრედში $R_1 = 3$ კომი, $R_2 = 12$ კომი, $R_3 = 18$ კომი, $R_4 = 9$ კომი და $R_5 = 6$ კომი. იპოვეთ წრედის სრული წინაღობა.

**ამოხსნა:**

სქემა წარმოადგენს ხიდურ წრედს. შევამოწმოთ ხიდის ბალანსის პირობა:

$$R_1/R_5 = 3/6 = 1/2,$$

$$R_4/R_3 = 9/18 = 1/2.$$

ფარდობები ტოლია, ამიტომ $R_2$-ის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნულია და $R_2$-ში დენი არ გადის.

რჩება ორი პარალელური შტო:

$$R_a = R_1 + R_4 = 3 + 9 = 12 \text{ კომი,}$$

$$R_b = R_5 + R_3 = 6 + 18 = 24 \text{ კომი.}$$

$$R = (12 \cdot 24)/(12 + 24) = 8 \text{ კომი.}$$

**პასუხი:**

8 კომი.

**ამოცანა 26**

**პირობა:**

$1{,}5$ ვ ემ ძალისა და $1$ ომი შიგა წინაღობის ორი ელემენტის მიმდევრობით შეერთებით მიღებულ ბატარეაზე შეერთებულია $8$ ომი წინაღობის რეზისტორი.

ა) რისი ტოლია ძაბვა რეზისტორზე?

ბ) რა მუშაობას ასრულებს გარე ძალა ბატარეაში $1$ საათის განმავლობაში?

**ამოხსნა:**

ელემენტები მიმდევრობითაა, ამიტომ მათი ემ ძალები და შიგა წინაღობები იკრიბება:

$$\varepsilon = 1{,}5 + 1{,}5 = 3 \text{ ვ}, \quad r = 1 + 1 = 2 \text{ ომი.}$$

სრული წრედისათვის ომის კანონიდან:

$$I = \varepsilon/(R + r) = 3/(8 + 2) = 0{,}3 \text{ ა.}$$

ა) რეზისტორზე ძაბვა:

$$U = IR = 0{,}3 \cdot 8 = 2{,}4 \text{ ვ}.$$

ბ) გარე ძალების მუშაობა დენის წყაროში გამოითვლება $A_გ = \varepsilon It$. $t = 1$ სთ $= 3600$ წმ:

$$A_გ = 3 \cdot 0{,}3 \cdot 3600 = 3240 \text{ ჯ} = 3{,}24 \text{ კჯ}.$$

**პასუხი:**

**ა)** 2,4 ვ; **ბ)** 3,24 კჯ.

**ამოცანა 27**

**პირობა:**

ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებს შორის ემ ძალის 75%-ს შეადგენს. რისი ტოლია წყაროს შიგა წინაღობა, თუ გარე წინაღობა 15 ომია?

**ამოხსნა:**

მომჭერებზე ძაბვაა $U = IR$, ხოლო $\varepsilon = I(R + r)$. ამიტომ:

$$U/\varepsilon = R/(R + r) = 0{,}75.$$

$$15/(15 + r) = 0{,}75.$$

$$15 = 11{,}25 + 0{,}75r.$$

$$r = 5 \text{ ომი}.$$

**პასუხი:**

5 ომი.

**ამოცანა 28**

**პირობა:**

სურ. 15-ზე გამოსახულ წრედში დენის წყაროს ემ ძალა 10 ვ-ია, შიგა წინაღობა კი — 2 ომი. რისი ტოლია დენის ძალის მნიშვნელობები თითოეულ რეზისტორში, თუ $R_1 = 12$ ომი, $R_2 = 15$ ომი და $R_3 = 10$ ომი.

**ამოხსნა:**

სურ. 15-ის მიხედვით $R_1$ მიმდევრობითაა შეერთებული $R_2$ და $R_3$ რეზისტორების პარალელურ უბანთან.

$$R_{23} = (15 \cdot 10)/(15 + 10) = 6 \text{ ომი}.$$

$$R_გარე = R_1 + R_{23} = 12 + 6 = 18 \text{ ომი}.$$

$$I = \varepsilon/(R_გარე + r) = 10/(18 + 2) = 0{,}5 \text{ ა}.$$

ეს დენი გადის $R_1$-ში:

$$I_1 = 0{,}5 \text{ ა} = 500 \text{ მა}.$$

პარალელურ უბანზე ძაბვა:

$$U_{23} = IR_{23} = 0{,}5 \cdot 6 = 3 \text{ ვ}.$$

$$I_2 = 3/15 = 0{,}2 \text{ ა} = 200 \text{ მა},$$

$$I_3 = 3/10 = 0{,}3 \text{ ა} = 300 \text{ მა}.$$

**პასუხი:**

$$I_1 = 500 \text{ მა}, I_2 = 200 \text{ მა}, I_3 = 300 \text{ მა}.$$

**ამოცანა 29**

**პირობა:**

სურ. 16-ზე გამოსახულ წრედში, როდესაც K ჩამრთველი 1 პოზიციაშია, ვოლტმეტრის ჩვენება 18 ვ-ია, ამპერმეტრის კი — 0,2 ა, ხოლო, როდესაც ჩამრთველი 2 პოზიციაშია, შესაბამისად — 16 ვ და 0,4 ა (ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი იდეალურია).

ა) გამოთვალეთ დენის წყაროს ემ ძალა და შიგა წინაღობა.

ბ) გამოთვალეთ $R_1$ და $R_2$ წინაღობების მნიშვნელობები.

გ) რისი ტოლი იქნება ვოლტმეტრის და ამპერმეტრის ჩვენება, თუ ჩამრთველს 3 პოზიციაში ჩავრთავთ?

**ამოხსნა:**

ა) დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვა დატვირთვისასაა $U = \varepsilon - Ir$.

$$18 = \varepsilon - 0{,}2r,$$

$$16 = \varepsilon - 0{,}4r.$$

პირველი განტოლებიდან მეორის გამოკლებით:

$$2 = 0{,}2r, \quad r = 10 \text{ ომი}.$$

$$\varepsilon = 18 + 0{,}2 \cdot 10 = 20 \text{ ვ}.$$

ბ) 1 პოზიციაში გარე წინაღობა $R_1$-ია:

$$R_1 = U_1/I_1 = 18/0{,}2 = 90 \text{ ომი}.$$

2 პოზიციაში:

$$R_2 = U_2/I_2 = 16/0{,}4 = 40 \text{ ომი}.$$

გ) 3 პოზიციაში წყაროს მომჭერები იდეალური სადენით მოკლედ ერთდება, ანუ გარე წინაღობა ნულია. ამიტომ:

$$U = 0 \text{ ვ}.$$

$$I_{მ.ჩ} = \varepsilon/r = 20/10 = 2 \text{ ა}.$$

**პასუხი:**

**ა)** $\varepsilon = 20$ ვ, $r = 10$ ომი; **ბ)** $R_1 = 90$ ომი, $R_2 = 40$ ომი; **გ) ვოლტმეტრი** 0 ვ, **ამპერმეტრი** 2 ა.

**ამოცანა 30**

**პირობა:**

რამდენი პოლუსი აქვს ოთხი მაგნიტისგან შექმნილ სისტემას (სურ. 17)?

**ამოხსნა:**

თითოეულ ზოლოვან მაგნიტს ყოველთვის ორი პოლუსი აქვს და ერთპოლუსიანი მაგნიტის მიღება შეუძლებელია. სურ. 17-ში ოთხივე მაგნიტი სისტემაში გაერთიანების შემდეგაც თავის ორ პოლუსს ინარჩუნებს.

$$N_{პოლუსი} = 4 \cdot 2 = 8.$$

**პასუხი:**

**8 პოლუსი.**

**ამოცანა 31**

**პირობა:**

0,5 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია 20 ხვიისგან შედგენილი ბრტყელი მართკუთხა ჩარჩო 4 სმ და 5 სმ სიგრძის გვერდებით. ჩარჩოში ატარებენ 1 ა დენს. რისი ტოლია მაგნიტური ველის მხრიდან ჩარჩოზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტი, როცა კუთხე ჩარჩოს ნორმალსა და ინდუქციის ვექტორს შორის ა) 0°-ია; ბ) 60°-ია; გ) 90°-ია.

**ამოხსნა:**

მრავალხვიანი ჩარჩოს მაბრუნებელი მომენტია:

$$M = NBIS \cdot \sin\alpha.$$

ჩარჩოს ფართობი:

$$S = 0{,}04 \cdot 0{,}05 = 0{,}002 \text{ მ}^2.$$

$$NBIS = 20 \cdot 0{,}5 \cdot 1 \cdot 0{,}002 = 0{,}02 \text{ ნ} \cdot \text{მ}.$$

ა) $\alpha = 0°$:

$$M_0 = 0{,}02 \cdot \sin 0° = 0.$$

ბ) $\alpha = 60°$:

$$M_{60} = 0{,}02 \cdot \sin 60° \approx 0{,}0173 \text{ ნ} \cdot \text{მ} \approx 17 \text{ მნ} \cdot \text{მ}.$$

გ) $\alpha = 90°$:

$$M_{90} = 0{,}02 \cdot \sin 90° = 0{,}02 \text{ ნ} \cdot \text{მ} = 20 \text{ მნ} \cdot \text{მ}.$$

**პასუხი:**

**ა) 0; ბ)** $\approx$ 17 მნ · მ**; გ)** 20 მნ · მ.

**ამოცანა 32**

**პირობა:**

ჰორიზონტალურად მიმართულ $B = 0{,}5$ ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირების მართობულად, ორ ძაფზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში დაკიდებულია $L = 60$ სმ სიგრძის სპილენძის სწორი მავთული. მოქნილი, მსუბუქი მიმყვანი სადენებით მავთულში გაატარეს ისეთი მიმართულების $I = 2$ ა დენი, რომ ძაფების დაჭიმულობა გაიზარდა და ჯამურად 0,8 ნ-ის ტოლი გახდა (ძაფები ვერტიკალურ მდგომარეობაშია). რისი ტოლია მავთულის მასა?

**ამოხსნა:**

მავთული მაგნიტური ველის წირების მართობულია, ამიტომ ამპერის ძალაა:

$$F = BIL = 0{,}5 \cdot 2 \cdot 0{,}6 = 0{,}6 \text{ ნ}.$$

ძაფების დაჭიმულობა გაიზარდა, მაშასადამე ამპერის ძალა სიმძიმის ძალის მიმართულებით, ქვევით მოქმედებს. ორი ძაფის დაჭიმულობათა ჯამია:

$$T_1 + T_2 = mg + F = 0{,}8 \text{ ნ}.$$

$$mg = 0{,}8 - 0{,}6 = 0{,}2 \text{ ნ}.$$

$$m = 0{,}2/10 = 0{,}02 \text{ კგ} = 20 \text{ გ}.$$

**პასუხი:**

20 გ.

**ამოცანა 33**

**პირობა:**

$1{,}9 \cdot 10^{-15}$ ჯ კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონი წირების მართობულად შეიჭრა $0{,}5$ ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში (სურ. 18). გამოთვალეთ:

ა) პროტონზე მოქმედი ლორენცის ძალა;

ბ) პროტონის ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი.

**ამოხსნა:**

პროტონი ველში წირების მართობულად შედის, ამიტომ $\sin 90° = 1$. ჯერ კინეტიკური ენერგიიდან ვიპოვოთ სიჩქარე. სახელმძღვანელოს ცხრილის მნიშვნელობებით ავიღოთ $m \approx 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ კგ და $q = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ.

$$E = mv^2/2.$$

$$v = \sqrt{(2E/m)} = \sqrt{[2 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{-15}/(1{,}67 \cdot 10^{-27})]} \approx 1{,}51 \cdot 10^{6} \text{ მ/წმ}.$$

ა) ლორენცის ძალის მოდული:

$$F_{ლ} = qvB = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}51 \cdot 10^{6} \cdot 0{,}5 \approx 1{,}2 \cdot 10^{-13} \text{ ნ}.$$

ბ) მაგნიტური ძალა ცენტრისკენული ძალის როლს ასრულებს:

$$qvB = mv^2/R.$$

$$R = mv/(q_pB) \approx 0{,}0315 \text{ მ} \approx 3{,}15 \text{ სმ}.$$

**პასუხი:**

**ა)** $\approx 1{,}2 \cdot 10^{-13}$ ნ; **ბ)** $\approx 3{,}15$ სმ.

ენგურჰესი საქართველოს უმნიშვნელოვანესი საინჟინრო ნაგებობა და ქვეყნის ენერგეტიკული სისტემის საყრდენია. მდინარე ენგურზე აღმართული ამ რკინაბეტონის თაღოვანი კაშხლის სიმაღლე 271 მეტრს აღწევს, რაც დაახლოებით 80-სართულიანი ცათამბჯენის სიმაღლის ტოლია. წლების განმავლობაში ენგურჰესი მსოფლიოში ყველაზე მაღალ თაღოვან კაშხლად ითვლებოდა და დღემდე უმაღლესი კაშხალია სამხრეთ კავკასიაში. ის ამოქმედდა 1978 წელს, რითაც ქართულ ენერგეტიკაში ახალი ერა დაიწყო.

კაშხლიდან წყალი დაახლოებით 15 კილომეტრი სიგრძისა და 9 მეტრი დიამეტრის გვირაბით მიედინება გალის მუნიციპალიტეტის სოფელ საბერიოს მიმართულებით, სადაც მისი ენერგია ელექტროენერგიად გარდაიქმნება. ეს არის საინჟინრო და ტექნიკური შესაძლებლობების გამორჩეული ნიმუში, რომელიც ქართველი სპეციალისტების ჩართულობითაა შექმნილი.

2015 წლიდან ენგურჰესს კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლის სტატუსი მიენიჭა, რაც იმის დასტურია, რომ ის არა მხოლოდ ტექნოლოგიური მიღწევა, არამედ ჩვენი ისტორიის განუყოფელი ნაწილია.

