განათლების, მეცნიერებისა და
ახალგაზრდობის სამინისტრო

ფიზიკა 10

მოსწავლის წიგნი
პირველი ნაწილი



მერაბ ტუღუში თეიმურაზ შენგელია ოლეგ გაბრიაძე
ნათელა ჩაჩავა გიორგი ლომიძე

ფიზიკა 10

მოსწავლის 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
მოსწავლის 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 მოსწავლეებისთვის და შექმნილია ეროვნული სასწავლო გეგმის მოთხოვნების შესაბამისად. სახელმძღვანელოში გამოყენებულია ციფრული ლიცენზირებული პლატფორმებიდან შეძენილი/მოპოვებული ფოტოილუსტრაციები. ასევე, ცალკეული ფოტოილუსტრაციები შექმნილია/დამუშავებულია ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით.

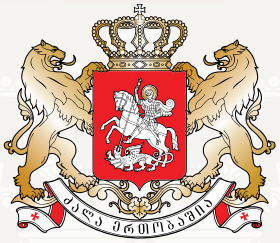
სახელმძღვანელოს კომპლექტის შემადგენლობა:
მოსწავლის წიგნი I და II ნაწილები;
მასწავლებლის წიგნი I და II ნაწილები.

განათლების, მეცნიერებისა და
ახალგაზრდობის სამინისტრო

© საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო
ISBN ISBN 978-9941-8-8924-0

საქართველოს სახელმწიფო სიმბოლოები - დროშა, გერბი და ჰიმნი





თავისუფლება

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

მოუსმინეთ ჰიმნს

ლექსი დავით მაღრაძისა
მუსიკა ზაქარია ფალიაშვილისა
ჰიმნად დაამუშავა იოსებ კეკელიძემ

პირობითი ნიშნების განმარტება

რუბრიკაში გადმოცემულია პარაგრაფის მოკლე შინაარსი და მიღებული ცოდნის გამოყენების შესაძლებლობები.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

აქტივობა, რომელიც უნდა განხორციელდეს საგაკვეთილო პროცესში: ამოცანების ამოხსნა, ექსპერიმენტების ჩატარება, კითხვებზე პასუხის გაცემა და ა.შ.


საკლასო აქტივობა

რუბრიკაში მოცემულია შეკითხვები, რომლებზეც პასუხის გაცემას პარაგრაფის გააზრება სჭირდება.


უპასუხეთ კითხვებს

რუბრიკაში მოცემულია დებულებების სახით ჩამოყალიბებული, პარაგრაფის შინაარსიდან გამომდინარე, დასკვნები.


რა ვისწავლეთ

პარაგრაფის შინაარსთან დაკავშირებული დამატებითი ინფორმაცია, რომელიც ისტორიული ან ცხოვრებისეული ფაქტების გადმოსაცემად გამოიყენება.


ეს საინტერესოა

პარაგრაფის შინაარსთან დაკავშირებული დამატებითი ინფორმაცია, რომელიც მიღებული ცოდნის გასაღრმავებლად გამოიყენება.


კიდევ რა შეიძლება ვიცოდეთ

განხილული საკითხის შესაბამისი ამოცანების ამოხსნის ნიმუშები.


როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანები, საშინაო ექსპერიმენტები, შეკითხვები, ტესტები და სხვა სავარჯიშოები, რომლებზეც მოსწავლეებმა დამოუკიდებლად უნდა იმუშაონ.


საშინაო აქტივობა

ტერმინები, რომლებიც პირველად შეგვხვდა და, პარაგრაფის შინაარსიდან გამომდინარე, საკვანძო სიტყვებია.

ახალი ტერმინები

ამოცანები, რომელთა ამოხსნას საკითხების მეტად გააზრება და სხვადასხვა ცოდნის ერთმანეთთან დაკავშირება სჭირდება.

* ვარსკვლავით მონიშნული ამოცანები

უსაფრთხოების ნიშნების განმარტება

ფიზიკა ექსპერიმენტული მეცნიერებაა. მის შესწავლაში დიდ როლს ექსპერიმენტი ასრულებს.

გახსოვდეთ: უსაფრთხოება უპირველესია! ცდების ჩატარებისას ყურადღება მიაქციეთ გამაფრთხილებელ ნიშნებს და გამოიყენეთ საჭირო აღჭურვილობა. უსაფრთხოების ზომების დაცვა თავიდან აგარიდებთ გარკვეულ უსიამოვნებებს, რომლებიც ექსპერიმენტულ კვლევებს ზოგჯერ თან ახლავს.

გამაფრთხილებელი ნიშნები


მსხვრევადი ჭურჭელი


ცხელი ზედაპირი


ფრთხილად ელექტრობასთან


საჭიროა განსაკუთრებული სიფრთხილე

ექსპერიმენტის ჩატარებისას საჭირო აღჭურვილობა და რჩევები


წინსაფარი


ნიღაბი


ხელთათმანები


სათვალე


გააღეთ ფანჯარა, გაანიავეთ ოთახი.


ფიზბოტი

ყურადღება! ყველა დავალება შეასრულეთ რვეულში.

სარჩევი

თემა I. ელექტრომაგნიტიზმი 11
თავი I. ელექტრული მოვლენები 11

1.1. სხეულთა დაელექტროება 12
1.1.1. ელექტრული მიზიდვა და ელექტრული განზიდვა 13
1.1.2. სხეულთა დაელექტროება 13
1.1.3. ორი სახის ელექტრობა 14
1.1.4. ელექტრული მუხტი 14
1.1.5. დადებითი და უარყოფითი მუხტი. დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედება 15

1.2. ელემენტარული მუხტი 19
1.2.1. ატომი. ტომსონის მოდელი. ელექტრონი 19
1.2.2. პლანეტარული მოდელი. ატომბირთვი. პროტონი. ნეიტრონი 20
1.2.3. დადებითი და უარყოფითი იონები 20
1.2.4. ელექტრული მუხტის დისკრეტულობა 21
1.2.5. ატომის შემადგენელი ნაწილაკების მასა და მუხტი 21

1.3. სხეულთა დაელექტროების ხერხები. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი 27
1.3.1. სხეულთა დაელექტროება ხახუნით 27
1.3.2. სხეულთა დაელექტროება ურთიერთშეხებისას 28
1.3.3. გავლენით დაელექტროება 28
1.3.4. დამუხტული და დაუმუხტავი სხეულების ურთიერთმიზიდვის მექანიზმი 29
1.3.5. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი 29

1.4. კულონის კანონი 34
1.4.1. წერტილოვანი მუხტების ურთიერთქმედება 34
1.4.2. კულონის კანონი 34
1.4.3. კულონური ძალების ტოლქმედი 36

1.5. ელექტრული ველი 41
1.5.1. ელექტრული ველი 41
1.5.2. ელექტრული ველის დაძაბულობა 41
1.5.3. წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა 42
1.5.4. ელექტრული ველების ზედდების პრინციპი 43

1.6. ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები 46
1.6.1. ელექტრული ველის ძალწირები 46
1.6.2. წერტილოვანი მუხტების დაძაბულობის წირები 46
1.6.3. ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ძალწირები 47

1.7. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი. ძაბვა 51
1.7.1. მუხტის პოტენციალური ენერგია 51
1.7.2. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი 52
1.7.3. პოტენციალთა სხვაობა. ძაბვა 52

1.8. ელექტრული დენი. დენის წყარო. ელექტრული წრედი 58
1.8.1. ელექტრული დენი 58
1.8.2. დენის წყარო 58
1.8.3. ელექტრული წრედი 59
1.8.4. ელექტრული დენის მოქმედებები 61

1.9. დენის ძალა და მისი ერთეული 65
1.9.1. დენის ძალა 65
1.9.2. ამპერმეტრი 66
1.9.3. დენის მუშაობა 67
1.9.4. ვოლტმეტრი 69

1.10. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი.
გამტარის წინაღობა. კუთრი წინაღობა 75
1.10.1. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი 75
1.10.2. წინაღობა 77
1.10.3. ომის კანონი წრედის უბნისთვის 79
1.10.4. კუთრი წინაღობა 80
1.10.5. რეზისტორი 82

1.11. გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება 87
1.11.1. მიმდევრობითი შეერთება 87
1.11.2. პარალელური შეერთება 89

1.12. დენის წყაროს ემძ. ომის კანონი სრული წრედისთვის 96
1.12.1. დენის წყარო 96
1.12.2. ომის კანონი სრული წრედისთვის 97
1.12.3. მოკლე ჩართვა 99

1.13. ელექტრული დენი ლითონებსა და სითხეებში. ელექტროლიზის მოვლენა 104
1.13.1. დენი ლითონებში 104
1.13.2. დენი სითხეებში 106

თემა I. ელექტრომაგნიტიზმი 116
თავი II. მაგნიტური მოვლენები 116

2.1. ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები 117
2.1.1. ბუნებრივი მაგნიტი. ხელოვნური მაგნიტი. დამაგნიტება 117
2.1.2. მაგნიტის პოლუსები 118
2.1.3. დენის მაგნიტური მოქმედება. დენის მაგნიტური ველი 120

2.2. მაგნიტური ველი 123
2.2.1. მაგნიტური ურთიერთქმედების აღწერა 123
2.2.2. მაგნიტური ველის წარმოქმნის მექანიზმი 125

2.3. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი. მაგნიტური ინდუქციის წირები 129
2.3.1. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება 129
2.3.2. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდული 130
2.3.3. მაგნიტური ინდუქციის წირები 132

2.4. მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარსა და მოძრავ მუხტზე 139
2.4.1. ამპერის ძალა 139
2.4.2. ლორენცის ძალა 141

2.5. დედამიწის მაგნიტური ველი. კომპასი. პოლარული ციალი 147
2.5.1. დედამიწის მაგნიტური ველი 147
2.5.2. კომპასი 149
2.5.3. პოლარული ციალი 149

დამატებითი ამოცანები 151

ცხრილები 157

საგნობრივი საძიებელი 158

პასუხები 159

ძვირფასო მეგობარო!

ჩვენ ვაგრძელებთ იმ მეცნიერების შესწავლას, რომელიც სამყაროს შემეცნების ერთ-ერთი საძირკველია. გავიხსენოთ, რომ სიტყვა **„ფიზიკა“** წარმოქმნილია ძველი ბერძნული სიტყვისაგან ***„φυσις“* (ფიუსის),** რაც ბუნებას ნიშნავს.

რატომ არის ფიზიკა მნიშვნელოვანი თითოეული ჩვენგანისთვის?

ყველა საბუნებისმეტყველო მეცნიერება (ქიმია, ბიოლოგია, გეოლოგია, ასტრონომია და სხვა), მედიცინა და მრავალი სხვა დარგი ეყრდნობა ფიზიკის კანონებს. ამ კანონების ცოდნის გარეშე ვერ გავიგებთ, როგორ მიმდინარეობს ქიმიური რეაქციები, ფოტოსინთეზი, როგორ მოძრაობს სისხლი ძარღვებში, როგორ გადაეცემა ნერვული იმპულსები, როგორ გადაადგილდება ტექტონიკური ფილები, როგორ მოძრაობენ პლანეტები და ა.შ.

მრავალი მექანიზმი, რომელიც ჩვენს ყოველდღიურობას ქმნის – მობილური ტელეფონებიდან და კომპიუტერებიდან დაწყებული, ხელოვნური ინტელექტითა და კოსმოსური თანამგზავრებით დამთავრებული – უმეტესად ფიზიკოსების აღმოჩენების შედეგია.

თქვენ უკვე მეათე კლასში ხართ. სულ მალე სკოლას დაამთავრებთ და მომავალ პროფესიას აირჩევთ. ზოგიერთი თქვენგანი ისეთ სფეროში დააპირებს მოღვაწეობას, რომელშიც ფიზიკის ცოდნა მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს, ზოგიერთი კი ისეთ სფეროში, რომელშიც, შესაძლოა, ფიზიკის კანონების ცოდნა არ იყოს აუცილებელი. თუმცა, ყველა ადამიანს, მიუხედავად მისი მომავალი საქმიანობისა, ფიზიკა ასწავლის მთავარს: მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენას მოვლენებს შორის, ფაქტების კრიტიკულ ანალიზს, რაც ნებისმიერ პროფესიაში გამოსადეგია.

წელს თქვენ შეისწავლით ფიზიკის ერთ-ერთ ყველაზე საინტერესო და ფუნდამენტურ ნაწილს – ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს.





XIX საუკუნის შუა წლებამდე ელექტრობა, მაგნიტიზმი და ოპტიკა დამოუკიდებელ დარგებად ითვლებოდა. თუმცა, დიდ მეცნიერთა: კულონის, ამპერის, ფარადეის, მაქსველის და სხვა მრავალი ფიზიკოსის შრომებმა კაცობრიობას დაანახა, რომ ეს მატერიის გარკვეული სახის – ელექტრომაგნიტური ველის სხვადასხვა გამოვლინებაა. ელექტრული და მაგნიტური მოვლენების შესწავლის შედეგად შექმნილი ტექნოლოგიები გახდა საოცარი პროგრესის საფუძველი. სულ რაღაც ორასი წლის განმავლობაში ადამიანთა ყოველდღიურობაში სანთლის შუქზე წაკითხული წიგნი და ცხენიანი ეტლი ინტერნეტმა და ელექტრომობილმა ჩაანაცვლა. ამის გარეშე ჩვენი ტექნოლოგიები დღემდე იქნებოდა დაფუძნებული მხოლოდ წყლისა და ორთქლის ძალის, ასევე ადამიანისა და ცხოველის კუნთის ძალის გამოყენებაზე.

ელექტრომაგნიტიზმის წყალობით რადიკალურად შეიცვალა ბევრი ძირითადი სფერო:

- **ყოფა-ცხოვრება:** ნათურა, კონდიციონერი, ელექტროღუმელი, მიკროტალღური ღუმელი, მაცივარი და ა.შ;
- **ტრანსპორტი:** ელმავალი, მეტრო, თანამედროვე თვითმფრინავები, ელექტრომობილები და ა.შ;
- **ინფორმაციის გადაცემა:** ტელეგრაფი, რადიო, ტელევიზია, ტელეფონი, ინტერნეტი, კომპიუტერები და ა.შ;
- **მედიცინა:** ელექტროკარდიოგრამა, რენტგენის სხივები, სხივური თერაპია, მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია და ა.შ.
- **ენერგეტიკა:** ჩვენ ვისწავლეთ მექანიკური ენერგიის გარდაქმნა ელექტრულ ენერგიად და მისი გადაცემა დიდ მანძილებზე. ადამიანებისა და ცხოველების შრომა ჩაანაცვლა ელექტროძრავებმა, რომლებიც ყველგანაა – დაწყებული ქარხნული დაზგებიდან, თმის საკრეჭებით დამთავრებული;






ფიზიკა არ არის ფორმულების ერთობლიობა, რომელიც ზეპირად უნდა ისწავლოთ. ეს არის ლოგიკური სისტემა, ამიტომ ამ სახელმძღვანელოთი მუშაობისას გაითვალისწინეთ შემდეგი რჩევები:

- **გაიაზრეთ** ფიზიკური მოვლენების მიზეზები და შედეგები და ეცადეთ, დაუკავშიროთ თქვენი ცოდნა ყოველდღიურ ცხოვრებას;
- **ჩაატარეთ ექსპერიმენტი:** ფიზიკა ექსპერიმენტული მეცნიერებაა. მხოლოდ ცდის შედეგად იძენს თეორია აზრს და ხდება სიცოცხლისუნარიანი;
- **ამოხსენით ამოცანები:** ეს საუკეთესო გზაა, რათა ისწავლოთ აბსტრაქტული კანონების გამოყენება რეალური პრობლემების გადასაჭრელად.

წარმატებებს გისურვებთ აღმოჩენების გზაზე!

თემა I. ელექტრომაგნიტიზმი

თავი I. ელექტრული მოვლენები

ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- სხეულთა დაელექტროებას და ელექტრულ მუხტს;
- ელექტრული მუხტის შენახვის კანონს;
- დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას;
- ელექტრულ ველს და მისი ვიზუალურად გამოსახვის ხერხს;
- ელექტრული ველის მუშაობას და მუხტის პოტენციალურ ენერგიას;
- ელექტრული ველის პოტენციალს და პოტენციალთა სხვაობას;
- ელექტრულ დენს და დენის წყაროებს;
- დენის ძალისა და ძაბვის გაზომვის მეთოდებს;
- გამტარის წინაღობას;
- გამტარების მიმდევრობით და პარალელურ შეერთებას;
- ელექტრომამოძრავებელ ძალას და ომის კანონს;
- ელექტრულ დენს სხვადასხვა გარემოში.



1.1. სხეულთა დაელექტროება

25 საუკუნეზე მეტი ხნის წინ ძველი ბერძენი ფილოსოფოსის, თალეს მილეთელისთვის ცნობილი იყო, რომ შალის ნაჭერზე გახახუნების შემდეგ ქარვა იძენდა მშრალი, მსუბუქი სხეულების მიზიდვის უნარს (სურ. 1.1.1). ეს მოვლენა დიდი ხნის განმავლობაში იყო აუხსნელი და მას პრაქტიკული გამოყენება არ ჰქონდა.

მე-17 საუკუნის დასაწყისში ინგლისელმა ექიმმა უილიამ ჰილბერტმა გამოაქვეყნა სამეცნიერო ნაშრომი, რომელშიც აჩვენა, რომ ქსოვილზე გახახუნებით პატარა სხეულების მიზიდვის უნარს, ქარვის გარდა, იძენს ალმასი, გოგირდი, საფირონი, მინა და სხვა სხეულები. ჰილბერტმა პირველმა შემოიტანა ტერმინი „ელექტრული“ მოვლენები (ძველ ბერძნულ ენაზე ქარვას „ელექტრონ“ (ηλεκτρον) ჰქვია) და ამ ნივთიერებებს ელექტრული თვისებების მატარებლები, ხოლო მათ შორის მიზიდვას – ელექტრული მიზიდვა უწოდა.

იმავე საუკუნის მეორე ნახევარში ქალაქ მაგდებურგის (გერმანია) ბურგომისტრმა ოტტო ფონ გერიკემ ჩაატარა ცდები და პირველმა აჩვენა, რომ ელექტრული მიზიდვის გარდა, ადგილი აქვს ელექტრულ განზიდვას. **რა განაპირობებს ელექტრულ მიზიდვას? ელექტრულ განზიდვას?** ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** როგორ გროვდებოდა ცოდნა ელექტრული მოვლენების შესახებ;
- **გაეცნობით:** სხეულთა დაელექტროების მოვლენისა და ელექტრული ურთიერთქმედების საფუძვლებს;
- **ამოიცნობთ:** ყოველდღიურ ცხოვრებაში მიმდინარე ელექტრულ მოვლენებს;
- **ახსნით:** როგორ ელექტროვდებიან სხეულები და როგორ უკავშირდება ორგვარი ელექტრობა ელექტრულ მიზიდვას და განზიდვას.





სურ. 1.1.1 ქარვა – უძველესი წიწვოვანი მცენარეების გაქვავებული ფისი



დამუხტული ჩოგბურთის ბურთი



თმაზე ბუშტის გახახუნების შედეგად იმუხტება თმაც და ბუშტიც

1.1.1. ელექტრული მიზიდვა და ელექტრული განზიდვა

განვიხილოთ რამდენიმე მარტივი ცდა:

ავიღოთ ორი გაბერილი ბუშტი და გამოვაბათ თითოეულს ძაფი. თუ ერთ-ერთ ბუშტს ძაფით ჩვენს სიახლოვეს დავკიდებთ, ბუშტსა და ჩვენს შორის ვერც მიზიდვას და ვერც განზიდვას ვერ შევამჩნევთ (სურ. 1.1.2 ა). ასევე ვერ შევამჩნევთ ურთიერთქმედებას ბუშტებს შორის, როდესაც მათ ერთმანეთის გვერდით დავკიდებთ (სურ. 1.1.2 ბ) – ძაფები ორივე შემთხვევაში შვეულად განლაგდება. ერთი ბუშტი ტანსაცმელზე რამდენჯერმე გავახახუნოთ და ჩვენს სიახლოვეს დავკიდოთ. ბუშტი მიიზიდება ჩვენ მიერ (ჩვენი ტანსაცმელი მიიზიდავს მას) (სურ. 1.1.3 ა). თუ მეორე ბუშტსაც გავახახუნებთ ტანსაცმელზე და ბუშტებს ერთმანეთის გვერდით დავკიდებთ, ისინი ერთმანეთს განიზიდავენ (სურ. 1.1.3 ბ).

მოცემული თავის დამატებითი ელექტრონული რესურსები იხილეთ QR-კოდზე:





სურ. 1.1.2



სურ. 1.1.3

1.1.2. სხეულთა დაელექტროება

ამ დროს ვამბობთ, რომ ბუშტი და ტანსაცმელი ერთმანეთზე ხახუნის შედეგად **დაელექტროვდა**, სხეულებს (ტანსაცმელს და ბუშტებს) კი **დაელექტროებული სხეულები** ეწოდება.

თუ ბუშტებს თავიდანვე არა ტანსაცმელზე, არამედ ერთმანეთზე გავახახუნებთ და ერთმანეთის სიახლოვეს დავკიდებთ, შევამჩნევთ, რომ ძაფები შვეულად განლაგდება, ე.ი ბუშტები არ ურთიერთქმედებენ – ისინი არ დაელექტროებულან.

ერთისა და იმავე ნივთიერებისგან შედგენილი სხეულები ერთმანეთზე ხახუნისას არ ელექტროვდებიან. სხვადასხვა ნივთიერებისგან შედგენილი სხეულები ერთმანეთზე ხახუნისას, უმეტესად, ელექტროვდებიან.

სხეულთა დაელექტროებისთვის აუცილებელია მათ შორის მჭიდრო კონტაქტი. მათი ერთმანეთზე გახახუნება კი სწორედ ამას უზრუნველყოფს, რადგანაც ხახუნი ზრდის სხეულების ურთიერთშეხების ზედაპირის ფართობს.

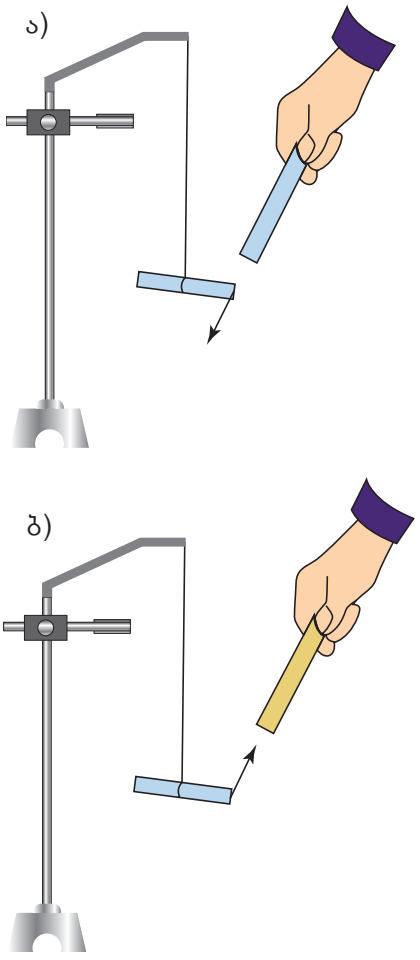
ორი სხეულის ერთმანეთზე ხახუნის შედეგად, თუ ერთი დაელექტროვდა, აუცილებლად დაელექტროვდება მეორეც.

1.1.3. ორი სახის ელექტრობა

განვიხილოთ ექსპერიმენტი: ავიღოთ მინის ორი ღერო და ორივე გავახახუნოთ აბრეშუმის ქსოვილზე. შემდეგ მინის ერთ-ერთი ღერო ძაფით ჩამოვკიდოთ შტატივზე და მივუახლოოთ მას მინის მეორე ღერო. შევამჩნევთ, რომ ღეროები ერთმანეთს განიზიდავს (სურ. 1.1.4 ა). თუ ძაფზე დაკიდებულ მინის ღეროს მივუახლოებთ შალის ქსოვილზე ხახუნით დაელექტროებულ ქარვის ღეროს, შევამჩნევთ, რომ ქარვა მინას მიიზიდავს (სურ. 1.1.4 ბ).

ცდების საფუძველზე მე-18 საუკუნეში გამოითქვა ვარაუდი ორი სახის ელექტრობის არსებობის შესახებ, შესაბამისად, დაელექტროებული სხეულები დაყვეს ორ ჯგუფად. ერთ ჯგუფში შევიდა აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნის შედეგად დაელექტროებული მინის ღერო და ყველა დაელექტროებული სხეული, რომელიც მის მსგავსად იქცეოდა. მეორე ჯგუფში – შალის ქსოვილზე ხახუნის შედეგად დაელექტროებული ქარვის ღერო და ყველა დაელექტროებული სხეული, რომელიც მის მსგავსად იქცეოდა.

აბრეშუმზე ხახუნით დაელექტროებული მინის ღეროები ზემოთ ხსენებული კლასიფიკაციით ერთ ჯგუფს განეკუთვნებიან, ხოლო აღნიშნული მინის ღერო და შალზე ხახუნით დაელექტროებული ქარვის ღერო – სხვადასხვას. ნივთიერებათა სხვადასხვა ჯგუფში შემავალი დაელექტროებული სხეულები ერთმანეთს იზიდავს, ხოლო ერთ ჯგუფში შემავალი სხეულები – ერთმანეთს განიზიდავს.



სურ. 1.1.4

1.1.4. ელექტრული მუხტი

სხეულთა ელექტრული თვისებების დასახასიათებლად შემოიტანეს მუხტის ცნება. დაელექტროებულ სხეულებს **დამუხტულ სხეულებს** უწოდებენ.

ელექტრული ურთიერთქმედების უნარის რაოდენობრივი შეფასებისთვის შემოიტანეს სკალარული ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც **ელექტრული მუხტი** უწოდეს. ელექტრულ მუხტს q ასოთი აღნიშნავენ.

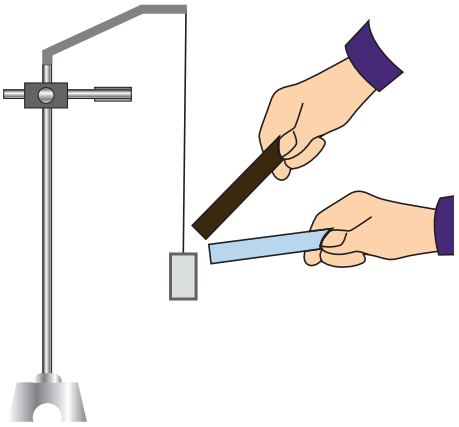
SI-ში ელექტრული მუხტის ერთეულად მიღებულია **1 კულონი** (1 კ), ფრანგი ფიზიკოსის – შარლ კულონის (1736–1806) პატივსაცემად.

სხეული შეიძლება არსებობდეს მუხტის გარეშე, მაგრამ ელექტრული მუხტი არ არსებობს სხეულის გარეშე. ნებისმიერ სხეულთა სისტემის მუხტი ტოლია მასში შემავალ სხეულთა მუხტების ალგებრული ჯამის.

ახალი ტერმინები:

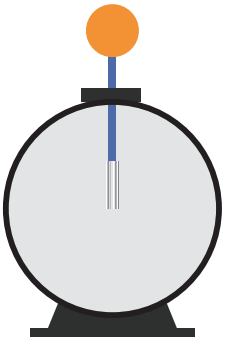
ელექტრობა;
ელექტრული მუხტი;
ელექტრული მიზიდვა;
ელექტრული განზიდვა;
ელექტროსკოპი.

1.1.5. დადებითი და უარყოფითი მუხტი. დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედება



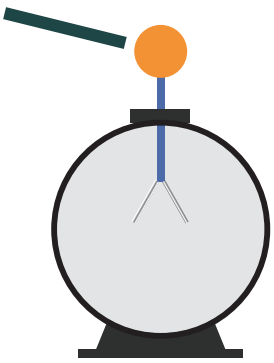
სურ. 1.1.5

განვიხილოთ ცდა: ერთმანეთზე გახახუნებული მინის ღერო და რეზინის მილი ერთმანეთს მივადოთ და მივუახლოოთ შტატივზე დაკიდებულ მსუბუქ დაუმუხტავ მასრას (ალუმინის ფოლგისგან დამზადებულ მცირე ზომის ცილინდრს) (სურ. 1.1.5). გახახუნების შემდეგ მუხტი ჰქონდა ორივე სხეულს, თუმცა, მასრასთან მათი ერთად მიახლოებისას მასრაზე ქმედება არ შეიმჩნევა, მინის ღეროსა და რეზინის მილის მუხტებმა თითქოს ერთმანეთი **გაანეიტრალეს**. სწორედ ამიტომ, პირობითად შემოიტანეს დადებითი „+“ და უარყოფითი „–“ მუხტების ცნებები.



სურ. 1.1.6 ა

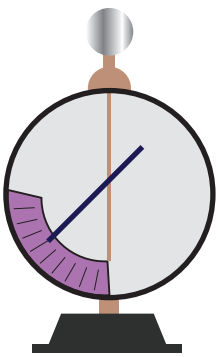
მუხტს, რომელსაც შეიძენს მინა აბრეშუმზე ან ქაღალდზე ხახუნისას, პირობითად მიანიჭეს დადებითი ნიშანი, ხოლო მუხტს, რომელსაც შეიძენს ქარვა ან ებონიტი შალზე ხახუნისას – უარყოფითი ნიშანი. როდესაც რაიმე პროცესის შედეგად ერთ სხეულზე ჩნდება გარკვეული მუხტი, იმავდროულად მეორე სხეულზეც ჩნდება იმავე სიდიდის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი. მინის ღეროსა და რეზინის მილის ერთმანეთზე ხახუნისას მათ შეიძინეს მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპირო მუხტები. მაგრამ, მათი ერთმანეთთან საკმარისად ახლოს მიტანის შემდეგ, ამ სხეულების მასრაზე ერთობლივი ქმედება ისეთივეა, როგორიც იქნებოდა დაუმუხტავი სხეულის მიახლოებისას.



სურ. 1.1.6 ბ

განხილული ცდებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ: **ელექტრული ურთიერთქმედება არის ერთი ნიშნით დამუხტული სხეულების განზიდვა და სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული სხეულების მიზიდვა.**

ერთნაირი ნიშნით დამუხტული სხეულების განზიდვა საფუძვლად უდევს ხელსაწყოს – ელექტროსკოპის მუშაობას. როდესაც ელექტროსკოპის ღერო დაუმუხტავია, მისი ლითონის ფურცლები ვერტიკალურადაა ჩამოშვებული (სურ. 1.1.6 ა). ელექტროსკოპის ღეროზე დამაგრებულ ბურთულასთან დამუხტული სხეულის მიახლოებისას ან მასზე მიდებისას, ფურცლები ერთი ნიშნის მუხტს შეიძენს, ამიტომ ერთმანეთისაგან განიზიდება და გაიშლება (სურ. 1.1.6 ბ).



სურ. 1.1.7

მუხტის სიდიდის გასაზომად გამოიყენება ხელსაწყო – ელექტრომეტრი. მასში ერთმანეთს განიზიდავს ლითონის ღერო და ისარი, რომელიც ისეთივე ნიშნის მუხტს იძენს, როგორსაც ღერო. ელექტრომეტრში ისარს შეუძლია ღეროდან გარკვეული კუთხით გადაიხაროს (სურ. 1.1.7).

უპასუხეთ კითხვებს

1. არსებობს თუ არა ელექტრული მუხტი სხეულის გარეშე? სხეული მუხტის გარეშე?
2. როგორ შეძლებთ დაასაბუთოთ, რომ არსებობს ორი სახის ელექტრული მუხტი?
3. რა ფაქტი უდევს საფუძვლად ელექტროსკოპის მუშაობის პრინციპს?

რა ვისწავლეთ

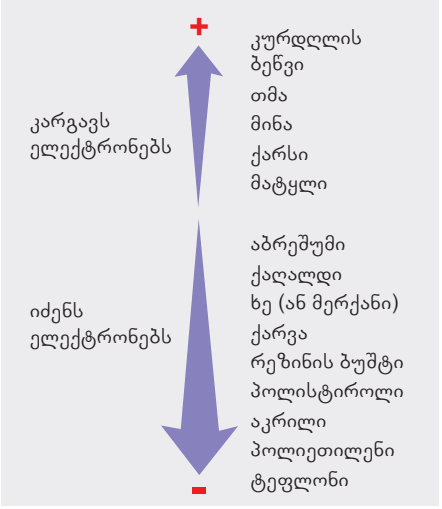
- **სხეულების დაელექტროება ხდება სხვადასხვა ნივთიერებისაგან შედგენილი სხეულების ერთმანეთზე ხახუნისას;**
- **ერთნაირი ნივთიერებისაგან შედგენილი სხეულების ხახუნისას ისინი არ ელექტროვდებიან;**
- **ელექტრული მუხტი არის სკალარული ფიზიკური სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების სიძლიერეს;**
- **SI -ში ელექტრული მუხტის ერთეულია 1 კულონი;**
- **არსებობს ორი ნიშნის ელექტრული მუხტი: დადებითი და უარყოფითი;**
- **მუხტი, რომელსაც იძენს მინა აბრეშუმზე ხახუნისას, პირობითად, დადებითადაა მიჩნეული;**
- **მუხტი, რომელსაც იძენს ქარვა შალზე ხახუნისას, პირობითად, უარყოფითადაა მიჩნეული;**
- **როდესაც ხახუნის შედეგად ერთ სხეულზე ჩნდება გარკვეული მუხტი, იმავდროულად მეორე სხეულზეც ჩნდება იმავე სიდიდის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი;**
- **სხეულებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედება არის ერთი ნიშნით დამუხტული სხეულების განზიდვა და სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული სხეულების მიზიდვა.**

კიდევ რა შეიძლება ვიცოდეთ

1757 წელს იოჰან კარლ ვილკემ შექმნა ნაშრომი, რომელმაც ფიზიკოსებს მისცა უდიდესი პრაქტიკული ინსტრუმენტი: მათ უკვე შეეძლოთ წინასწარ, ცდის ჩატარების გარეშე განესაზღვრათ, თუ რა ნიშნის მუხტს მიიღებდა ორი კონკრეტული სხეული ერთმანეთთან ხახუნის შემდეგ.

ვილკეს ამ ნაშრომის საფუძველზე შეიქმნა ტრიბოელექტრული მწკრივი (სურ. 1.1.8). ეს მწკრივი არის სხვადასხვა ნივთიერებისა და მასალის სპეციალურად დალაგებული ჩამონათვალი იმის მიხედვით, თუ რამდენად ადვილად გასცემენ ან იძენენ ელექტრონებს სხეულები ერთმანეთთან ხახუნის დროს (ამ მოვლენას ფიზიკაში **ტრიბოელექტრული ეფექტი** ეწოდება).

მწკრივის **ზედა ნაწილში** მოთავსებულია მასალები, რომლებიც ხახუნისას ადვილად გასცემენ ელექტრონებს და, შესაბამისად, იმუხტებიან **დადებითად** (მაგალითად: ადამიანის კანი, მინა, კურდღლის ბეწვი).



სურ. 1.1.8

მწკრივის **ქვედა ნაწილში** განლაგებულია მასალები, რომლებიც მიდრეკილნი არიან ელექტრონების მიერთებისკენ და იმუხტებიან **უარყოფითად** (მაგალითად: ებონიტი, რეზინი, პლასტმასა, ტეფლონი).

მთავარი პრინციპი ასეთია: რაც უფრო დაშორებულია ორი მასალა ამ მწკრივში ერთმანეთისგან, მით უფრო ძლიერად დაიმუხტებიან ისინი ერთმანეთზე ხახუნის შედეგად.

მართალია, სხეულების ხახუნით დაელექტროების მოვლენა (მაგალითად, შალზე ქარვის გახახუნება) ჯერ კიდევ ანტიკურ საბერძნეთში იყო ცნობილი, მაგრამ ეს ფენომენი მეცნიერულად მეთვრამეტე საუკუნეში აიხსნა.

დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში სხეულთა დაელექტროების მოვლენას და დაელექტროებული სხეულების ურთიერთქმედებას:

საშინაო აქტივობა

უპასუხეთ კითხვებს:

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



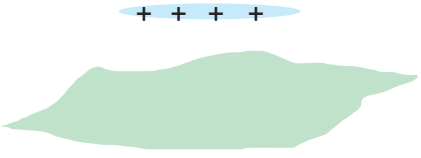
სურ. 1.1.9

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



სურ. 1.1.10

3. მინის აბრეშუმზე გახახუნებისას მინა იმუხტება დადებითად. რა ნიშნით დაიმუხტება აბრეშუმი (სურ. 1.1.11)?
4. როდესაც ორ დაუმუხტავ სხეულს ერთმანეთს ვუხახუნებთ, შესაძლებელია თუ არა, რომ ორივე დაიმუხტოს ერთი და იმავე ნიშნით?
5. მგზავრობის შემდეგ, როდესაც ავტომობილიდან გადმოვდივართ, ტანსაცმელი თითქოს ეწებება სავარძელს. ახსენით მოვლენა.
6. ორი გაბერილი ბუშტი გაუხახუნეთ ერთმანეთს, ისინი არც მიიზიდავენ ერთმანეთს და არც განიზიდავენ, რატომ?
7. აქვს თუ არა ერთი და იგივე მნიშვნელობა გამოთქმებს: „დაელექტროებული სხეული“ და „დამუხტული სხეული“?
8. დაასახელეთ მუხტის ერთეული SI-ში.



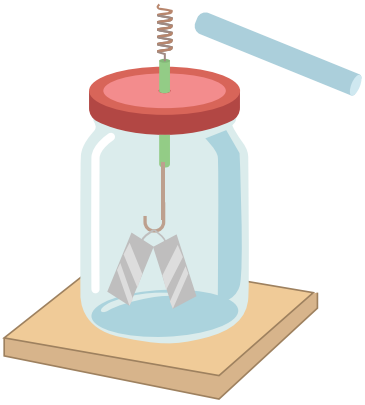
სურ. 1.1.11

პრაქტიკული სამუშაო – დაამზადეთ ელექტროსკოპი

სამუშაოს მიზანი: შევქმნათ ხელსაწყო – ელექტროსკოპი, რომლის საშუალებითაც შევძლებთ შევამოწმოთ, დაელექტროებულია თუ არა სხეული.

საჭირო მასალები:

- მინის ან გამჭვირვალე პლასტმასის პატარა ქილა პლასტმასის თავსახურით;
- სპილენძის მავთული (დაახლოებით 15-20 სმ სიგრძის);
- ალუმინის ფოლგა (სამზარეულოს ფოლგა);
- მაკრატელი, ლურსმანი და ბრტყელტუჩა;
- საგნები დასამუხტად: პლასტმასის სახაზავი/კალამი, ბუშტი, შალის ან აბრეშუმის ქსოვილი.



სურ. 1.1.12

სამუშაოს მსვლელობა:



ნაბიჯი 1: ქილის თავსახურის მომზადება: ქილის პლასტმასის თავსახური ცენტრში გახვრიტეთ ისე, რომ მასში მავთულის მჭიდროდ (სრიალის გარეშე) გატარება იყოს შესაძლებელი (გახვრეტა შესაძლებელია გაცხელებული ლურსმნის წვერით. ამ დროს ლურსმანი უნდა გეჭიროთ ბრტყელტუჩათი).

ნაბიჯი 2: ლითონის ღერძის დამზადება: სპილენძის მავთულის ბოლო გაასუფთავეთ იზოლაციისგან და მიეცით სურათზე ნაჩვენები ფორმა. ბოლოდან 5 სმ-ის დაშორებით მავთულს უნდა ჰქონდეს კაუჭი, ალუმინის ფოლგის ფურცლების ჩამოსაკიდად.

ნაბიჯი 3: ფურცლების მომზადება: ალუმინის ფოლგისგან გამოჭერით ორი ერთნაირი ზომის მართკუთხედის ფორმის ფურცელი (დაახლოებით 2-3 სმ სიგრძის და 0,5 სმ სიგანის). მათ ზედა ნაწილში ნემსით პატარა ნახვრეტი გაუკეთეთ.

ნაბიჯი 4: კონსტრუქციის აწყობა: ფოლგის ორივე ფურცელი ჩამოკიდეთ მავთულის კაუჭზე ისე, რომ თავისუფლად შეეძლოთ გაშლა. ჩაუშვით ფურცლები ქილაში და მოარგეთ მას თავსახური. ელექტროსკოპი მზად არის (სურ. 1.1.12)!

ჩაატარეთ ცდები:

ცდა 1 (გავლენით დამუხტვა): პლასტმასის სახაზავი ან რეზინის გაბერილი ბუშტი რამდენჯერმე გაუსვით თმაზე ან შალის ქსოვილზე. მიუახლოვეთ ის ელექტროსკოპის ზედა სპირალს (შეხების გარეშე).

დააკვირდით, რა დაემართა ქილაში არსებულ ფოლგის ფურცლებს.

ცდა 2 (შეხებით დამუხტვა): შეახეთ დამუხტული სახაზავი (ბუშტი) სპირალს და მოაცილეთ.

დარჩა თუ არა ფურცლები გაშლილი სახაზავის (ბუშტის) მოცილების შემდეგ?

ცდა 3 (განმუხტვა): თითით შეეხეთ ელექტროსკოპის ლითონის სპირალს.

რა დაემართა ფურცლებს და რატომ?

მოამზადეთ მოკლე პრეზენტაცია, შედეგები ჩაწერეთ რვეულში ან გადაიღეთ 1-წუთიანი ვიდეო, სადაც უპასუხებთ შემდეგ კითხვებს:

1. რა ფიზიკური მოვლენა განაპირობებს ფოლგის ფურცლების განზიდვას, როდესაც სპირალს დამუხტულ სხეულს ვუახლოებთ?
2. რატომ არის მნიშვნელოვანი, რომ მავთული და მასზე ჩამოკიდებული ფოლგის ფურცლები იყოს ლითონის?
3. რა მოხდა, როდესაც ხელსაწყოს თითით შეეხეთ?

1.2. ელემენტარული მუხტი

წინა პარაგრაფში ჩვენ უკვე გავეცანით სხეულთა დაელექტროების ძირითად პრინციპებს. ვისაუბრეთ იმის შესახებ, რომ სხეულები ერთმანეთზე ხახუნის შედეგად იმუხტებიან და არსებობს ორგვარი მუხტი. დავსვათ კითხვა: **რატომ იმუხტება სხეული?** ჩვენ უკვე ვიცით, რომ ნივთიერება შედგება მოლეკულებისგან, მოლეკულები კი – ატომებისგან. ატომები შედგება უფრო მცირე ზომის ნაწილაკებისგან. **რა ელექტრული თვისებების მატარებლები არიან ეს ნაწილაკები?** ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებთ.

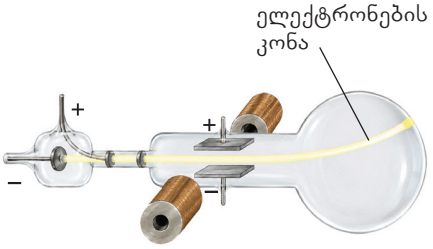
რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **გეცოდინებათ:** როგორ აიხსნება სხეულთა დაელექტროება მისი შემადგენელი ნაწილაკების თვისებებზე დაყრდნობით;
- **გაეცნობით:** რა ელექტრული თვისებები აქვს სხეულის შემადგენელ ნაწილაკებს;
- **ახსნით:** ყოველდღიურ ცხოვრებაში შემჩნეულ ელექტრულ მოვლენებს – დაუკავშირებთ სხეულთა დამუხტვის მოვლენას მის გამომწვევ მიზეზებს.

1.2.1. ატომი. ტომსონის მოდელი. ელექტრონი

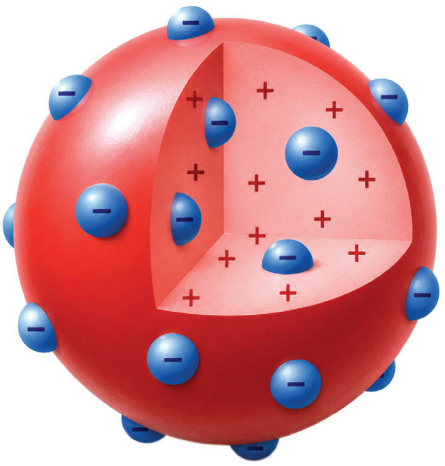
ბერძენმა ფილოსოფოსმა დემოკრიტემ (ძვ. წ. 460–370 წწ.), ჯერ კიდევ 2500 წლის წინ, პირველმა გამოთქვა აზრი იმის შესახებ, რომ ნივთიერება დიდი რაოდენობის უმცირესი, თვალით უხილავი განუყოფელი ნაწილაკებისგან შედგება. ამ ნაწილაკებს ატომები უწოდეს (**ატომი** – ძვ. ბერძ. – განუყოფელს ნიშნავს).

დიდხანს მიაჩნდათ, რომ ატომი განუყოფელი ნაწილაკი იყო, რომ იგი უფრო მცირე ზომის ნაწილაკებისგან არ შედგებოდა. 1897 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჯოზეფ **ტომსონმა** შეამჩნია, რომ გახურებული ლითონიდან გამოსული გამოსხივება საპირისპირო ნიშნით დამუხტულ ორ პარალელურ ფირფიტას შორის გავლისას გადაიხრებოდა დადებითად დამუხტული ფირფიტისაკენ (სურ. 1.2.1). ეს მიანიშნებდა იმაზე, რომ სხივები უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს წარმოადგენდა. ამ ნაწილაკებს **ელექტრონები** უწოდეს. ტომსონმა დაადგინა, რომ ელექტრონს ყველა ნივთიერების ატომი შეიცავს და მისი მასა წყალბადის ატომის მასაზე დაახლოებით 2000-ჯერ ნაკლებია. ელექტრონის აღმოჩენამ დაამტკიცა, რომ ატომი განუყოფელი არ არის.



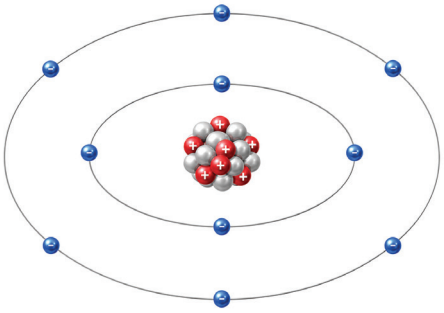
სურ. 1.2.1

1904 წელს ტომსონმა შექმნა ატომის მოდელი, რომელსაც „ქიშმიშიანი პუდინგის მოდელი“ დაარქვეს. ეს მოდელი ატომს წარმოგვიდგენდა ბირთვად, რომელშიც დადებითი მუხტი განაწილებული იყო თანაბრად, ხოლო ელექტრონები მასში იყვნენ მიმოფანტულნი, როგორც ქიშმიში ცომში (სურ. 1.2.2). ამ მოდელის მიხედვით, მთლიანობაში ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია, რადგან მასში არსებული დადებითი და უარყოფითი მუხტი მოდულით ერთმანეთის ტოლია.


სურ. 1.2.2

1.2.2. პლანეტარული მოდელი. ატომბირთვი. პროტონი. ნეიტრონი

1911 წელს ტომსონის მოსწავლემ, ინგლისელმა ფიზიკოსმა ერნესტ **რეზერფორდმა,** ცდებზე დაყრდნობით წარმოადგინა ატომის მოდელი, რომელსაც მზის სისტემასთან მსგავსების გამო **პლანეტარული მოდელი** უწოდეს. ამ მოდელის მიხედვით, **ატომის ცენტრში იმყოფება დადებითად დამუხტული ბირთვი, რომელშიც კონცენტრირებულია ატომის თითქმის მთელი მასა. ბირთვის გარშემო, მისგან საკმაოდ დიდ მანძილზე** (ატომბირთვის ზომებთან შედარებით) ელიფსურ ორბიტებზე **მოძრაობენ ელექტრონები.** ატომის უმეტესი ნაწილი კი სიცარიელეა (სურ. 1.2.3). შემდგომში დადგინდა, რომ ბირთვი შედგება დადებითად დამუხტული ნაწილაკებისგან – პროტონებისგან და ნეიტრალური ნაწილაკებისგან – ნეიტრონებისგან. კერძოდ, 1919 წელს რეზერფორდმა ექსპერიმენტულად აღმოაჩინა ატომბირთვის დადებითი მუხტის მატარებელი ნაწილაკი – **პროტონი** (ბერძ. – პირველი, ძირითადი). პროტონის მუხტი მოდულით ელექტრონის მუხტის ტოლია, ხოლო მასა 1836-ჯერ აღემატება ელექტრონის მასას. **ატომში ელექტრონებისა და პროტონების რაოდენობა ერთნაირია, ამიტომ ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია**.



სურ. 1.2.3. ატომის პლანეტარული მოდელი (მასშტაბი დაცული არ არის).

1932 წელს რეზერფორდის მოსწავლემ, **ჯეიმს ჩედვიკმა,** აღმოაჩინა ატომბირთვში შემავალი კიდევ ერთი ნაწილაკი – **ნეიტრონი** (ლათ. – არც ერთი და არც მეორე). ნეიტრონს არ გააჩნია ელექტრული მუხტი, ხოლო მისი მასა უმნიშვნელოდ აღემატება პროტონის მასას.

მომავალში ისწავლით, რომ ატომბირთვში შემავალ ნაწილაკებს – პროტონებსა და ნეიტრონებს – შორის არსებობს ეგრეთწოდებული ძლიერი ურთიერთქმედება – ურთიერთმიზიდვა. სწორედ ამიტომ ატომბირთვი საკმაოდ მდგრადი სისტემაა. ამის გამოა, რომ სხეულების დაელექტროებისას ერთი სხეულიდან მეორეში გადადიან მხოლოდ ელექტრონები და არ გადადიან პროტონები.

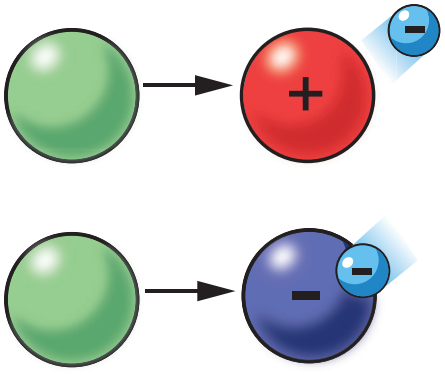


მზის სისტემა

1.2.3. დადებითი და უარყოფითი იონები

მოცემულ ატომში (ატომის ბირთვში) პროტონების რაოდენობა არ იცვლება. თუ ელექტრულად ნეიტრალური ატომი დაკარგავს ერთ ან რამდენიმე ელექტრონს, ის გადაიქცევა **დადებით იონად** – მასში

ელექტრონების რაოდენობა ნაკლები იქნება პროტონების რაოდენობაზე, ხოლო თუ ატომი მიიერთებს ერთ ან რამდენიმე ელექტრონს – **უარყოფით იონად** – მასში ელექტრონების რაოდენობა მეტი იქნება პროტონების რაოდენობაზე (სურ. 1.2.4).

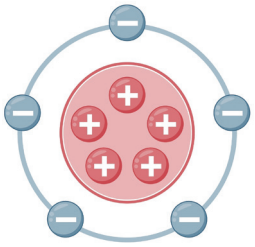


სურ. 1.2.4

ელექტრონები ითვლებიან ელემენტარულ ნაწილაკებად, რადგან ისინი არ შედგება უფრო მცირე ნაწილაკებისგან – არ აქვთ სტრუქტურა. ელექტრონის მუხტი მისი ისეთივე განუყოფელი თვისებაა, როგორც, მაგალითად, მასა. შეუძლებელია ელექტრონს წავართვათ მუხტი, ან მისი ნაწილი. გარდა ამისა, აღმოჩნდა, რომ ელექტრონის მუხტზე უფრო მცირე მუხტის მქონე ნაწილაკი ბუნებაში თავისუფალი სახით არ არსებობს. ამ თვალსაზრისით, ელექტრონის მუხტი ელემენტარულია. პროტონის მუხტი მოდულით ელექტრონის მუხტის ტოლია, შესაბამისად, ელემენტარულია პროტონის მუხტიც.

1.2.4. ელექტრული მუხტის დისკრეტულობა

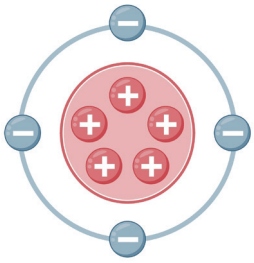
თუ სხეულში ელექტრონების რაოდენობა მეტია პროტონების რაოდენობაზე, სხეული უარყოფითადაა დამუხტული. ელექტრონების რაოდენობის ნაკლებობის შემთხვევაში კი – დადებითად. აქედან გამომდინარეობს, რომ სხეულის **მუხტი ყოველთვის ელექტრონის მუხტის მოდულის ჯერადია, ანუ ნებისმიერი დამუხტული სხეულის მუხტი დისკრეტულია** (წყვეტილია). თუ ელექტრონის მუხტის მოდულს e-თი აღვნიშნავთ, მაშინ სხეულის მუხტის გამოსათვლელად მივიღებთ:



ნეიტრალური ატომი

$$q = Ne,$$

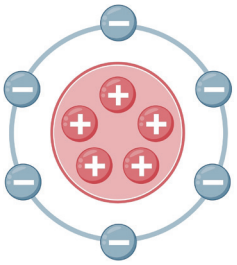
რომელშიც N მთელი რიცხვია (N გვიჩვენებს სხეულში რამდენი ზედმეტი ელექტრონია, ან რამდენი ელექტრონი აკლია სხეულს, მის ნეიტრალურ მდგომარეობაში ელექტრონების რაოდენობასთან შედარებით. თუ სხეულში ელექტრონების რაოდენობა ნაკლებია პროტონების რაოდენობაზე, $N > 0$, წინააღმდეგ შემთხვევაში $N < 0$).



დადებითი იონი

1.2.5. ატომის შემადგენელი ნაწილაკების მასა და მუხტი

პირველი მეცნიერი, ვინც საკმაო სიზუსტით შეძლო ელექტრონის მუხტის გაზომვა, იყო ამერიკელი ფიზიკოსი რობერტ ენდრიუს მილიკენი. ექსპერიმენტების შედეგად მან დიდი სიზუსტით დაადგინა:



უარყოფითი იონი

$$q_{ელ} = -1{,}6 \cdot 10^{-19} კ.$$

ცხრილში მოყვანილია ატომის შემადგენელი ნაწილაკების მასა და მუხტი:

	მასა, კგ	მუხტი, კ
ელექტრონი (e)	$9{,}109 \cdot 10^{-31}$	$-1{,}6 \cdot 10^{-19}$
პროტონი (p)	$1{,}673 \cdot 10^{-27}$	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$
ნეიტრონი (n)	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$	0

ელექტრულად ნეიტრალური სხეულების ერთმანეთზე ხახუნისას, ერთი სხეულიდან მეორეზე სწორედ ელექტრონები გადადის: სხეულიდან, რომელშიც ისინი ნაკლები ძალით მიიზიდება ატომბირთვების მიერ, გადადიან სხეულში, რომელშიც ეს ძალა უფრო მეტია. ამიტომ, თუ მოხახუნე სხეულების ნივთიერება ერთნაირია, ელექტრონები ერთი სხეულიდან მეორეზე არ გადავა და სხეულები არ დაიმუხტება.

ახალი ტერმინები:

ელექტრონი;

პროტონი;

ნეიტრონი;

პლანეტარული მოდელი;

იონი.

უპასუხეთ კითხვებს

1. რატომ უწოდებენ ელექტრონებს ელემენტარულ ნაწილაკებს?
2. რა განსხვავება და მსგავსებაა ატომის აგებულების ტომსონის და რეზერფორდის მოდელებს შორის?
3. ორი სხეულის ერთმანეთზე ხახუნისას რომელ სხეულს ტოვებს ელექტრონები? რომელ სხეულზე გადადის ელექტრონები?
4. რას ნიშნავს ელექტრული მუხტის დისკრეტულობა?
5. რატომაა ნებისმიერი სხეულის მუხტი $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ-ის ჯერადი?
6. სხეული ელექტრულად ნეიტრალურია. ნიშნავს თუ არა ეს, რომ მასში არ არის დამუხტული ნაწილაკები? რატომ?
7. ორი ელექტრულად ნეიტრალური სხეულის ერთმანეთზე ხახუნისას პირველიდან მეორეზე ელექტრონების გარკვეული რაოდენობა გადავიდა. რა ნიშნის მუხტი შეიძინა პირველმა სხეულმა? მეორემ?

რა ვისწავლეთ

- **ნივთიერების შემადგენელი ატომები შედგება ელექტრონების, პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან;**
- **ელექტრონი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკია, პროტონი – დადებითად დამუხტული, ნეიტრონი კი უმუხტო ნაწილაკია;**
- **ატომი შედგება დადებითად დამუხტული ბირთვისგან, რომელიც თავის მხრივ შედ-**

გება პროტონებისა და ნეიტრონებისგან, ბირთვის გარშემო კი მოძრაობს ერთი ან რამდენიმე ელექტრონი;

- **ელექტრონისა და პროტონის მუხტები მოდულით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო: ელექტრონის მუხტი $q_{ელ} = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$კ, პროტონის მუხტი $q_{პრ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$კ;**
- **შეუძლებელია ელექტრონს ან პროტონს მოვაცილოთ მუხტი, ან მისი ნაწილი. $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ უმცირესი (ელემენტარული) მუხტის მნიშვნელობაა;**
- **ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია, რადგან მასში პროტონებისა და ელექტრონების რაოდენობა ტოლია;**
- **ატომმა შესაძლებელია დაკარგოს ან მიიერთოს ერთი, ან რამდენიმე ელექტრონი, შესაბამისად, ის გარდაიქმნება დადებით ან უარყოფით იონად;**
- **უარყოფითად დამუხტულ სხეულში ელექტრონების რაოდენობა სჭარბობს პროტონების რაოდენობას, დადებითად დამუხტულ სხეულში კი პროტონების რაოდენობა – ელექტრონების რაოდენობას;**
- **ნებისმიერი მუხტი, რომელიც შეიძლება სხეულმა შეიძინოს ან დაკარგოს, ელემენტარული მუხტის ჯერადია, რაც ნიშნავს, რომ მუხტი დისკრეტულია (წყვეტილია);**
- **სხეულის მუხტი $q = Ne$, რომელშიც N მთელი რიცხვია, e კი ელემენტარული მუხტის მოდულია. თუ q მუხტი დადებითია, N – დადებითია, როდესაც მუხტი უარყოფითია, N – უარყოფითია.**

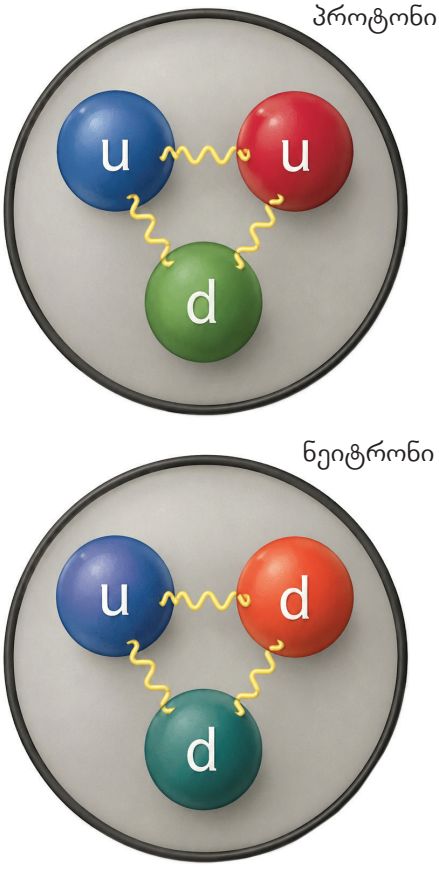
ეს საინტერესოა

თქვენ უკვე გაეცანით ატომის აგებულებას და იცით, რომ ის პროტონების, ნეიტრონებისა და ელექტრონებისგან შედგება. თუმცა, მეცნიერების განვითარებამ აჩვენა, რომ სამყარო ბევრად უფრო მრავალფეროვანია და ეს სამი ნაწილაკი ამბის მხოლოდ დასაწყისია.

არიან თუ არა პროტონები და ნეიტრონები განუყოფელი? დიდი ხნის განმავლობაში ფიზიკოსებს ეგონათ, რომ პროტონები და ნეიტრონები ისეთივე ელემენტარული (სტრუქტურის არმქონე) ნაწილაკები იყვნენ, როგორიც ელექტრონია. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ პროტონისა და ნეიტრონის შიგნითაც არის უფრო მცირე, განუყოფელი ნაწილაკები, რომლებსაც კვარკები ეწოდებათ (სურ. 1.2.5). შესაბამისად, ბუნებაში არსებობს შედგენილი ნაწილაკები (როგორიცაა პროტონი და ნეიტრონი, რადგან ისინი კვარკებისგან შედგება) და ელემენტარული ნაწილაკები (როგორიცაა ელექტრონი და თავად კვარკი, რომლებიც უფრო მცირე ნაწილებად, დღევანდელი წარმოდგენებით, აღარ იყოფა).

ჩვენთვის ნაცნობი დამუხტული და დაუმუხტავი ნაწილაკების გარდა, სამყაროში უამრავი სხვა ნაწილაკიც არსებობს, მაგალითად:

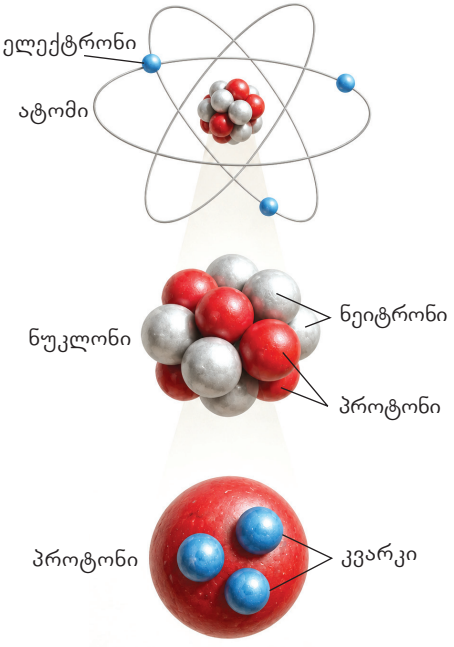
- ნეიტრინო: უკიდურესად მსუბუქი, უმუხტო (ნეიტრალური) ნაწილაკი, რომელიც მილიარდობით



სურ. 1.2.5

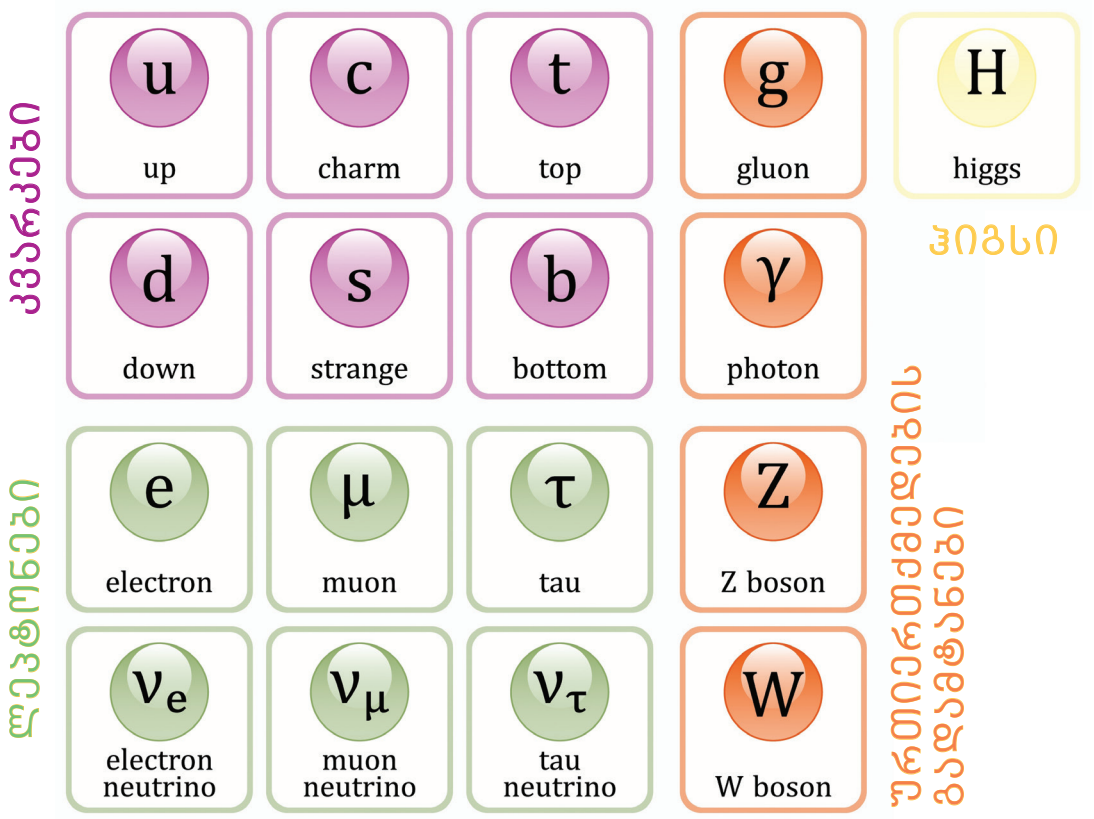
განჭოლავს ჩვენს სხეულს ყოველ წამს ისე, რომ ვერც კი ვგრძნობთ.

- მიუონი: რომელსაც ასევე უარყოფითი მუხტი აქვს. იგი ელექტრონზე გაცილებით მასიურია.
- ანტინაწილაკები: თითქმის ყველა ნაწილაკს ჰყავს თავისი „ტყუპისცალი“ საპირისპირო ნიშნის მუხტით. მაგალითად, არსებობს პოზიტრონი – ელექტრონის ზუსტი ანალოგი, ოღონდ დადებითი მუხტით.



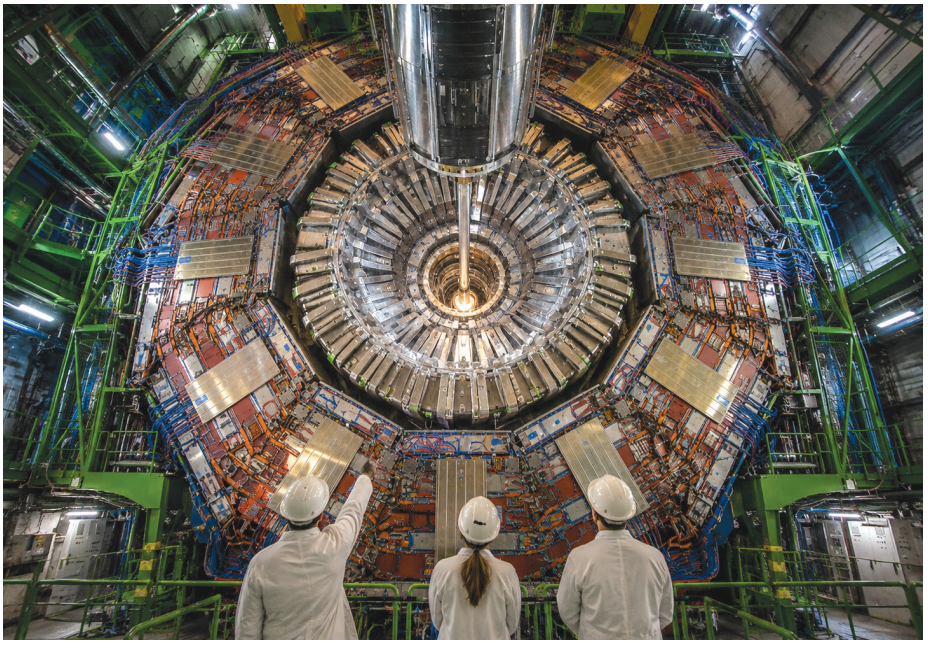
როგორც ქიმიკოსებმა შექმნეს ელემენტთა პერიოდული სისტემა, ფიზიკოსებმაც შექმნეს უნივერსალური ცხრილი (სურ. 1.2.6) და თეორია, რომელსაც სტანდარტული მოდელი ეწოდება. ეს არის გენიალური თეორია, რომელიც აერთიანებს სამყაროში აღმოჩენილ ყველა განუყოფელ ნაწილაკს. ის არა მხოლოდ გვიჩვენებს, თუ რისგან შედგება სამყარო, არამედ ხსნის, თუ როგორ ურთიერთქმედებენ ეს უმცირესი ნაწილაკები ერთმანეთთან.

მეცნიერების იმ დარგს, რომელიც ამ საოცარ და უხილავ სამყაროს სწავლობს, ნაწილაკების ფიზიკა (ანუ მაღალი ენერგიების ფიზიკა) ეწოდება. ამ დარგის ფიზიკოსები იყენებენ გიგანტურ დანადგარებს – ამაჩქარებლებს (მაგალითად, დიდ ადრონულ კო-



სურ. 1.2.6

ლაიდერს შვეიცარიაში (სურ. 1.2.7)), სადაც ნაწილაკებს სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარეებით ავჯახებენ ერთმანეთს, რათა აღმოაჩინონ ახალი ნაწილაკები, შეისწავლონ არსებული ნაწილაკების ბუნება, ამოხსნან სამყაროს წარმოშობისა და აგებულების ყველაზე ღრმა საიდუმლოებები.



სურ. 1.2.7

როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანა

სხეული დაელექტროებულია $q = 6{,}4 \cdot 10^{-10}$ კ მუხტით. რამდენი ელექტრონი აკლია სხეულს? რამდენით არის ამ დროს გაზრდილი (შემცირებული) სხეულის მასა ნეიტრალურ მდგომარეობასთან შედარებით? შეიძლება თუ არა სხეულს ჰქონდეს $6{,}4 \cdot 10^{-20}$ კ მუხტი?

ამოხსნა:

მოც.: ა) $q = 6{,}4 \cdot 10^{-10}$ კ;
ბ) $q = 6{,}4 \cdot 10^{-20}$ კ.

უ.ვ.: N; Δm.

- როგორც ვიცით, სხეული მუხტს იძენს ელექტრონების სიჭარბის ან დანაკლისის გამო: $q = Ne$. აქედან $N = \frac{q}{e}$ ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ – ელემენტარული მუხტია).

ა) • რადგანაც სხეული დამუხტულია დადებითად, ეს ნიშნავს, რომ მასში ელექტრონების ნაკლებობაა: $N = \frac{6{,}4 \cdot 10^{-10}\ \text{კ}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{კ}} = 4 \cdot 10^{9}$.

პასუხი: სხეულს აკლია $4 \cdot 10^{9}$ ელექტრონი.

- რადგანაც სხეულში ელექტრონების ნაკლებობაა, ეს ნიშნავს, რომ მისი მასა ნეიტრალურ მდგომარეობასთან შედარებით შემცირებული იქნება:
  $\Delta m = N \cdot m_e = 4 \cdot 10^9 \cdot (9{,}1 \cdot 10^{-31}) = 3{,}64 \cdot 10^{-21}$ კგ-ით ($m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ კგ – ელექტრონის მასის მიახლოებითი მნიშვნელობაა).

პასუხი: მასა შემცირებულია $\Delta m = 3{,}64 \cdot 10^{-21}$ კგ-ით.

ბ) • $N = \frac{6{,}4 \cdot 10^{-20}\ \text{კ}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{კ}} = 0{,}4$. მაგრამ 0,4 არაა მთელი რიცხვი და შესაბამისად, ასეთი შემთხვევა შეუძლებელია – **სხეულის მუხტი აუცილებლად ელემენტარული მუხტის ჯერადი უნდა იყოს.**

პასუხი: ასეთი შემთხვევა შეუძლებელია.

საშინაო აქტივობა

უპასუხეთ კითხვებს, ამოხსენით ამოცანები:

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.
2. აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნით დაელექტროებული მინის ღერო მიუახლოვეს ლითონის ღეროს ერთ ბოლოს. რა ნიშნის მუხტი გაჩნდება ლითონის ღეროს მეორე ბოლოზე?
3. იცვლება თუ არა სხეულში პროტონების რიცხვი მისი ა) დადებითად დამუხტვისას? ბ) უარყოფითად დამუხტვისას?
4. ჟანგბადის ატომის ბირთვში 8 პროტონი და 8 ნეიტრონია. რამდენი ელექტრონია ჟანგბადის ნეიტრალურ ატომში?
5. კალციუმის კათიონის (Ca^{++}) მუხტი $3{,}2 \cdot 10^{-19}$კ-ია. რამდენი ელექტრონია კალციუმის კათიონში, თუ მის ატომბირთვში 20 პროტონი და 20 ნეიტრონია.
6. რამდენი პროტონია წყლის ნეიტრალურ მოლეკულაში?
7. რა მუხტს შეიძენს სხეული მასზე $2{,}5 \cdot 10^{12}$ ელექტრონის გადაცემისას?
8. რამდენი ელექტრონი აქვს დაკარგული 96 მკკ მუხტით დაელექტროებულ სხეულს?
9. სხეული დააელექტროეს $q = -480$ მკკ მუხტით. მოიმატა თუ მოიკლო სხეულის მასამ დაელექტროების პროცესში და რამდენით?
10. სხეულის მასა დაელექტროების შედეგად $45{,}5 \cdot 10^{-19}$ კგ-ით შემცირდა. რა მუხტი შეუძენია სხეულს?

1.3. სხეულთა დაელექტროების ხერხები. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი

ჩვენ უკვე გავეცანით სხეულთა დაელექტროების მოვლენას, განვიხილეთ სხეულის შემადგენელი ნაწილაკები და მათი ელექტრული თვისებები.

ყოველდღიურ ცხოვრებაში ხშირად ვხვდებით სხეულთა დაელექტროების შემთხვევებს. მაგალითად, შალის ტანსაცმლის გახდისას ალბათ ყველას შეგიმჩნევიათ „ნაპერწკლის გავარდნა“ და უსიამოვნო შეგრძნება, თითქოს „დენმა დაგვარტყა“. ხშირად ხდება იგივე თმის დავარცხნის შემდეგ – თმის ღერები ერთნაირად იმუხტება და ერთმანეთს განიზიდავს. **რა ხერხებით შეიძლება სხეულთა დაელექტროება?** როდესაც ერთი სხეულიდან მეორეზე გარკვეული რაოდენობის ელექტრონი გადავა, აისახება თუ არა ეს ამ სხეულთა ელექტრულ თვისებებზე? აღნიშნულ კითხვებზე პასუხის გასაცემად გავეცნოთ პარაგრაფს.

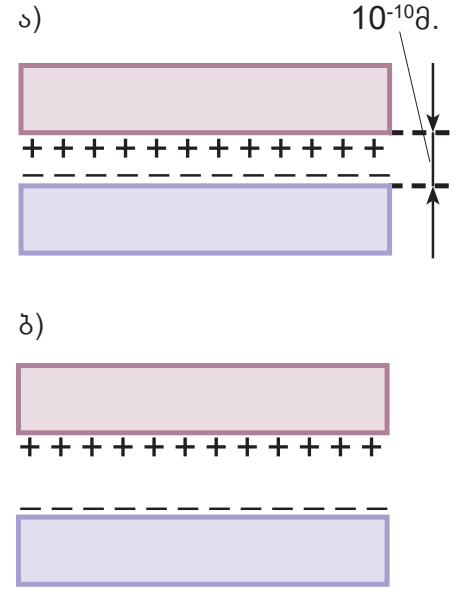
რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** რა ხერხებით არის შესაძლებელი სხეულთა დაელექტროება;
- **გაეცნობით:** რა კანონზომიერებები ახლავს თან სხეულთა დამუხტვას;
- **შეძლებთ:** აღწეროთ, თუ როგორ განაწილდება სხეულებში მუხტები მათი დაელექტროებისას.

1.3.1. სხეულთა დაელექტროება ხახუნით

როგორც წინა პარაგრაფში უკვე ვახსენეთ, სხვადასხვა ნივთიერებისაგან დამზადებული სხეულების ერთმანეთზე ხახუნისას ერთი სხეულიდან მეორეზე ელექტრონები გადადის, რის შედეგადაც სხეულები იმუხტება მოდულით ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტით. რატომ არის საჭირო სხეულების ერთმანეთზე გახახუნება? მხოლოდ შეხება საკმარისი არ იქნებოდა? რადგან სხეულთა ზედაპირები იდეალურად სწორი არ არის, მათი ერთმანეთზე მიდების შემთხვევაში ერთმანეთს მჭიდროდ ზედაპირების მხოლოდ მცირე ნაწილი ეხება, შესაბამისად, ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასული მუხტიც უმნიშვნელო იქნება. სხეულების ერთმანეთზე ხახუნისას იზრდება მჭიდროდ მიდებული უბნების რაოდენობა (იზრდება შეხების ფართობი). შესაბამისად, უფრო მეტ ელექტრონს ეძლევა ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასვლის შესაძლებლობა. შედეგად, ერთი სხეულის ზედაპირზე ჩნდება დადებითი მუხტი, ხოლო მეორეზე – უარყოფითი (სურ. 1.3.1 ა). თუ სხეულებს ერთმანეთს მყისიერად დავაშორებთ, მათზე მოდულით ტოლი საპირისპირო ნიშნის მუხტები აღმოჩნდება (სურ. 1.3.1 ბ).

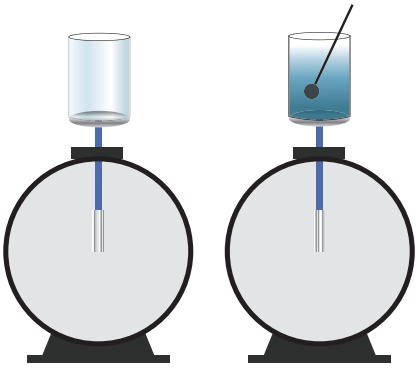
დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში ხახუნით დაელექტროების მოვლენებს:



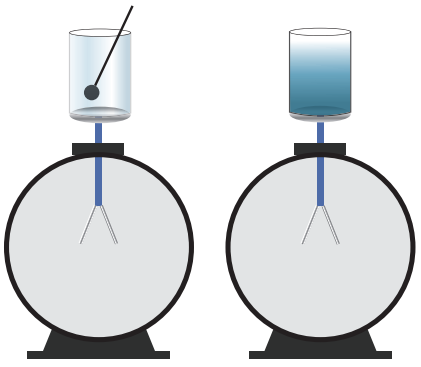
სურ. 1.3.1

1.3.2. სხეულთა დაელექტროება ურთიერთშეხებისას

განვიხილოთ ცდა: ავიღოთ ორი ელექტროსკოპი და მათ ღეროებზე დავამაგროთ ლითონის ჭიქები. ერთ ჭიქაში ჩავასხათ ქიმიურად სუფთა წყალი და მასში იზოლატორისაგან დამზადებულ ღეროზე დამაგრებული სანთლის (პარაფინის) ბურთულა ჩავუშვათ (სურ. 1.3.2 ა). ბურთულას ამოღების შემდეგ ელექტროსკოპის ფურცლები გაიშლება. ჩავდოთ ეს ბურთულა მეორე ელექტროსკოპზე დამაგრებულ ჭიქაში. შევამჩნევთ, რომ მეორე ელექტროსკოპის ფურცლებიც გაიშალა (სურ. 1.3.2 ბ). ეს ნიშნავს, რომ მუხტების განცალკევება ორი სხეულის (წყლისა და ბურთულას) **შეხებითაც** არის შესაძლებელი. თუ ელექტროსკოპებს გამტარით შევაერთებთ, მათი ფურცლები ჩამოეშვება. ე.ი. წყლისა და ბურთულას შეძენილი მუხტები მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპიროა.



სურ. 1.3.2 ა



სურ. 1.3.2 ბ

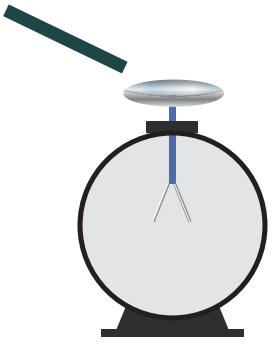
1.3.3. გავლენით დაელექტროება

სხეულთა დაელექტროება შესაძლებელია მათი შეხების გარეშეც. რატომ იზიდავს დამუხტული სხეული დაუმუხტავ სხეულს (ქაღალდის ნაკუწებს, ჩამოკიდებულ ლითონის მასრას და სხვა)?

განვიხილოთ ცდა: დაუმუხტავი ელექტროსკოპის დისკოს მივუახლოოთ დაელექტროებული ჯოხი. ელექტროსკოპის ფურცლები გაიშლება (სურ. 1.3.3). თუ ჯოხს მოვაშორებთ, ელექტროსკოპის ფურცლები დაეშვება. ეს ნიშნავს, რომ მუხტი ჯოხიდან ელექტროსკოპის ფურცლებზე კი არ გადავიდა, არამედ ჯოხის მუხტის გავლენით გაჩნდა. განცალკევებულ დაუმუხტავ სხეულში (ჩვენს შემთხვევაში, ელექტროსკოპში) საპირისპირო ნიშნის მუხტები მის მთელ მოცულობაში თანაბრადაა განაწილებული. ეს განაწილება ირღვევა მასთან სხვა დამუხტული სხეულის მიახლოებისას (ელექტროსკოპთან ჯოხის მიახლოებისას) – ელექტროსკოპის დისკოსთან მიახლოებული ჯოხის მუხტი მიიზიდავს ელექტროსკოპის დისკოში განაწილებულ საპირისპირო ნიშნის მუხტს და განიზიდავს მასში არსებულ იმავე ნიშნის მუხტს, რომელიც ფურცლებზე დაგროვდება.

დამუხტული სხეულის მიახლოებით სხვა სხეულში მუხტების გადანაწილებას გავლენით დაელექტროება ეწოდება.

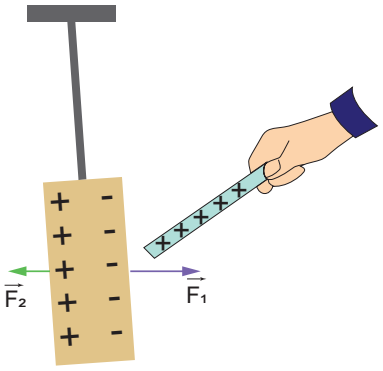
დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში „ელექტროფორული მანქანის“ მუშაობის პრინციპს. ხელსაწყო მუხტების განსაცალკევებლად გამოიყენება:



სურ. 1.3.3

1.3.4. დამუხტული და დაუმუხტავი სხეულების ურთიერთმიზიდვის მექანიზმი

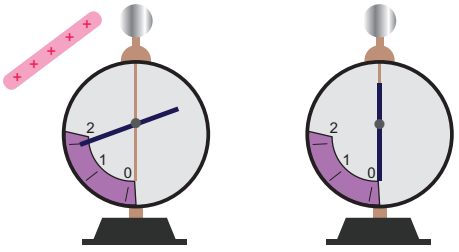
სწორედ გავლენით დაელექტროებით აიხსნება, თუ რატომ იზიდავს დამუხტული სხეული დაუმუხტავ სხეულებს. ლითონის ნეიტრალურ მასრასთან დამუხტული ღეროს მიახლოებისას მასრაში მუხტები გავლენით გადანაწილდება: მასრის ურთიერთსაწინააღმდეგო კიდეებზე სხვადასხვანიშნიანი მუხტები გაჩნდება (სურ. 1.3.4). ღეროსა და მასრას შორის მიზიდვის $\vec{F}_1$ და განზიდვის $\vec{F}_2$ ძალა აღიძვრება. რადგან ღეროს საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი ღეროსთან უფრო ახლოსაა, ამიტომ მიზიდვის ძალა განზიდვის ძალაზე მეტი იქნება, შედეგად, მასრა ღეროსკენ მიიზიდება.



სურ. 1.3.4

1.3.5. ელექტრული მუხტის შენახვის კანონი

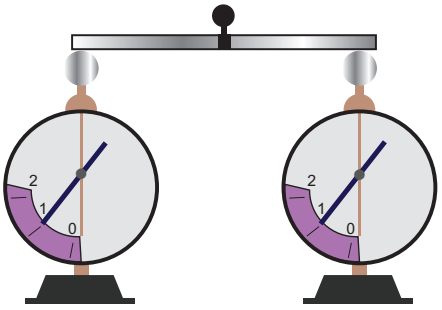
ყველა ზემოთ აღწერილი ცდა გვიჩვენებს, რომ დაელექტროების პროცესში შეუძლებელია მივიღოთ მხოლოდ დადებითი ან მხოლოდ უარყოფითი მუხტი, მოდულით მისი ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტის მიღების გარეშე. ამ პროცესებში ელექტრონები არც წარმოიქმნება და არც ქრება, ისინი მხოლოდ სხეულებს შორის საერთო რაოდენობის შეუცვლელად გადანაწილდება. შესაბამისად, თუ თავიდან სხეულთა საერთო მუხტი ნულის ტოლი იყო, დაელექტროების შემდეგაც ნულის ტოლი დარჩება. ეს მაგალითები და სხვა მრავალი ექსპერიმენტი ადასტურებს, რომ სხეულთა დაელექტროება ემორჩილება **ელექტრული მუხტის შენახვის კანონს:**



სურ. 1.3.5

ელექტრულად ჩაკეტილ სისტემაში ყველა სხეულის ელექტრული მუხტების ალგებრული ჯამი ნებისმიერი ურთიერთქმედების დროს მუდმივია. ანუ,

$$q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = \text{const}.$$



სურ. 1.3.6

ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა ეწოდება სხეულთა (ნაწილაკთა) ისეთ ჯგუფს, რომელშიც გარედან არ შედის და მისგან არც გარეთ გადის დამუხტული ნაწილაკები.

მუხტის შენახვის კანონის სადემონსტრაციოდ, შეგვიძლია ჩავატაროთ ცდა: ავიღოთ ორი ერთნაირი ელექტრომეტრი. ერთი დავმუხტოთ და ჩავინიშნოთ ელექტრომეტრის ჩვენება (სურ. 1.3.5). იზოლატორის სახელურიანი ლითონის ღეროთი შევაერთოთ ელექტრომეტრები (სურ. 1.3.6). დავინახავთ, რომ

ახალი ტერმინები:

გავლენით დაელექტროება;

მუხტების გადანაწილება;

ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა;

მუხტის შენახვა.

დაუმუხტავი ელექტრომეტრის ისარი ნულოვანი ჩვენებიდან გადაიხრება მანამ, სანამ ელექტრომეტრის ჩვენება საწყისი ჩვენების ნახევრის ტოლი არ გახდება. იმავე კუთხემდე შემცირდება დამუხტული ელექტრომეტრის ისრის გადახრაც. ამ ცდით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საწყისი მუხტი თანაბრად გადანაწილდა ერთნაირ სხეულებზე და სისტემის ჯამური მუხტი არ შეიცვალა.

დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში „ვან დე გრააფის გენერატორის“ მუშაობის პრინციპს. ხელსაწყო მუხტების განსაცალკევებლად გამოიყენება:



უპასუხეთ კითხვებს

1. რატომ ელექტროვდებიან ერთმანეთზე ხახუნით სხეულები?
2. რა როლს ასრულებს ხახუნი სხეულთა დაელექტროების პროცესში?
3. რატომ მიიზიდებიან დამუხტული სხეულის მიერ დაუმუხტავი ქაღალდის ნაკუწები?
4. რას ნიშნავს, რომ სხეულთა სისტემა ელექტრულად ჩაკეტილია?

რა ვისწავლეთ

- **სხვა დამუხტული სხეულის მოქმედებით სხეულში მუხტების გადანაწილებას გავლენით დაელექტროება ეწოდება;**
- **სხეულთა დაელექტროება შეიძლება ხახუნით, გავლენით, შეხებით და სხვა;**
- **სხეულთა დამუხტვის პროცესში ელექტრონები არც წარმოიქმნება და არც ქრება, ისინი მხოლოდ სხეულებს შორის საერთო რაოდენობის შეუცვლელად გადანაწილდება;**
- **ელექტრულად ჩაკეტილ სისტემაში ყველა სხეულის ელექტრული მუხტების ალგებრული ჯამი ნებისმიერი ურთიერთქმედების დროს მუდმივია:**

$$q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = \text{const.}$$

ეს საინტერესოა

ელვა და ჭექა-ქუხილი: როგორ მუშაობს ბუნებრივი „ელექტროსადგური“?

წვიმიან ამინდში ჩვენ ხშირად ვხედავთ კაშკაშა ნათებას, რომელსაც ცოტა ხანში მძლავრი გრუხუნი მოჰყვება. მიუხედავად იმისა, რომ ეს სანახაობა ჩვეულებრივი მოვლენაა, მის მიღმა რთული ფიზიკური პროცესები – კონვექცია, დაელექტროება და ნაპერწკლოვანი განმუხტვა დგას.

1. ღრუბელი, როგორც გიგანტური ელემენტი

ჭექა-ქუხილის ღრუბელი, ნამდვილ „ლაბორატორიას“ ჰგავს. იგი შედგება ყინულის პატარა კრისტალების, წყლის წვეთების, სეტყვისა და ე.წ. ხოშკაკალასგან (ფაფუკი, თოვლის გუნდისმაგვარი ნაწილაკები).

ღრუბლის შიგნით ჰაერი მუდმივ მოძრაობაშია: თბილი ჰაერი ზემოთ მიისწრაფვის (აღმავალი ნაკადი),

ხოლო ცივი – ქვემოთ (დაღმავალი ნაკადი). ამ მოძრაობის (კონვექციის) გამომწვევი მიზეზი არის თბილი და ცივი ჰაერის სიმკვრივეებს შორის განსხვავება. თბილი ჰაერის სიმკვრივე ნაკლებია ცივისაზე, შედეგად ჩნდება არქიმედეს ძალა. ნაკადების მოძრაობის დიდი სიჩქარეების გამო ეს მოძრაობა ტურბულენტური (გრიგალური) ხასიათისაა. ამ ტურბულენტობის გამო ნაწილაკები გამუდმებით ეჯახებიან ერთმანეთს.



ჭექა-ქუხილის ღრუბელი

2. როგორ ხდება ელექტრული მუხტების წარმოქმნა და განცალკევება?

როდესაც ყინულის პატარა კრისტალები ეჯახება შედარებით დიდ ხოშკაკალას, მათ შორის ხდება მუხტების გაცვლა. ამ პროცესზე გავლენა აქვს ტემპერატურას და ნაწილაკების ზედაპირზე არსებულ წყლის თხელ ფენას, რომელიც შეიცავს H^+ და OH^- იონებს.

დადებითი მუხტი: მსუბუქი ყინულის კრისტალები დადებითად იმუხტება და აღმავალ ნაკადებს ისინი ღრუბლის ზედა ნაწილში ააქვთ.

უარყოფითი მუხტი: მძიმე ხოშკაკალა უარყოფითად იმუხტება და ღრუბლის შუა და ქვედა ნაწილში გროვდება.

შედეგად, ღრუბელი პოლარიზდება – ის გიგანტურ ელემენტს ემსგავსება. ღრუბლის ზედა ნაწილი დადებითად იმუხტება, ხოლო ღრუბლის ქვედა ნაწილი – უარყოფითად. ამავდროულად, დედამიწის ზედაპირზე (ღრუბლის ქვედა ნაწილის მხრიდან დედამიწაში არსებული ელექტრონების განზიდვის გამო) საპირისპირო (დადებითი) მუხტი გროვდება (სურ. 1.3.7).

3. ნაპერწკლოვანი განმუხტვა – ელვა

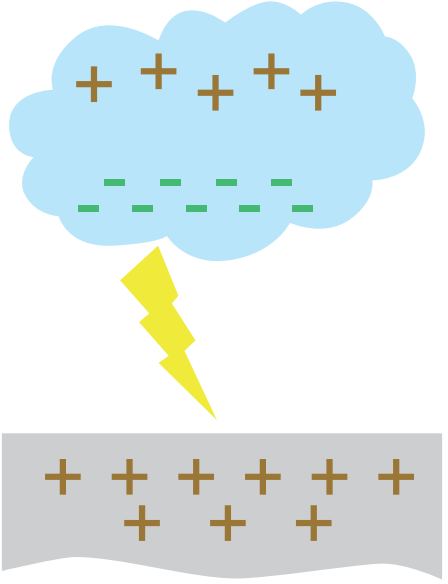
ჰაერი კარგი იზოლატორია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ის მუხტებს ადვილად არ ატარებს. თუმცა, როდესაც მუხტების დაგროვება კრიტიკულ ზღვარს მიაღწევს, ჰაერი „მარცხდება“ (ხდება მისი იონიზაცია) და ჩნდება გამტარი არხი.

ელვის წარმოქმნის ეტაპები: ღრუბლიდან მიწისკენ ეშვება სუსტად მანათობელი იონიზებული ნაკადი. მიწიდან ღრუბლისკენ მიემართება საპასუხო მუხტი.

მთავარი დარტყმა: როცა ეს ორი არხი ერთმანეთს შეხვდება, იკვრება წრედი და მასში ათასობით ამპერი დენი გაივლის. სწორედ ამ დროს ვხედავთ კაშკაშა სინათლეს.

4. რატომ გვესმის გრუხუნი?

ელვის არხში ტემპერატურა მომენტალურად 25000–30000°C-მდე იზრდება, რაც მზის ზედაპირის ტემპერატურაზე მეტია! ასეთი მკვეთრი გაცხელება იწვევს ჰაერის მყისიერ, აფეთქებისმაგვარ გაფარ-



სურ. 1.3.7

თოებას. ეს ჰაერში ქმნის წნევის ძლიერ ტალღას, რომელიც ჩვენ ჭექა-ქუხილის სახით გვესმის.

საინტერესო ფაქტი: ნათება და ხმა – სინათლე ბევრად სწრაფად ვრცელდება, ვიდრე ხმა. სწორედ ამიტომ, ჯერ ვხედავთ ელვას და მერე გვესმის ხმა.

როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანა

ერთნაირი ზომის ლითონის სამი A, B, და C ბურთულა დამუხტულია შესაბამისად $Q_A = 160$ ნკ, $Q_B = 320$ ნკ და $Q_C = -600$ ნკ მუხტებით. თავდაპირველად A და B ბურთულა შეაერთეს ერთმანეთთან წვრილი ლითონის სადენით. შემდეგ C ბურთულა შეაერთეს B-სთან ისე, რომ A და B შეერთებული დატოვეს. მავთულზე დარჩენილი მუხტი არ გაითვალისწინოთ. ბურთულები ერთმანეთისაგან დაშორებულია საკმარისად დიდი მანძილებით.

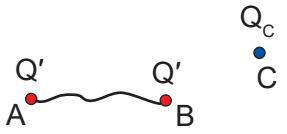
ა) რამდენმა ელექტრონმა გაიარა თავდაპირველად AB სადენში და რა მიმართულებით?

ბ) რამდენმა ელექტრონმა გაიარა CB სადენში და რა მიმართულებით?

გ) რამდენმა ელექტრონმა გაიარა B-ს C-სთან შეერთების შემდეგ AB სადენში და რა მიმართულებით?

ამოხსნა

მოც.: $Q_A = 160$ ნკ;
$Q_B = 320$ ნკ;
$Q_C = -600$ ნკ;
$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ $= 1{,}6 \cdot 10^{-10}$ ნკ.



სურ. 1.3.8

უ.ვ.: N

ა)
- რადგანაც ბურთულები ერთნაირი ზომისაა, შეხების (შეერთების) შემდეგ მათზე მუხტების მნიშვნელობები **გათანაბრდება**. გარდა ამისა, ადგილი ექნება **მუხტის შენახვის კანონს.**
- A და B ბურთულების შეერთების შემდეგ თითოეულ მათგანზე აღმოჩნდება ერთი და იგივე მნიშვნელობის მუხტი (სურ. 1.3.8) $Q' = \frac{Q_A + Q_B}{2} = \frac{160 + 320}{2} = 240$ (ნკ).
- ეს კი ნიშნავს, რომ A ბურთულას მუხტის მნიშვნელობა გაიზარდა $240 - 160 = 80$ ნკ-ით (B ბურთულას მუხტის მნიშვნელობა შემცირდა 80 ნკ-ით).
- AB სადენში B-დან A-სკენ „გაიარა“ 80 ნკ **დადებითმა** მუხტმა. მაგრამ ლითონთა გამტარებში დადებითი მუხტის მატარებელი ნაწილაკები არ გადაადგილდება – დადებითი მუხტის „გავლის“ ეფექტი რეალურად მიიღება ელექტრონების საპირისპირო მოძრაობით. ე.ი რეალურად A-დან B-ზე გადავიდა $N_1 = \frac{80}{1{,}6 \cdot 10^{-10}} = 5 \cdot 10^{11}$ რაოდენობის ელექტრონი.
- მართლაც, A ბურთულას თავდაპირველად აკლდა $N_A = \frac{160}{1{,}6 \cdot 10^{-10}} = 10^{12}$ ელექტრონი, B ბურთულას კი $N_B = \frac{320}{1{,}6 \cdot 10^{-10}} = 20 \cdot 10^{11}$ ცალი. შეერთებისას $5 \cdot 10^{11}$ ელექტრონი გადავიდა A-დან B-ზე და მათზე ელექტრონების დანაკლისი ერთნაირი აღმოჩნდა $\frac{Q'}{e} = \frac{240}{1{,}6 \cdot 10^{-10}} = 15 \cdot 10^{11}$.

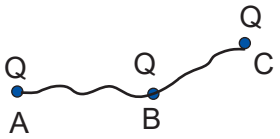
პასუხი: A-დან B-სკენ გაიარა $N_1 = 5 \cdot 10^{11}$ რაოდენობის („ცალმა“) ელექტრონმა.

ბ) • ანალოგიურად, როცა C ბურთულას მივუერთებთ B ბურთულას, მუხტის მნიშვნელობა სამივეზე გათანაბრდება (სურ. 1.3.9) $Q = \frac{2Q' + Q_C}{3} = \frac{2 \cdot 240 - 600}{3} = -40$ (ნკ).

• CB სადენში C-დან B-სკენ გაიარა $Q_C - Q = -600 - (-40) =$

$= -560$ ნკ მუხტმა, ანუ

$N_2 = \frac{560}{1{,}6 \cdot 10^{-10}} = 35 \cdot 10^{11}$ რაოდენობის ელექტრონმა.



სურ. 1.3.9

პასუხი: C-დან B-სკენ გაიარა $N_2 = 35 \cdot 10^{11}$ რაოდენობის ელექტრონმა.

გ) • აქედან მისი ნახევარი $17{,}5 \cdot 10^{11}$ დარჩა B ბურთულაზე და მეორე ნახევარი კი გადავიდა A ბურთულაზე – მეორედ AB სადენში B-დან A-სკენ გაიარა $N_3 = 17{,}5 \cdot 10^{11}$ რაოდენობის ელექტრონმა.

პასუხი: მეორედ AB სადენში B-დან A-სკენ გაიარა $N_3 = 17{,}5 \cdot 10^{11}$ რაოდენობის ელექტრონმა.

საშინაო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

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

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?

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?

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

6**. დაუმუხტავი გამტარი ბურთულა თანმიმდევრულად, რიგ-რიგობით შეახეს q-თი დამუხტულ ისეთივე n რაოდენობის ბურთულას.
   ა) რა მუხტი შეიძინა მე-n ბურთულამ?
   ბ) მინიმუმ რისი ტოლი უნდა იყოს დამუხტული ბურთულების რაოდენობა, რომ მათთან შეხების შემდეგ დაუმუხტავმა ბურთულამ q მუხტის 99%-ზე მეტი შეიძინოს?

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

1.4. კულონის კანონი

ჩვენ უკვე ვისწავლეთ, რომ დამუხტული სხეულები (ან მუხტის მქონე ნაწილაკები) მიიზიდავენ ან განიზიდავენ ერთმანეთს, ისინი ურთიერთქმედებენ. ლოგიკურია ვიფიქროთ, რომ აღნიშნული მიზიდვა/განზიდვა დამოკიდებული იქნება სხეულთა მუხტის სიდიდეზე და მათი ერთმანეთისაგან დაშორებაზე. **როგორ განვსაზღვროთ ძალა, რომლითაც ერთი დამუხტული სხეული ურთიერთქმედებს მეორე დამუხტულ სხეულთან?** ამ შეკითხვაზე პასუხი პარაგრაფის წაკითხვის შემდეგ გეცოდინებათ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების რაოდენობრივ აღწერას;
- **შეძლებთ:** დაახასიათოთ დაელექტროებულ სხეულთა მიზიდვა და განზიდვა, როგორც თვისებრივად, ასევე რაოდენობრივად.

1.4.1. წერტილოვანი მუხტების ურთიერთქმედება

მექანიკაში, სხეულთა მოძრაობის და ურთიერთქმედების აღწერის გასამარტივებლად, შემოიტანეს ფიზიკური მოდელი – „ნივთიერი წერტილი“. ასეთივე მოდელი შეიქმნა დამუხტულ სხეულთა ურთიერთქმედებისათვის, როდესაც მათი ზომები საკმაოდ მცირეა მათ შორის მანძილთან შედარებით. ასეთ დამუხტულ სხეულებს **წერტილოვანი მუხტები** უწოდეს. ცდების ჩატარების დროს ჩვენ ძირითადად წერტილოვან მუხტებს განვიხილავთ.

1785 წელს ფრანგმა ფიზიკოსმა შარლ ოგიუსტენ კულონმა (სურ. 1.4.1) ცდების საფუძველზე დაადგინა ორ უძრავ წერტილოვან მუხტს შორის ურთიერთქმედების კანონი. თავისი ექსპერიმენტებისთვის კულონი იყენებდა სპეციალურ ხელსაწყოს – **გრეხით სასწორს** (სურ. 1.4.2), რომლითაც ის ზომავდა ორ დამუხტულ ბურთულას შორის ურთიერთქმედების ძალას.



სურ. 1.4.1. შარლ ოგიუსტენ კულონი (1736–1806)

1.4.2. კულონის კანონი

კულონმა შეისწავლა, თუ როგორ იყო დამოკიდებული ძალის სიდიდე ბურთულებს შორის მანძილზე. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე მან დაასკვნა, რომ დამუხტულ ბურთულებს შორის მოქმედი განზიდვის ძალის მოდული უკუპროპორციულია მათ ცენტრებს შორის მანძილის კვადრატის:

$$F \sim \frac{1}{r^2}.$$

ერთნაირი შედეგი მიიღებოდა როგორც სხვადასხვანიშნიანი, ასევე ერთნაირნიშნიანი მუხტების ურთიერთქმედებისას.



სურ. 1.4.2

მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მუხტების სიდიდეზე დამოკიდებულების დადგენისას კულონი წააწყდა სირთულეს – საჭირო იყო მუხტის სიდიდის გაზომვა, რისი მეთოდიც იმ დროისთვის არ იყო ცნობილი. ამ პრობლემის გადასაჭრელად მან მუხტის ცვლილების საინტერესო ხერხი მოიფიქრა: თუ q მუხტის მქონე ლითონის ბურთულას ზუსტად ისეთივე დაუმუხტავ ბურთულას შევახებთ, მუხტი ორ ტოლ ნაწილად გაიყოფა და თითოეულზე q/2 მუხტი აღმოჩნდება. ამ გზით მან საცდელი მუხტის 2-ჯერ, 4-ჯერ და ა. შ. შემცირება შეძლო. მუხტის ყოველი ცვლილებისას ის ძალის შესაბამის სიდიდეს ზომავდა. მიღებული შედეგების ანალიზით კულონმა დაადგინა, რომ დამუხტულ ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია თითოეული მუხტის მოდულის, ე.ი. ელექტრული მუხტების მოდულების ნამრავლის:

$$F \sim |q_1| \cdot |q_2|.$$

გარდა ამისა, მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა დამოკიდებულია იმ გარემოს ელექტრულ თვისებებზეც, რომელშიც მუხტებია მოთავსებული. ამ საკითხს, შემდეგში გაეცნობით. აქ აღვნიშნავთ, რომ ჰაერი უმნიშვნელო გავლენას ახდენს მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალაზე.

ცდის შედეგების გაერთიანებით კულონმა ჩამოაყალიბა კანონი.

ორი უძრავი წერტილოვანი მუხტი ვაკუუმში ურთიერთქმედებს ძალებით, რომელთა მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის:

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

რომელშიც k პროპორციულობის კოეფიციენტია.

ამ დებულებას **კულონის კანონს**, ხოლო ძალას **კულონურ ძალას** უწოდებენ.

რადგან ძალის მოდული არაუარყოფითია, მუხტი კი შეიძლება უარყოფითიც იყოს, ამიტომ კულონის კანონში მუხტების მოდულებია აღებული. ექსპერიმენტულად დადგენილია K კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა:

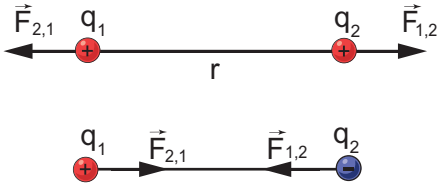
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კ}^2}.$$

კულონის კანონის სადემონსტრაციო ვირტუალური ექსპერიმენტის ჩასატარებლად გადადით ბმულებზე:





კულონური ძალა მიმართულია წერტილოვანი მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ (სურ. 1.4.3). როგორც იცით, ასეთ ძალებს ცენტრული ძალები ეწოდება. ე.ი. კულონური ძალა ცენტრულია. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$.



სურ. 1.4.3

1.4.3. კულონური ძალების ტოლქმედი

თუ დამუხტულ სხეულზე მოქმედებს რამდენიმე დამუხტული სხეული, მაშინ მოცემულ სხეულზე მოქმედი ჯამური ძალა ტოლი იქნება თითოეული დამუხტული სხეულის მხრიდან მოქმედი ძალების ტოლქმედის:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots + \vec{F}_n,$$

რომელშიც n არის მოცემულ სხეულზე მოქმედი დამუხტული სხეულების რაოდენობა.

კულონის კანონიდან ჩანს, რომ 1 კ ძალიან დიდი მუხტია, რადგან ერთი მეტრით დაშორებული თითო კულონი მუხტის მქონე სხეულები ურთიერთქმედებენ $9 \cdot 10^9$ ნ ძალით.

კულონის კანონი ძალიან ჰგავს მსოფლიო მიზიდულობის კანონს – ორი სხეული ურთიერთმიიზიდება ძალით, რომელიც პროპორციულია მათი მასების ნამრავლის და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის. ორივე ძალა – გრავიტაციული და კულონური, ცენტრულია.

ახალი ტერმინები:

წერტილოვანი მუხტი;

კულონური ძალა;

ცენტრული ძალა;

კულონის კანონი;

გრეხითი სასწორი.

საკლასო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

1. 60 სმ-ით დაშორებული q და 9q მუხტების მქონე ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულები ერთმანეთს შეახეს. რა მანძილით უნდა დავაშოროთ ბურთულები ერთმანეთს, რომ ურთიერთქმედების ძალა არ შეიცვალოს?
2. q და –5q მუხტებით დაელექტროებული ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა F-ის ტოლია. ისინი ერთმანეთს შეახეს და ორჯერ მეტი მანძილით დააშორეს ერთმანეთს. გამოსახეთ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ახალი ძალა F-ით.

უპასუხეთ კითხვებს

1. როგორ არის დამოკიდებული მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა მათ შორის მანძილზე? თითოეული მუხტის მოდულზე?
2. რა ხერხი მოიფიქრა კულონმა ბურთულას მუხტის 2-ჯერ, 4-ჯერ და ა.შ. შესამცირებლად?
3. საიდან ჩანს, რომ 1 კულონი ძალიან დიდი მუხტია?
4. რა მსგავსებებია კულონის კანონსა და მსოფლიო მიზიდულობის კანონს შორის?
5. როგორ განვსაზღვროთ მუხტზე მოქმედი კულონური ძალა, თუ მასზე სამი ან მეტი მუხტი მოქმედებს?

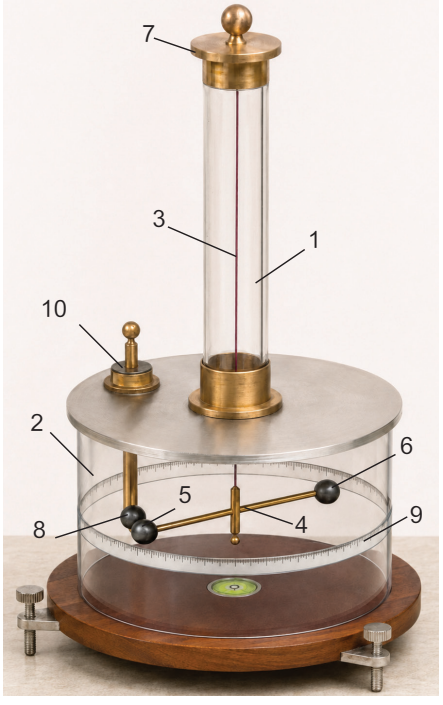
რა ვისწავლეთ

- **დამუხტულ სხეულებს, რომელთა შორის მანძილი ბევრად აღემატება მათ ზომებს, წერტილოვან მუხტებს უწოდებენ;**
- **ორი უძრავი წერტილოვანი მუხტი ვაკუუმში ურთიერთქმედებს ძალებით, რომელთა მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის:** $F = k\frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$;
- **SI-ში პროპორციულობის k კოეფიციენტი ტოლია:** $k = 9 \cdot 10^9 \frac{ნ \cdot მ^2}{კ^2}$;
- **კულონური ძალა ცენტრულია.**

კიდევ რა შეიძლება ვიცოდეთ

რაში მდგომარეობს გრეხითი სასწორის მუშაობის პრინციპი?

გრეხითი სასწორი შედგება (სურ. 1.4.4) მინის ორი (1) და (2) ცილინდრისგან, რომელთა შიგნით თხელ ვერცხლის ძაფზე (3) დაკიდებულია გაუმტარი ღერო (4). მის ერთ ბოლოზე დამაგრებულია გამტარი ბურთულა (5), მეორეზე კი – მისი საპირწონე (6). ძაფის ზევითა ბოლო დამაგრებულია მბრუნავ თავაკზე, რომლის შემობრუნების კუთხე მავთულის დაგრეხისას იზომება ზედა სკალით (7). სასწორის შიგნით მოთავსებულია უძრავი, (5)-ის მსგავსი იზოლირებული ბურთულა (8). ბურთულებს შორის მანძილის გასაზომად იყენებენ დიდი ცილინდრის ზედაპირზე არსებულ სკალას (9). წინასწარი ცდებით ზუსტად განისაზღვრება მაბრუნებელი მომენტი, რომელიც საჭიროა ძაფის გარკვეული კუთხით დაგრეხისათვის. ღეროს სიგრძის ცოდნით შეიძლება გამოვთვალოთ (5) ბურთულაზე მოდებული ძალა, რომელიც ისეთივე მომენტს იძლევა.



სურ. 1.4.4

კულონი მუხტავდა იზოლატორიან სახელურზე დამაგრებულ ბურთულას (სურ. 1.4.5). შემდეგ მას ადებდა (10) კონტაქტს, რომლის საშუალებით მუხტი ერთმანეთს მიდებულ (5) და (8) ბურთულებზე გადადიოდა. კონტაქტიდან ბურთულას მოშორების შემდეგ (5) და (8) ბურთულებს ერთნაირნიშნიანი მუხტი რჩებოდათ, ისინი განიზიდავდნენ ერთმანეთს და გარკვეულ მანძილზე შორდებოდნენ. ბურთულების დასაახლოებლად თავაკის საშუალებით ძაფი იგრიხებოდა და სკალაზე მოინიშნებოდა მანძილი, რომელზეც მიუახლოვდებოდა ბურთულები ერთმანეთს ძაფის დაგრეხისას.



სურ. 1.4.5

ხშირად ელექტრობის განტოლებათა მარტივი სახით ჩასაწერად, k კოეფიციენტს გამოსახავენ შემდეგნაირად:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.$$

ε_0-ს ელექტრულ მუდმივას უწოდებენ.

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ კ^2/ნ . მ^2.

როგორ იხსნება ამოცანები

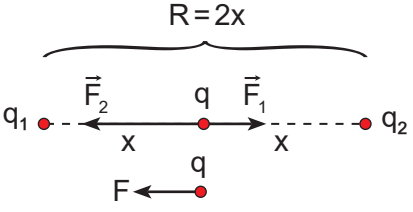
ამოცანა 1

რა მანძილით არიან ერთმანეთისგან დაშორებული 300 მკკ და 700 მკკ წერტილოვანი მუხტები, თუ მათი შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში შეტანილ 100 მკკ წერტილოვან მუხტზე 360 ნ ჯამური კულონური ძალა მოქმედებს?

ამოხსნა

მოც.: $q_1 = 300$ მკკ $= 3 \cdot 10^{-4}$კ;
$q_2 = 700$ მკკ $= 7 \cdot 10^{-4}$კ;
$q = 100$ მკკ $= 10^{-4}$კ;
$k = 9 \cdot 10^9$ ნ.მ^2/კ^2;
$F = 360$ ნ.

უ.ვ.: R



$$F_1 = k\frac{q_1 \cdot q}{x^2}$$

$$F_2 = k\frac{q_2 \cdot q}{x^2}$$

სურ. 1.4.6

- ავაგოთ პირობის შესაბამისი ნახაზი (სურ. 1.4.6), რომელზეც ვაჩვენოთ q მუხტზე მოქმედი ძალები და ჩავწეროთ მათი მოდულები.
- მუხტებს შორის შუა წერტილის დაშორება თითოეული მუხტიდან აღვნიშნოთ x-ით. საძიებელია R = 2x.
- ძალების ტოლქმედი $F = F_2 - F_1 = k\frac{q}{x^2}(q_2 - q_1)$.
- აქედან $x = \sqrt{\frac{kq(q_2 - q_1)}{F}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-4} \cdot (7 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4})}{360}} = 1$ (მ)

- შესაბამისად, მუხტებს შორის მანძილია: R = 2x = 2 მ.

პასუხი: q_1 და q_2 წერტილოვან მუხტებს შორის დაშორება 2 მ-ია.

ამოცანა 2

ვაკუუმში ერთმანეთისგან R მანძილით დაშორებული ორი ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულა დაელექტროებულია ერთნაირსახელიანი $Q_1 = 2q_0$ და $Q_2 = 8q_0$ მუხტებით ($Q_1 \cdot Q_2 > 0$). ბურთულები ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ იმავე მანძილით დააშორეს. ბურთულებს შორის მანძილი მათ ზომებზე ბევრად მეტია.

ა) რამდენჯერ გაიზარდა კულონური განზიდვის ძალა შეხების შემდეგ?

ბ)* დაამტკიცეთ, რომ შეხების შემდეგ მუხტებს შორის კულონური განზიდვის F′ ძალა ყოველთვის არანაკლებია შეხებამდე არსებულ F ძალაზე ($F' \geq F$).

ამოხსნა

ა) • კულონური განზიდვის ძალები ბურთულების შეხებამდე $F = k\frac{2q_0 8q_0}{R^2} = 16k\frac{q_0^2}{R^2}$.

- შეხების შემდეგ ბურთულებზე მუხტები ერთნაირია: $q = \frac{q_1+q_2}{2} = 5q_0$.
- შესაბამისად ახალი განზიდვის ძალა: $F' = k\frac{(5q_0)^2}{R^2} = 25k\frac{q_0^2}{R^2}$.
- შევადგინოთ ფარდობა: $\frac{F'}{F} = \frac{25}{16} = 1{,}5625$.

პასუხი: კულონური განზიდვის ძალა გაიზარდა 1,5625-ჯერ (56,25%-ით).

ბ)* • განვიხილოთ კულონური ძალის ცვლილება ბურთულების შეხებამდე (სურ. 1.4.7 ა) და შეხების შემდეგ (სურ. 1.4.7 ბ):

$q_1 \cdot q_2 > 0$



$F_1 = F_2 = F = k\frac{q_1 q_2}{R^2}$

სურ. 1.4.7 ა



$F_1' = F_2' = F' = k\frac{q^2}{R^2}$

სურ. 1.4.7 ბ

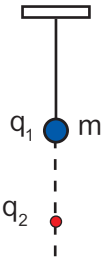
რომელშიც, $q = \frac{q_1 + q_2}{2}$

- ძალის ცვლილება: $\Delta F = F' - F = k\frac{q^2}{R^2} - k\frac{q_1 q_2}{R^2} = \frac{k}{R^2}(q^2 - q_1 q_2) = \frac{k}{R^2}\left(\left(\frac{q_1+q_2}{2}\right)^2 - q_1 q_2\right) =$
  $= \frac{k}{4R^2}(q_1^2 + 2q_1 q_2 + q_2^2 - 4q_1 q_2) = \frac{k}{4R^2}(q_1^2 - 2q_1 q_2 + q_2^2)$.
- მაგრამ ორწევრის სხვაობის კვადრატი ყოველთვის არაუარყოფითია:
  $q_1^2 - 2q_1 q_2 + q_2^2 = (q_1 - q_2)^2 \geq 0$.
- **შესაბამისად, $\Delta F \geq 0$,** რისი დამტკიცებაც გვინდოდა.

ამოხსენით ამოცანები:

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?
2. –1 მკკ წერტილოვანი მუხტი მისგან 10 სმ-ით დაშორებულ მეორე წერტილოვან მუხტს განიზიდავს 7,2 ნ ძალით. რისი ტოლია მეორე მუხტის მნიშვნელობა?
3. რა მანძილით არიან ერთმანეთისგან დაშორებული $q_1 = q_2 = 500$ მკკ წერტილოვანი მუხტები ვაკუუმში, თუ მათ შორის ელექტრული განზიდვის ძალა 250 ნ-ია.
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?

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.



სურ. 1.4.8

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?

7**. გარკვეული მანძილით დაშორებული $q_1 > 0$ და $q_2 < 0$ მუხტებით ($\frac{|q_1|}{|q_2|} > 1$) 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)?

1.5. ელექტრული ველი

ორი სხეულის ურთიერთქმედების შესწავლისას ყოველთვის ვეძებთ იმ შუალედურ რგოლს, რომლის საშუალებითაც ეს ურთიერთქმედება ხორციელდება. მაგალითად, ბავშვის ქმედება ციგას თოკის მეშვეობით გადაეცემა (სურ. 1.5.1). როდესაც თმაზე გახახუნებული კალმისტარი პატარა ფურცლის ნაჭერს მიიზიდავს, ყველამ ვიცით, რომ ეს მიზიდვა ელექტრობასთან არის კავშირში, მაგრამ, კალმისტარმა „უჩინარი თოკით“ მიიზიდა ფურცლის ნაჭერი? **რისი საშუალებით ურთიერთქმედებენ დამუხტული სხეულები მაშინაც კი, როდესაც მათ შორის ნივთიერი გარემო არ არის?** ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად გავეცნოთ შემდეგ პარაგრაფს.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** რისი საშუალებით ურთიერთქმედებენ დამუხტული სხეულები;
- **გაიაზრებთ:** რას წარმოადგენს ელექტრული ველი და როგორ იქმნება იგი;
- **შეგეძლებათ:** დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების მექანიზმის ახსნა;
- **შეგეძლებათ:** ელექტრული ველის სიძლიერის დახასიათება.

1.5.1. ელექტრული ველი

დიდმა ინგლისელმა ფიზიკოსმა, მაიკლ ფარადეიმ (სურ. 1.5.2) მე-19 საუკუნის პირველ ნახევარში გამოთქვა მოსაზრება, რომ დამუხტული სხეული თავის გარშემო ქმნის **მატერიის განსაკუთრებულ ფორმას**, რომელსაც მან **ელექტრული ველი** უწოდა. ერთი დამუხტული სხეულის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი მოქმედებს მეორე დამუხტულ სხეულზე და პირიქით, მეორე დამუხტული სხეულის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი – პირველზე.



სურ. 1.5.1

ელექტრული ველის ძირითადი თვისება დამუხტულ სხეულებზე გარკვეული ძალით მოქმედებაა. სწორედ ამ მოქმედებით ადგენენ ველის არსებობას და შეისწავლიან მის მახასიათებლებს.

1.5.2. ელექტრული ველის დაძაბულობა

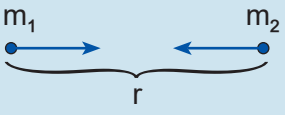
ელექტრული ველის დასახასიათებლად უნდა შევარჩიოთ ისეთი ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ველში შეტანილი მუხტის **(სასინჯი მუხტის)** რიცხვით მნიშვნელობაზე დამოკიდებული არ იქნება და ველის გაძლიერებისას გაიზრდება. ამ სიდიდის საშუალებით უნდა შეგვეძლოს ელექტრული ველის ნებისმიერ წერტილში მოთავსებულ მუხტზე მოქმედი ძალის განსაზღვრა. სასინჯი მუხტი იმდენად მცირე უნდა იყოს, რომ შესამჩნევი გავლენა არ ჰქონდეს შესასწავლ ველზე.



სურ. 1.5.2. მაიკლ ფარადეი (1791–1867)

დედამიწის გრავიტაციული ველის ასეთი მახასიათებელია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, რომელიც არ არის დამოკიდებული გრავიტაციულ ველში

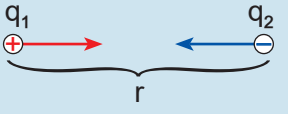
შეტანილი სხეულის მასაზე. მისი ცოდნა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ნებისმიერ m მასის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა: $\vec{F}_{სიმ} = m\vec{g}$ (m<<M, M – დედამიწის მასაა).



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

ვთქვათ, ვაკუუმში ელექტრული ველი შექმნილია წერტილოვანი q მუხტის მიერ. ამ მუხტიდან r მანძილზე მოთავსებულ სასინჯ q_0 მუხტზე იმოქმედებს კულონური ძალა, რომლის მოდული ტოლია:

$$F = k\frac{|q| \cdot |q_0|}{r^2}. \qquad (1)$$



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

რადგან ამ ძალის სიდიდე სასინჯი q_0 მუხტის მოდულის პროპორციულია, ამიტომ ფარდობა $\frac{F}{|q_0|}$ სასინჯ მუხტზე დამოკიდებული აღარ იქნება და ის შეიძლება გამოვიყენოთ q მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის მახასიათებლად. ამ შეფარდებას **ელექტრული ველის დაძაბულობა** ეწოდება. ელექტრული ველის დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა, მის მიმართულებად მიჩნეულია ველში შეტანილ დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულება. ელექტრული ველის დაძაბულობას $\vec{E}$-თი აღნიშნავენ.

ელექტრული ველის დაძაბულობა სივრცის მოცემულ წერტილში ტოლია ამ წერტილში მოთავსებულ დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის შეფარდებისა ამ მუხტთან:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \qquad (2)$$

SI-ში ელექტრული ველის დაძაბულობა იზომება ნ/კ-ში.

მოცემულ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობის ცოდნით ყოველთვის ვიპოვით ამ წერტილში მოთავსებულ მუხტზე მოქმედ ძალას: $\vec{F} = q_0 \cdot \vec{E}$, ამიტომ, ელექტრული ველის დაძაბულობა ველის ძალურ მახასიათებელს წარმოადგენს, იგი რიცხობრივად ერთეულოვან სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის ტოლია.

დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში წერტილოვანი მუხტის ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორს და მის დამოკიდებულებას მუხტის მოდულზე და მისგან დაშორებაზე:





1.5.3. წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა

(1) და (2) ფორმულებიდან გამომდინარეობს, რომ ვაკუუმში **წერტილოვანი q მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული, მუხტიდან r მანძილზე ტოლია:**

ახალი ტერმინები:

ელექტრული ველი;

სასინჯი მუხტი;

ელექტრული ველის დაძაბულობა;

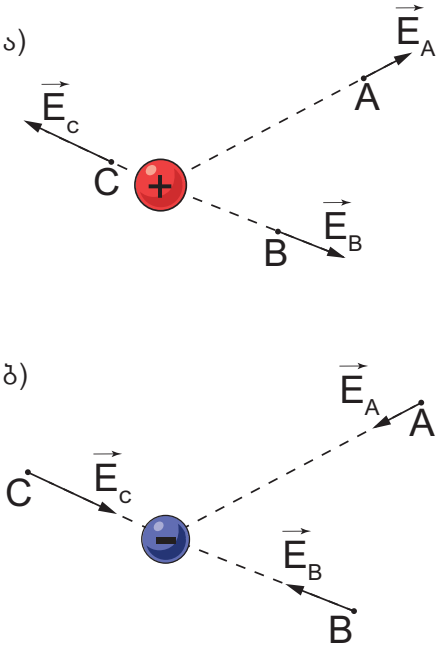
ელექტროსტატიკური ველი;

ზედდების პრინციპი.

$$E = k\frac{|q|}{r^2}. \qquad (3)$$

დადებითი წერტილოვანი q მუხტის შემთხვევაში ელექტრული ველის დაძაბულობა სივრცის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია მუხტისა და ამ წერტილის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ, მუხტიდან (სურ. 1.5.3 ა), ხოლო, თუ q მუხტი უარყოფითია – მუხტისკენ (სურ. 1.5.3 ბ).

უძრავი მუხტის მიერ შექმნილ ველს, **ელექტროსტატიკურს** უწოდებენ. ასეთი ველი დროის განმავლობაში უცვლელია, ანუ ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილში შეტანილ სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალაც არ იცვლება.



სურ. 1.5.3

1.5.4. ელექტრული ველების ზედდების[1] პრინციპი

როგორ გამოვთვალოთ მოცემულ წერტილში სხვადასხვა დამუხტული ნაწილაკების შექმნილი ელექტროსტატიკური ველების ჯამური დაძაბულობა? დავუშვათ წერტილში, სადაც q_0 სასინჯი მუხტია მოთავსებული, სხვა მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველების დაძაბულობებია: $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \ldots \vec{E}_n$. სასინჯ მუხტზე მოქმედი ჯამური ძალა ტოლი იქნება ცალკეული ველების მხრიდან მოქმედი ძალების ჯამის:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots + \vec{F}_n. \qquad (4)$$

თუ $\vec{E}$-ით აღვნიშნავთ ელექტრული ველის ჯამურ დაძაბულობას და გავითვალისწინებთ, რომ: $\vec{F}_1 = q_0 \cdot \vec{E}_1$, $\vec{F}_2 = q_0 \cdot \vec{E}_2$, $\vec{F}_3 = q_0 \cdot \vec{E}_3$, ... $\vec{F}_n = q_0 \cdot \vec{E}_n$, მაშინ (4) ფორმულიდან მივიღებთ:

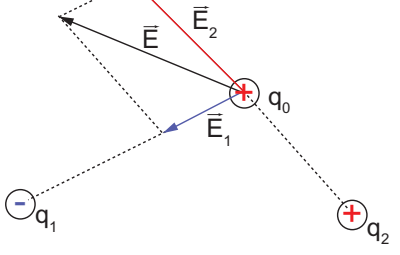
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_n. \qquad (5)$$

ეს ტოლობა გამოსახავს ელექტრული **ველების ზედდების** პრინციპს: **ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა მოცემულ წერტილში ცალკეული მუხტების მიერ შექმნილი ველების დაძაბულობათა ჯამის ტოლია.**

სურ. 1.5.4-ზე ნაჩვენებია ზედდების პრინციპის გამოყენება იმ შემთხვევისთვის, როდესაც ელექტრულ ველს ორი წერტილოვანი მუხტი ქმნის.

[1] სამეცნიერო ლიტერატურაში ველების **ზედდების პრინციპი** მოხსენიებულია, როგორც ველების **სუპერპოზიციის პრინციპი**.

დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში წერტილოვანი მუხტის ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორს და მის დამოკიდებულებას მუხტის მოდულზე და მისგან დაშორებაზე:



სურ. 1.5.4

საკლასო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანა:

მოცემულია d მანძილით დაშორებული ორი დამუხტული ნაწილაკი. მათი მუხტებია q და –q. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტების შემაერთებელი მონაკვეთის შუაწერტილში.

უპასუხეთ კითხვებს

1. რა არის ელექტრული ველის ძირითადი თვისება?
2. თქვენი აზრით, რატომ უწოდებენ ველს მატერიის განსაკუთრებულ ფორმას?
3. რატომ არის ელექტრული ველის დაძაბულობა მისი ძალური მახასიათებელი?
4. საით არის მიმართული ელექტრულ ველში შეტანილ დადებით მუხტზე მოქმედი ძალა? უარყოფით მუხტზე მოქმედი ძალა?

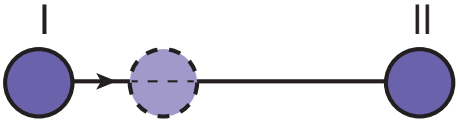
რა ვისწავლეთ

- **დამუხტული სხეული გარემომცველ სივრცეში ქმნის ელექტრულ ველს;**
- **ელექტრული ველი მატერიის განსაკუთრებული ფორმაა;**
- **უძრავი მუხტის მიერ შექმნილ ელექტრულ ველს ელექტროსტატიკური ველი ეწოდება;**
- **ელექტრული ველის ძალური მახასიათებელი სიდიდეა ელექტრული ველის დაძაბულობა;**
- **ელექტრული ველის დაძაბულობა მოცემულ წერტილში ტოლია ამ წერტილში მოთავსებულ დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის შეფარდებისა მუხტთან:** $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$;
- **SI-ში ელექტრული ველის დაძაბულობა იზომება ნ/კ-ში;**
- **წერტილოვანი q მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული მუხტიდან r მანძილზე ტოლია:** $E = k\frac{|q|}{r^2}$;
- **წერტილოვანი დადებითი q მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა მის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია მუხტისა და ამ წერტილის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ მუხტიდან, უარყოფითი მუხტის შემთხვევაში კი – მუხტისკენ;**
- **სივრცის მოცემულ წერტილში ჯამური ელექტროსტსტიკური ველის დაძაბულობა თითოეული მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობათა ჯამის ტოლია:**

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_n.$$

ეს საინტერესოა?

ფარადეის მოსაზრებებზე დაყრდნობით, მაქსველმა თეორიულად დაასაბუთა, რომ ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება სივრცეში სასრული სიჩქარით ვრცელდება. ეს ნიშნავს, რომ I სხეულის გადაადგილებისას II სხეულზე მოქმედი ელექტრული ძალა არა მყისიერად, არამედ გარკვეული დროის შემდეგ შეიცვლება (სურ. 1.5.5). თუ სხეულებს შორის მან-



სურ. 1.5.5

ძილს ℓ-ით აღვნიშნავთ, მაშინ ეს დრო ტოლი იქნება: $t = \frac{\ell}{c}$; რომელშიც c ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების გავრცელების სიჩქარეა. მაქსველმა დაამტკიცა, რომ ის ვაკუუმში სინათლის გავრცელების სიჩქარის ტოლია: $c \approx 300000$ კმ/წმ.

როგორ იხსნება ამოცანები

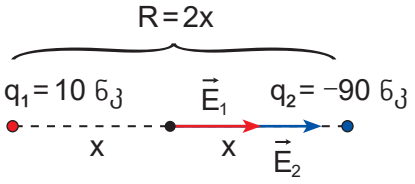
ამოცანა

$q_1 = 10$ ნკ და $q_2 = -90$ ნკ წერტილოვანი მუხტები ერთმანეთისგან დაშორებულია 1 მ მანძილით (სურ. 1.5.6). რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტების შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში?

ამოხსნა:

მოც.: $q_1 = 10$ ნკ $= 10^{-8}$ კ;
$q_2 = -90$ ნკ $= -9 \cdot 10^{-8}$ კ;
$R = 2x = 1$მ;
$k = 9 \cdot 10^9$ ნ.მ^2/კ^2.

უ.ვ.: E



სურ. 1.5.6

- სურათზე ვაჩვენოთ თითოეული მუხტის ველის დაძაბულობის $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ ვექტორები.
- ზედდების პრინციპის თანახმად: $E = E_1 + E_2 = k\frac{|q_1|}{x^2} + k\frac{|q_2|}{x^2} = \frac{k}{x^2}(|q_1| + |q_2|)$.
- რიცხვითი მონაცემების ჩასმის შემდეგ: $E = \frac{9 \cdot 10^9 (10^{-8} + 9 \cdot 10^{-8})}{0{,}5^2} = 3600$ ნ/კ.

პასუხი: ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტების შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში 3600 ნ/კ-ია.

საშინაო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

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?
2. 600 ნკ წერტილოვანი მუხტიდან რა მანძილით დაშორებულ წერტილშია ველის დაძაბულობა 3750 ნ/კ-ის ტოლი?
3. წერტილოვანი მუხტის ველის გარკვეულ წერტილში დაძაბულობა 8000 ნ/კ-ის ტოლია. რისი ტოლია ველის დაძაბულობა მუხტიდან 2-ჯერ მეტი მანძილით დაშორებულ წერტილებში?

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?

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?

1.6. ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები

ელექტრული ველი მატერიის არანივთიერი ფორმაა, ამიტომ მას ვერ შევიგრძნობთ. როდესაც რაიმე ნივთს ვხატავთ, საბოლოოდ ნახატი ამ ნივთის გარეგნულ სახეს აღწერს. თუმცა, ძნელი წარმოსადგენია დავხატოთ ისეთი რამ, რაც არასდროს გვინახავს და არავინ იცის როგორ გამოიყურება იგი. უფრო მეტიც, ვერ დავხატავთ ისეთ რამეს, რასაც გარეგნული სახე არ გააჩნია. სწორედ ასეთია ელექტრული ველი. **როგორ გავხადოთ ელექტრული ველი „ხილული“?** აღნიშნულ კითხვაზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის წაკითხვის შემდეგ შეძლებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

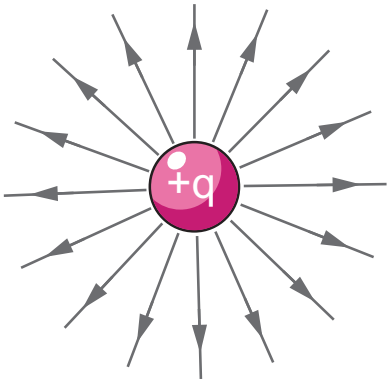
- **ისწავლით:** თვალსაჩინოდ როგორ გამოსახავენ ელექტრულ ველს;
- **შეიტყობთ:** რა უნდა გავითვალისწინოთ დამუხტული სხეულების ელექტრული ველის გამოსახვისას;
- **შეძლებთ:** ელექტრული ველის აღწერას და დახასიათებას;
- **გეცოდინებათ:** როგორ გამოისახება დამუხტული სხეულების ელექტრული ველი.

1.6.1. ელექტრული ველის ძალწირები

1845 წელს ფარადეიმ წამოაყენა იდეა, რომ ელექტრული ველი წარმოსახვითი წირებით გამოესახათ. მისი მოსაზრებით წირები ისე უნდა გავლებულიყო, რომ წირის ყოველ წერტილში გავლებული მხები, ამ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობის გასწვრივ ყოფილიყო მიმართული. მათ ელექტრული ველის **დაძაბულობის წირები** ან **ძალწირები** უწოდეს.

მაშ ასე, ძალწირის მოცემულ წერტილში ველის დაძაბულობა ამ წერტილში გავლებული მხების გასწვრივ არის მიმართული, მაგრამ მხებს მიმართულება არ გააჩნია. სწორედ ამიტომ, დაძაბულობის მიმართულების მისანიშნებლად, ძალწირებზე ისარს ხატავენ.

ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები ერთმანეთს არ კვეთს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ელექტრული ველის დაძაბულობას გადაკვეთის წერტილში ორი მიმართულება ექნებოდა.

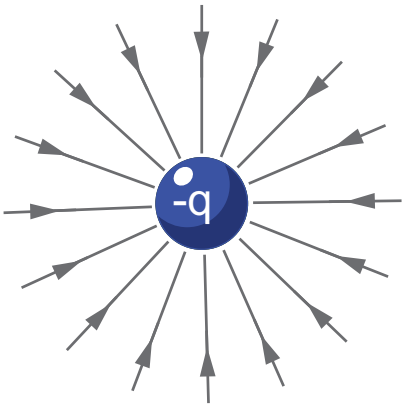


სურ. 1.6.1

1.6.2. წერტილოვანი მუხტების დაძაბულობის წირები

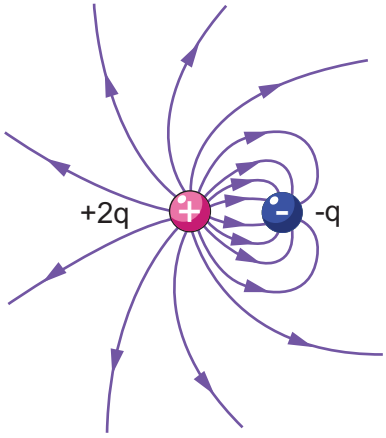
განმხოლოებული (სხვა დამუხტული სხეულებისაგან საკმაოდ შორს მყოფი) დადებითი წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის წირები მიმართულია რადიალურად მუხტიდან უსასრულობაში (სურ. 1.6.1).

განმხოლოებული უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის წირები მიმართულია რადიალურად უსასრულობიდან მუხტისაკენ (სურ. 1.6.2). გარკვეული მანძილით დაშორებული ორი სხვადა-

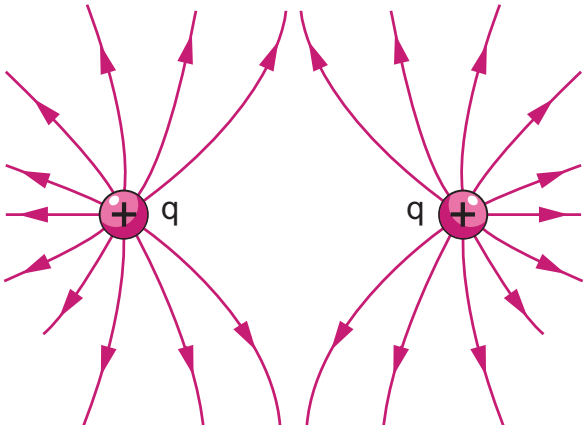


სურ. 1.6.2

სხვანიშნიანი მუხტის მიერ შექმნილი ველის ძალწირები გამოსახულია სურ. 1.6.3-ზე, ერთნაირნიშნიანებისა კი – სურ. 1.6.4-ზე.



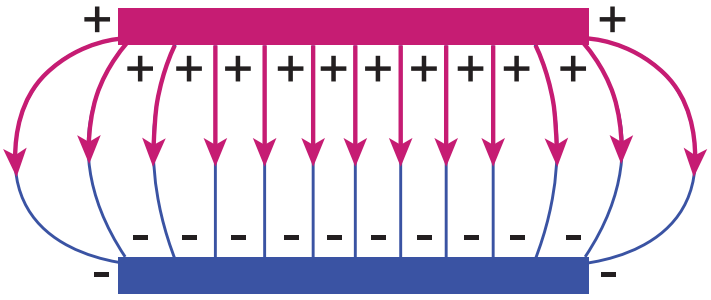
სურ. 1.6.3



სურ. 1.6.4

1.6.3. ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ძალწირები

თუ ავიღებთ სიდიდით ტოლ და საპირისპირო ნიშნით დამუხტულ ორ ბრტყელ, პარალელურ ლითონის ფირფიტას, რომელთა ზომები მათ შორის მანძილზე ბევრად დიდია, მაშინ ეს ფირფიტები მათ შორის შექმნიან ელექტრულ ველს, რომლის ყოველ წერტილში დაძაბულობას ერთნაირი მოდული და მიმართულება ექნება. ასეთი ველის ძალწირები ერთმანეთის პარალელურია და გავლებულია ერთმანეთისაგან ტოლ მანძილზე, ანუ თანაბარი სიხშირისაა (სურ. 1.6.5).



სურ. 1.6.5

ელექტრულ ველს, რომლის ნებისმიერ წერტილში დაძაბულობა ერთნაირია, ერთგვაროვანი ელექტრული ველი ეწოდება.

ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულის საჩვენებლად შეთანხმდნენ, რომ სურათებზე ძალ-

ახალი ტერმინები:

დაძაბულობის წირები;

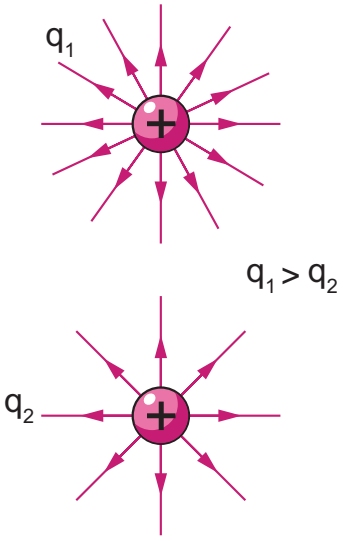
ძალწირები;

ერთგვაროვანი ველი.

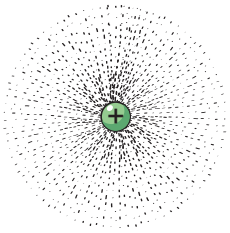
წირები გაავლონ გარკვეული სიხშირით – **რაც უფრო მეტია დაძაბულობის მოდული, მით მეტია ძალწირების სიხშირე.** წერტილოვანი მუხტის შემთხვევაში, რაც უფრო ვშორდებით მუხტს, ველის დაძაბულობის მოდული და შესაბამისად ძალწირების სიხშირეც იკლებს (სურ. 1.6.6).

განვიხილოთ ცდა: წვრილად დაჭრილი თმა (ბეწვი) თანაბრად გადავანაწილოთ მინის ფირფიტაზე და შემდეგ ფირფიტა დამუხტული ბურთულის თავზე მოვათავსოთ. ბეწვი გადანაწილდება და განლაგდება ისე, როგორც სურ. 1.6.7-ზეა გამოსახული.

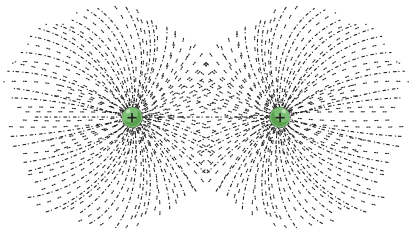
ერთნაირი ნიშნით დამუხტული ბურთულების ფირფიტის თავზე მოთავსებისას ბეწვის გადანაწილება სურ. 1.6.8 ა-ზეა ნაჩვენები, ხოლო სხვადასხვანიშნიანი ბურთულების შემთხვევაში კი – სურ. 1.6.8 ბ-ზე.



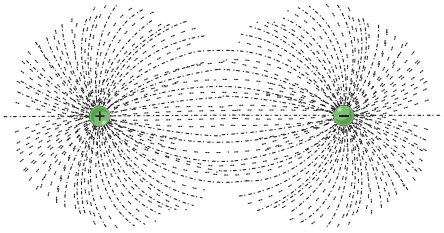
სურ. 1.6.6



სურ. 1.6.7



სურ. 1.6.8 ა



სურ. 1.6.8 ბ

სამივე შემთხვევაში, ბეწვები ელექტრული ველის ძალწირების გასწვრივ განლაგდება და მათ „ხილულად“ აქცევს.

საკლასო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანა:

q_1= 180 ნკ და q_2 = –240 ნკ წერტილოვანი მუხტები ვაკუუმში ერთმანეთისგან დაშორებულია 1 მ-ით. რისი ტოლია მუხტების მიერ შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა წერტილში, რომელიც q_1-დან დაშორებულია 60 სმ-ით და q_2-დან კი 80 სმ-ით.

უპასუხეთ კითხვებს

1. რას მიუთითებს ელექტრული ველის ძალწირზე აღნიშნული ისარი?
2. რატომაა წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის ძალწირი წრფე?
3. რატომ არ შეიძლება ელექტრული ველის ძალწირები ერთმანეთს კვეთდეს?
4. როგორ შეიძლება შევქმნათ ერთგვაროვანი ელექტრული ველი?
5. შეიცვლება თუ არა საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალა, თუ მას ერთგვაროვანი ველის ერთი წერტილიდან მეორეში გადავიტანთ?

რა ვისწავლეთ

- **ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები ისეთი წარმოსახვითი წირებია, რომელთა ნებისმიერ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება ამავე წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულებას ემთხვევა;**
- **დადებითი წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის წირები მიმართულია რადიალურად, მუხტიდან უსასრულობაში, უარყოფითისა კი, პირიქით – უსასრულობიდან მუხტისკენ;**
- **ელექტრულ ველს, რომლის ნებისმიერ წერტილში დაძაბულობა ერთნაირია, ერთგვაროვანი ელექტრული ველი ეწოდება;**
- **ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ყოველ წერტილში დაძაბულობას ერთნაირი მოდული და მიმართულება აქვს, ხოლო ძალწირები ერთმანეთის პარალელურია და თანაბარი სიხშირისაა;**
- **რაც უფრო მეტია დაძაბულობის მოდული, მით მეტია ძალწირების სიხშირე.**

როგორ იხსნება ამოცანები

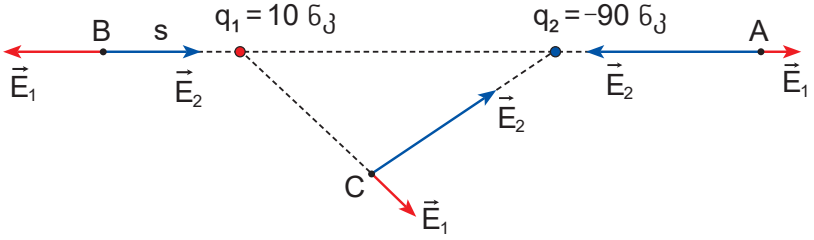
ამოცანა

$q_1 = 10$ ნკ და $q_2 = -90$ ნკ წერტილოვანი მუხტები ერთმანეთისგან დაშორებულია 1 მ-ით. q_1 მუხტიდან რა მანძილითაა დაშორებული და რომელ წერტილშია ამ ორი მუხტით შექმნილი ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი (სურ. 1.6.9)? (იმსჯელეთ ამ წერტილის ერთადერთობის შესახებ).

ამოხსნა:

მოც.: $q_1 = 10^{-8}$ კ;
$q_2 = -9 \cdot 10^{-8}$ კ;
$k = 9 \cdot 10^9$ ნ.მ^2/კ^2;
$R = 1$ მ.

უ.ვ.: s



სურ. 1.6.9

- ორივე მუხტით შექმნილი ჯამური ველის $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ დაძაბულობა მუხტებზე გამავალი წრფის გარეთ მდებარე რაიმე C წერტილში ვერასდროს იქნება ნულის ტოლი, რადგან ამ წერტილში თითოეული მუხტის ველის დაძაბულობის $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ ვექტორები ერთ წრფეზე ვერ განთავსდებიან.
- ასეთი წერტილი ვერც მუხტების შემაერთებელ მონაკვეთზე მოიძებნება – ამ დროს $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ ვექტორები ერთ მხარეს არის მიმართული და ჯამური ველის დაძაბულობა აქაც ვერ იქნება ნულის ტოლი.
- ასეთი წერტილი შეიძლება მოიძებნოს მხოლოდ მუხტების შემაერთებელ წრფეზე მუხტებს „გარეთ“, სავარაუდო A ან B წერტილებში, სადაც $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ ვექტორები ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არიან მიმართული.
- იმის გათვალისწინებით, რომ წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა მისგან დაშორებულ რაიმე წერტილში ამ მუხტის მოდულის პირდაპირპროპორციულია და დაშორების კვადრატის უკუპროპორციული, ასეთ წერტილად შეიძლება გამოდგეს B წერტილი, რადგან იგი 10 ნკ მუხტთან ახლოსაა და –90 ნკ მუხტიდან კი – შორს.

- ამ წერტილში $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$. ე.ი მოდულებით $E_1 = E_2$.
- თავის მხრივ: $E_1 = k\frac{|q_1|}{s^2}$ და $E_2 = k\frac{|q_2|}{(R+s)^2}$.
- გავუტოლოთ ისინი ერთმანეთს და ამოვიღოთ ფესვი ტოლობის ორივე მხრიდან.

$$\frac{\sqrt{|q_1|}}{s} = \frac{\sqrt{|q_2|}}{R+s}.$$

- ჩავსვათ რიცხვითი მონაცემები $\frac{\sqrt{10}}{s} = \frac{\sqrt{90}}{R+s}$ (მუხტის ერთეულის კულონებში გადაყვანა აუცილებელი არ არის).
- $3s = R + s$. აქედან, $s = R/2 = 0{,}5$ მ.

პასუხი: ორივე მუხტისგან შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია მუხტების შემაერთებელ წრფეზე ისეთ B წერტილში, რომელიც q_1 მუხტიდან დაშორებულია 0,5 მ-ით.

საშინაო აქტივობა

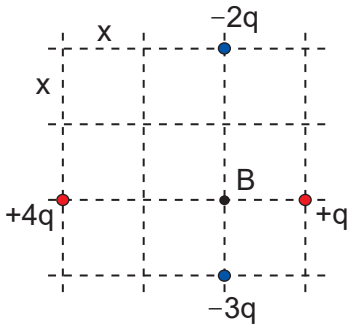
ამოხსენით ამოცანები:

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?
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.

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

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?

5. 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.



სურ. 1.6.10

1.7. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი. ძაბვა

ხიდან მოწყვეტილი ვაშლი დედამიწის ზედაპირისაკენ მიექანება, მისი პოტენციალური ენერგია მცირდება და კინეტიკურ ენერგიად გარდაიქმნება – ვაშლის სიჩქარე იზრდება. ვაშლს თავდაპირველად პოტენციალური ენერგია გააჩნდა (ვთქვათ, დედამიწის ზედაპირის მიმართ) იმის გამო, რომ მასზე დედამიწის გრავიტაციული ველი მოქმედებდა. ანალოგიურად, თუ ელექტრულ ველში მოვათავსებთ დამუხტულ ბურთულას, მასზე იმოქმედებს ძალა, ბურთულა ამოძრავდება და ვაშლის მსგავსად მისი სიჩქარეც გაიზრდება. **ელექტრულ ველში მოთავსებულ მუხტსაც გააჩნია პოტენციალური ენერგია? როგორ გამოვთვალოთ ელექტრულ ველში მუხტის გადაადგილებისას მასზე შესრულებული მუშაობა?** ამ კითხვებზე პასუხს პარაგრაფის წაკითხვის შემდეგ გაიგებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

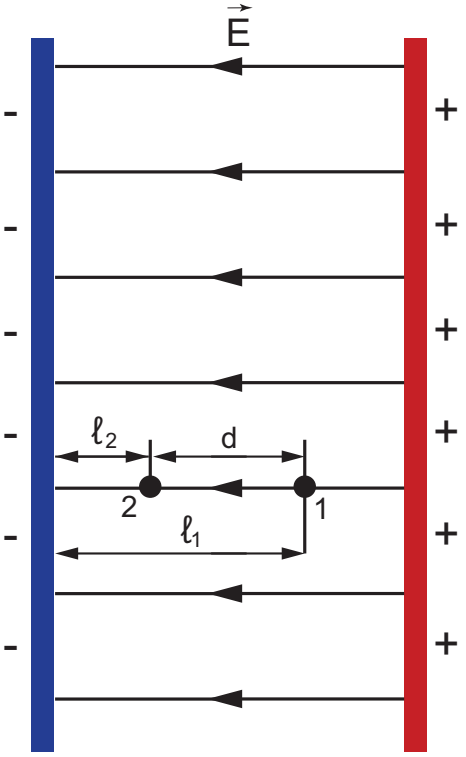
- **ისწავლით:** როგორ განვსაზღვროთ ელექტრულ ველში მოთავსებული დამუხტული სხეულის ენერგია;
- **გაეცნობით:** რა არის ძაბვა და როგორ განისაზღვრება იგი;
- **შეძლებთ:** ელექტრული ველის დახასიათებას ენერგეტიკული თვალსაზრისით.

1.7.1. მუხტის პოტენციალური ენერგია

ვთქვათ, $\vec{E}$ დაძაბულობის ერთგვაროვანი ელექტრული ველი შექმნილია მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპირო მუხტის მქონე დიდი ზომის ბრტყელი, პარალელური ლითონის ორი ფირფიტით. დავუშვათ, წერტილოვანი დადებითი q_0 მუხტი გადაადგილდა ველის დაძაბულობის მიმართულებით 1 წერტილიდან 2 წერტილში, რომლებიც უარყოფითად დამუხტული ფირფიტიდან, შესაბამისად, ℓ_1 და ℓ_2 მანძილითაა დაშორებული (სურ. 1.7.1). მუხტზე ველის მხრიდან მოქმედებს ელექტრული ძალა $\vec{F}_{ელ} = q_0\vec{E}$, ხოლო გადაადგილების მოდული ტოლია $d = \ell_1 - \ell_2$, ამიტომ ელექტროსტატიკური ველის მუშაობისთვის გვექნება:

$$A = F_{ელ}\, d = q_0 E\ell_1 - q_0 E\ell_2. \qquad (1)$$

აღმოჩნდა, რომ ერთი წერტილიდან მეორეში წერტილოვანი მუხტის გადაადგილებაზე ელექტროსტატიკური ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა არ არის დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე, ის დამოკიდებულია მხოლოდ მუხტის საწყის და საბოლოო მდებარეობებზე. აქედან გამომდინარეობს, რომ **ელექტროსტატიკური ველი პოტენციალურია** (გრავიტაციული ველის მსგავსად). მაშასადამე, შეკრულ ტრაექტორიაზე მისი მუშაობა ნულის ტოლია. პოტენციალურ ველში მუხტის გადაადგილებისას



სურ. 1.7.1

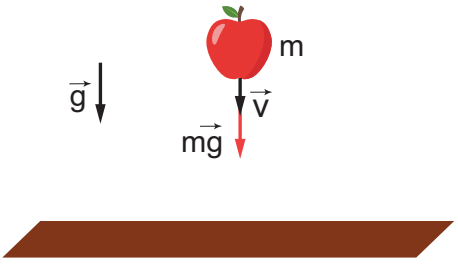
ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ცვლის ამ მუხტის პოტენციალურ ენერგიას:

$$A = -\Delta W_{პოტ} = W_{პოტ1} - W_{პოტ2}. \qquad (2)$$

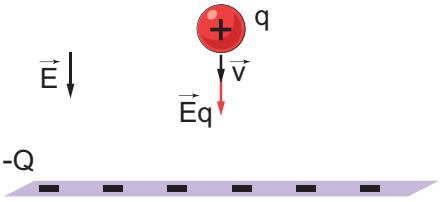
(1) და (2) ტოლობების შედარებით, ვასკვნით: **წერტილოვანი მუხტის პოტენციალური ენერგია ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ტოლია:**

$$W_{პოტ} = q_0 E \ell. \qquad (3)$$

აღვნიშნოთ, რომ წერტილოვანი მუხტის პოტენციალური ენერგია დამოკიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე. განხილულ მაგალითში ნულოვან დონედ მიჩნეული იყო უარყოფითად დამუხტული ფირფიტა.



სიმძიმის ძალის მუშაობის ხარჯზე ვაშლის პოტენციალური ენერგია მცირდება.



ბურთულაზე მოქმედი ელექტრული ძალის მუშაობის ხარჯზე მისი პოტენციალური ენერგია მცირდება.

1.7.2. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი

როგორც (3) ფორმულიდან ჩანს, ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული წერტილოვანი მუხტის პოტენციალური ენერგია ამ მუხტის პროპორციულია. შესაბამისად, **პოტენციალური ენერგიის შეფარდება მუხტთან არ არის დამოკიდებული ველში შეტანილ მუხტზე.** ეს საშუალებას გვაძლევს შემოვიღოთ ელექტრული ველის ენერგეტიკული მახასიათებელი – **პოტენციალი**.

საზოგადოდ, ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი სივრცის მოცემულ წერტილში ეწოდება ამ წერტილში მოთავსებული წერტილოვანი მუხტის პოტენციალური ენერგიის შეფარდებას მუხტთან. პოტენციალს φ ასოთი აღნიშნავენ. ამრიგად,

$$\varphi = \frac{W_{პოტ}}{q_0}. \qquad (4)$$

პოტენციალი რიცხობრივად გვიჩვენებს, თუ რისი ტოლია ველში მოთავსებული ერთეულოვანი მუხტის პოტენციალური ენერგია. ის სკალარული სიდიდეა.

1.7.3. პოტენციალთა სხვაობა. ძაბვა

თუ (4) ფორმულიდან გამოვსახავთ პოტენციალურ ენერგიას და (2)-ში ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2), \qquad (5)$$

რომელშიც φ_1 ველის პოტენციალია q_0 მუხტის საწყის მდებარეობაში, ხოლო φ_2 – საბოლოოში. (4) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ პოტენციალური ენერგიის მსგავსად, პოტენციალიც დამო-

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ გაზომოთ წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი პოტენციალი მისგან სხვადასხვა მანძილზე:

კიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე, მაგრამ, (5)-დან ჩანს, რომ პოტენციალთა სხვაობა ნულოვანი დონის არჩევაზე აღარ არის დამოკიდებული.

პოტენციალთა სხვაობას ძაბვას უწოდებენ და U ასოთი აღნიშნავენ:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0}. \qquad (6)$$

ელექტროსტატიკური ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა) ტოლია საწყისი წერტილიდან ბოლო წერტილში ველის მიერ მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობის შეფარდებისა ამ მუხტთან. შესაბამისად, ძაბვა ველის ორ წერტილს შორის რიცხობრივად გვიჩვენებს ერთი წერტილიდან მეორეში ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადატანისას ველის მიერ შესრულებულ მუშაობას.

SI-ში პოტენციალთა სხვაობის (პოტენციალის) ერთეულია **1 ვოლტი (1 ვ),** ცნობილი იტალიელი ფიზიკოსის ალესანდრო ვოლტას პატივსაცემად (სურ. 1.7.2).



სურ. 1.7.2. ალესანდრო ვოლტა (1745–1824)

ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა ერთი ვოლტის ტოლია, თუ ერთი წერტილიდან მეორეში 1კ მუხტის გადატანისას ელექტრული ველი 1 ჯ მუშაობას ასრულებს. 1 ვ = 1 ჯ/1კ.

თუ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ნულოვანი დონიდან (იხილეთ სურ. 1.7.1) მოცემულ წერტილამდე მანძილია ℓ, მაშინ ამ წერტილის პოტენციალისათვის გვექნება:

$$\varphi = \frac{W_{\text{პოტ}}}{q_0} = \frac{q_0 \cdot E\ell}{q_0} = E\ell. \qquad (7)$$

თუ წერტილოვანი დადებითი მუხტი მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალის წერტილისკენ მოძრაობს, ველი მასზე დადებით მუშაობას ასრულებს, შესაბამისად, მისი სიჩქარის მოდული იზრდება. უარყოფითი წერტილოვანი მუხტის სიჩქარის მოდული გაიზრდება, თუ ის დაბალი პოტენციალის წერტილიდან მაღალი პოტენციალის წერტილისაკენ იმოძრავებს.

თუ (6) ფორმულაში (1)-დან მუშაობის მნიშვნელობას შევიტანთ, მივიღებთ:

$$U = Ed, \qquad (8)$$

რომელშიც, $d = \ell_1 - \ell_2$.

ეს ფორმულა გამოსახავს კავშირს ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ორ წერტილს შორის ძაბვასა და ელექტრული ველის დაძაბულობას შორის. იგი გვიჩვენებს, რომ რაც უფრო დიდია პოტენციალთა

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ გაზომოთ წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი პოტენციალი მისგან სხვადასხვა მანძილზე:

ახალი ტერმინები:

მუხტის პოტენციალური ენერგია;

პოტენციალი;

პოტენციალთა სხვაობა;

ძაბვა.

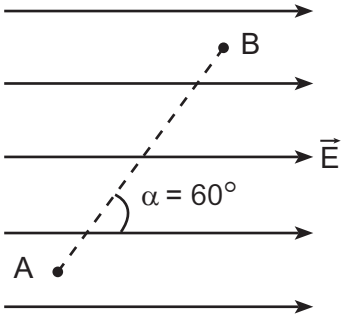
სხვაობა მოცემულ ორ წერტილს შორის, მით მეტია ველის დაძაბულობა.

(8) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ველის პოტენციალი ამ ველის ძალწირის მიმართულებით გადაადგილებისას იკლებს (იხილეთ სურ. 1.7.1). ასევე, მე-8 ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ დაძაბულობის ერთეულია 1 ვ/მ. ადვილია ჩვენება, რომ 1 ვ/მ = 1 ნ/კ.

საკლასო აქტივობა

ამოვხსნათ ამოცანები:

1. ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის ძალწირზე 5 სმ-ით დაშორებულ წერტილებს შორის ძაბვა 40 ვ-ია. რისი ტოლია ამ ველის დაძაბულობა?
2. 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?



სურ. 1.7.3

უპასუხეთ კითხვებს

1. რა მიმართულებით უნდა გადაადგილდეს დადებითი მუხტი ელექტრული ველის ძალწირის გასწვრივ, რომ ველმა დადებითი მუშაობა შეასრულოს?
2. რა მიმართულებით უნდა გადაადგილდეს უარყოფითი მუხტი ელექტრული ველის ძალწირის გასწვრივ, რომ ველმა უარყოფითი მუშაობა შეასრულოს?
3. რისი ტოლია ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ელექტრული ველის ძალწირის მართობულად მუხტის გადაადგილებისას?
4. ნულოვან დონედ დადებითად დამუხტული ფირფიტა რომ აგვერჩია, შეიცვლებოდა თუ არა ველის მიერ შესრულებული მუშაობა? მუხტის საწყისი და საბოლოო პოტენციალური ენერგია?
5. თუ ელექტრონი ველის ძალწირის მიმართულებით იმოძრავებს, როგორ შეიცვლება მისი კინეტიკური ენერგია? პოტენციალური?
6. ელექტრული ველის როგორი მახასიათებელია პოტენციალი, ძალური თუ ენერგეტიკული?
7. როგორ იცვლება პროტონის კინეტიკური ენერგია, თუ ის მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალის წერტილში გადადის?

რა ვისწავლეთ

- **ერთი წერტილიდან მეორეში წერტილოვანი მუხტის გადაადგილებაზე ელექტროსტატიკური ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა არ არის დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე. ის დამოკიდებულია მხოლოდ მუხტის საწყის და საბოლოო მდებარეობებზე;**
- **შეკრულ ტრაექტორიაზე მუხტის გადატანისას ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა ნულის ტოლია;**

- **ელექტროსტატიკური ველი პოტენციალურია;**
- **$\vec{E}$ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში წერტილოვანი დადებითი q მუხტის d მანძილზე დაძაბულობის მიმართულებით გადაადგილებისას ველი ასრულებს $A_{ელ} = qEd$ მუშაობას;**
- **q მუხტის პოტენციალური ენერგია $\vec{E}$ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ნულოვანი დონიდან ℓ მანძილით დაშორებულ წერტილში გამოითვლება ფორმულით: $W_{პოტ} = q_0E\ell$;**
- **ელექტროსტატიკური ველის მიერ ერთი წერტილიდან მეორეში მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობა ტოლია მუხტის საწყისი და საბოლოო პოტენციალური ენერგიების სხვაობისა: $A = W_{პოტ1} - W_{პოტ2}$;**
- **ელექტროსტატიკური ველის წერტილის პოტენციალი ეწოდება მასში მოთავსებული წერტილოვანი მუხტის პოტენციალური ენერგიის შეფარდებას მუხტთან $\varphi = \frac{W_{პოტ}}{q_0}$;**
- **ელექტროსტატიკური ელექტრული ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა) ტოლია საწყისი წერტილიდან ბოლო წერტილში ველის მიერ მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობის შეფარდებისა ამ მუხტთან: $U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0}$;**
- **SI-ში პოტენციალთა სხვაობის ერთეულია 1 ვოლტი (1 ვ). ის ველის იმ ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობის ტოლია, რომელთა შორის 1 კ მუხტის გადატანისას ელექტრული ველი 1 ჯ მუშაობას ასრულებს: 1 ვ = 1 ჯ/1კ;**
- **ერთგვაროვანი ელექტრული ველის პოტენციალი რაიმე წერტილში გამოითვლება ფორმულით: $\varphi = E\ell$, რომელშიც ℓ ნულოვანო დონიდან ამ წერტილამდე მანძილია;**
- **კავშირი ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ორ წერტილს შორის ძაბვასა და დაძაბულობას შორის გამოისახება ფორმულით: $U = Ed$, რომელშიც $d = \ell_1 - \ell_2$.**

როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანა

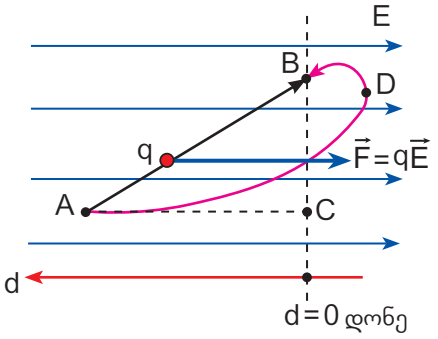
q=800 მკკ მუხტით დაელექტროებული მსუბუქი ნაწილაკი წრფივად გადაადგილდა E=5000 ნ/კ დაძაბულობის ჰორიზონტალურ ერთგვაროვან ველში A-დან B წერტილში ისე, რომ AB = 100 სმ და AC =80 სმ (სურ. 1.7.4). უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:

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 ველმა?

დ) რა მუშაობას შეასრულებდა ველი, რომ ნაწილაკი A-დან B წერტილში გადასულიყო ADB ტრაექტორიით?



სურ. 1.7.4

ამოხსნა:

მოც.: q = 800 მკკ;
E = 5000 ნ/კ;
AB = 100 სმ;
AC = 80 სმ.

უ.ვ.: ა), ბ), გ), დ) კითხვებზე პასუხები.

ა) • ერთგვაროვანი ველის პოტენციალი წინასწარ არჩეული ნულოვანი დონის მიმართ განისაზღვრება ფორმულით: $\varphi = E\ell$. რადგანაც **პოტენციალი ყოველთვის კლებულობს ძალწირის მიმართულებით,** ამიტომ ნულოვან დონედ მოსახერხებელია ავირჩიოთ ძალწირის მიმართულებით უკიდურესი მდებარეობის შესაბამისი დონე – ჩვენს შემთხვევაში B და C წერტილებზე გამავალი დონე.

• ამ დონის მარჯვნივ პოტენციალი ჩვენი არჩევანით იქნება უარყოფითი, მარცხნივ კი – დადებითი.

• შესაბამისად: $\varphi_A = E\ell_A = 5000 \cdot 0{,}8 = 4000$ ვ და $\varphi_B = E\ell_B = 0$ ვ.

• შესაბამისად ძაბვა A და B წერტილებს შორის: $U = \varphi_A - \varphi_B = 4000$ ვ.

პასუხი: $\varphi_A = 4000$ ვ; $\varphi_B = 0$.

ბ) • $W_A = q \cdot \varphi_A = 800 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 = 3{,}2$ ჯ და $W_B = q \cdot \varphi_B = 0$ ჯ.

• ხოლო ენერგიის ცვლილება $\Delta W = -3{,}2$ ჯ.

პასუხი: $\Delta W = -3{,}2$ ჯ.

გ) • ჩვენს შემთხვევაში ველი $F = qE$ მუდმივი ძალით მოქმედებდა მუხტზე A დან B წერტილში მოძრაობის პროცესში.

• იგი კონსერვატიული ბუნების ძალაა და მისი მუშაობა არაა დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე – ყოველთვის განისაზღვრება პოტენციალური ენერგიის უარყოფითი ცვლილებით.

• **ელექტროსტატიკურ ველში φ_1 პოტენციალის წერტილიდან φ_2 პოტენციალის წერტილში q მუხტის გადაადგილებისას ველის მუშაობა ყოველთვის $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.**

• შესაბამისად ჩვენს შემთხვევაში $A = q(\varphi_A - \varphi_B) = -\Delta W = 3{,}2$ ჯ.

პასუხი: $A = 3{,}2$ ჯ.

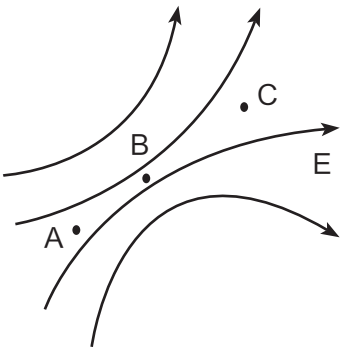
დ) • რადგანაც ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა არაა დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე, ველის მუშაობას იგივე მნიშვნელობა ექნება:
$A = q(\varphi_A - \varphi_B) = -\Delta W = 3{,}2$ ჯ.

პასუხი: $A = 3{,}2$ ჯ.

საშინაო აქტივობა

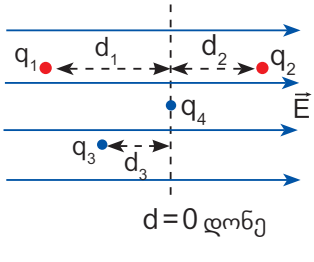
ამოხსენით ამოცანები:

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?
2. შეადარეთ ერთმანეთს A, B და C წერტილებში:
   ა) ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობები;
   ბ) ველის პოტენციალები (სურ. 1.7.5).

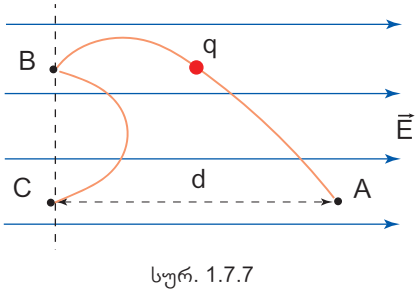


სურ. 1.7.5

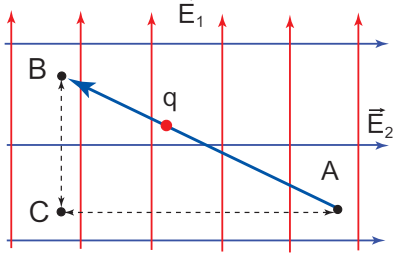
3. 750 ნკ მუხტი გადაადგილდა ელექტროსტატიკურ ველში 150 ვ პოტენციალის წერტილიდან −50 ვ პოტენციალის წერტილში. რა მუშაობა შეასრულა ამ დროს ველმა? პოტენციალები ათვლილია ერთი და იმავე ნულოვანი დონიდან.
4. 2000 ვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა 100 ვ-ია. ძალწირის გასწვრივ რა მანძილით არიან ისინი ერთმანეთისგან დაშორებული?
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.
6. სურ. 1.7.6-ზე წარმოდგენილია E = 500 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?
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?
8. სივრცეში, სადაც ერთდროულად არის $E_1 = 7000$ ვ/მ და $E_2 = 3000$ 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. 1.7.6



სურ. 1.7.7



სურ. 1.7.8

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 $q_\alpha = 2q_p = 2e$).
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?

1.8. ელექტრული დენი. დენის წყარო. ელექტრული წრედი

თანამედროვე ყოფა წარმოუდგენელია განათებული ქუჩების და სახლების, მატარებლის, მეტროს, ელექტრომობილის, სკუტერის, ტელევიზორის, კომპიუტერის, სმარტფონის და მრავალი სხვა მოწყობილობის გარეშე. მათი მუშაობისათვის საჭიროა ელექტრული დენი. **რა არის საჭირო იმისათვის, რომ ელექტროხელსაწყო ელექტრული დენით „მოვამარაგოთ“?** ამ კითხვაზე პასუხის მისაღებად გავეცნოთ პარაგრაფს.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **გაეცნობით:** რა არის საჭირო იმისათვის, რომ ელექტროხელსაწყოში გადიოდეს ელექტრული დენი;
- **ისწავლით:** რას ეწოდება ელექტრული წრედი და როგორ აწყობენ მას;
- **შეძლებთ:** რეალური ელექტრული წრედების მუშაობის პრინციპების გააზრებას;
- **გეცოდინებათ:** რა მოვლენა შეიძლება გამოიწვიოს გამტარში დენის გავლამ.

1.8.1. ელექტრული დენი

ელექტრული დენი ეწოდება დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას.

ნებისმიერ გარემოში ელექტრული დენის აღძვრისა და არსებობისათვის აუცილებელია, გარემო შეიცავდეს საკმარისი რაოდენობის თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებს, ანუ ისეთ ნაწილაკებს, რომლებსაც შეუძლიათ გარემოში თავისუფალი გადაადგილება. ასეთ ნაწილაკებს მუხტის **გადამტანებს** უწოდებენ. მაგალითად, ლითონებში ასეთი ნაწილაკებია თავისუფალი ელექტრონები, რომელთა რაოდენობა 1 სმ^3-ში 10^{23} რიგისაა. ამასთან, აუცილებელია თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები გადაადგილდნენ გარკვეული მიმართულებით. ამ გადაადგილებისთვის კი აუცილებელია გამტარში არსებობდეს ელექტრული ველი, ანუ მის ბოლოებს შორის არსებობდეს ძაბვა.

1.8.2. დენის წყარო

იმისათვის, რომ დენმა გამტარში ხანგრძლივად იარსებოს, საჭიროა მის ბოლოებს შორის ძაბვის შენარჩუნება. სწორედ ამას უზრუნველყოფს დენის წყაროები. დენის წყარო გარკვეული ძალების მოქმედებით აცალკევებს ერთმანეთისაგან დადებით და უარყოფით მუხტებს და აგროვებს მათ ორ ელექტროდზე – დენის წყაროს პოლუსებზე.

კომპიუტერის, მობილური ტელეფონის, ტელევიზორის, მაცივრის, სარეცხი მანქანის, ციფრული ფოტოაპარატის, უთოს და სხვა **ელექტრული დენის მომხმარებელი ხელსაწყოების** მუშაობისათვის საჭიროა, ისინი დენის წყაროსთან მივაერთოთ.

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ შექმნათ სხვადასხვა წრედი სხვადასხვა მომხმარებლებით:



1.8.3. ელექტრული წრედი

დენის წყარო და დენის მომხმარებელი ხელსაწყოები ერთმანეთთან დაკავშირებულია გამტარი სადენებით, რომელიც ხშირად ლითონის მავთულებია. სადენების მისაერთებლად იყენებენ მირჩილვას ან შედუღებას, ასევე მომჭერებს და სხვა მოწყობილობებს. მომხმარებლის მარტივად ჩართვისა და გამორთვისათვის გამოიყენება ჩამრთველი (ამომრთველი), ღილაკი, გადამრთველი.

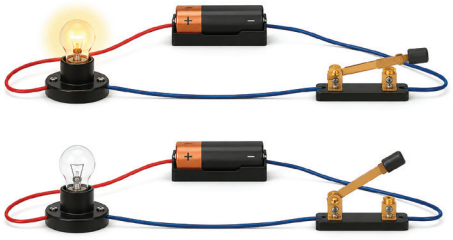
გარკვეული წესით სადენებით შეერთებული დენის წყარო, მომხმარებელი, ჩამრთველი (ამომრთველი) ქმნის **ელექტრულ წრედს**. იგი ორი უბნისგან შედგება: შიგა წრედი – დენის წყარო და ყველაფერი, რაც დენის წყაროშია მოთავსებული, და გარე წრედი – შემაერთებელი სადენები, მომხმარებელი, ჩამრთველი (ამომრთველი).

დენის არსებობისათვის აუცილებელია, წრედი იყოს შეკრული, ანუ შედგებოდეს მხოლოდ დენის გამტარი კომპონენტებისგან. თუ წრედს რომელიმე უბანზე გავწყვეტთ, წრედში დენი შეწყდება. ამ პრინციპზეა დაფუძნებული ჩამრთველების მოქმედება.

სურ. 1.8.1-ის მიხედვით ავაწყოთ ელექტრული წრედი. პირველ შემთხვევაში წრედი შეკრულია და ნათურა ანათებს. მეორე შემთხვევაში ჩამრთველი გამორთულია, წრედში დენი არ გადის და ნათურა არ ანათებს.



ელექტროსკუტერი



სურ. 1.8.1



ელექტრომობილი



როგორ მიეწოდება ელექტროენერგია მომხმარებელს

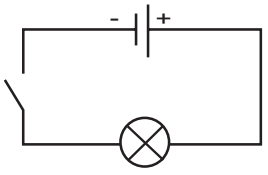


ავტოდრომი – საბავშვო ატრაქციონი,
რომელშიც პატარა ელექტრომობილები მოძრაობენ

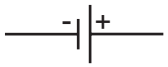
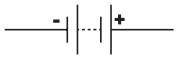
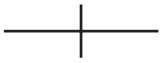


ტრამვაი ეკოლოგიურად სუფთა ტრანსპორტია, ის ელექტროენერგიას მოიხმარს

ნახაზს, რომელზეც გამოსახულია ელექტრული წრედის შემადგენელი ნაწილების (კომპონენტების) შეერთების წესი, **ელექტრულ სქემას უწოდებენ**. ელექტრულ სქემებზე ხელსაწყოებს პირობითი ნიშნებით გამოსახავენ. ზოგიერთი მათგანი მოცემულია ცხრილში:



სურ. 1.8.2

კომპონენტი	პირობითი ნიშანი	კომპონენტი	პირობითი ნიშანი
გალვანური ელემენტი ან აკუმულატორი		მომჭერები ხელსაწყოს ჩასართავად	
ელემენტების ან აკუმულატორების ბატარეა		ღილაკი	
ჩამრთველ-ამომრთველი		გამტართა გადაკვეთა შეერთების გარეშე	
სადენი, გამტარი		ნათურა	
გამტართა შეერთება		ელექტროზარი	

სურ. 1.8.2-ზე მოცემულია 1.8.1 სურათზე გამოსახული წრედის ელექტრული სქემა.

1.8.4. ელექტრული დენის მოქმედებები

როდესაც გამტარში დენი გადის, ის იწვევს სხვადასხვა მოქმედებას: **სითბურს, ქიმიურს და მაგნიტურს.**

დენის სითბური მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ გამტარში დენის გავლისას, გამტარი თბება. ელექტროჩაიდნის, ტოსტერის, ელექტროქურის (სურ. 1.8.3) და სხვა საყოფაცხოვრებო მოწყობილობების მუშაობა დენის სითბურ მოქმედებაზეა დამყარებული.


სურ. 1.8.3

მჟავების, მარილების ან ტუტეების ხსნარებში დენის გატარებისას ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდებზე მიმდინარეობს ქიმიური რეაქციები: მათზე გამოიყოფა ხსნარში შემავალი ნივთიერებები. მაგალითად, შაბიამნის ($CuSO_4$) ხსნარში დენის გატარებისას (სურ. 1.8.4 ა) უარყოფითად დამუხტულ ელექტროდზე გამოიყოფა სუფთა სპილენძი (Cu) (სურ. 1.8.4 ბ). ასეთ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ელექტრული **დენის ქიმიურ მოქმედებასთან.**

ყველა გამტარში დენი ქიმიურ მოქმედებას არ იწვევს. მაგალითად, ლითონებში ელექტრული დენი ქიმიურ ცვლილებას არ ახდენს. ამის მიხედვით გამტარებს ორ ჯგუფად ყოფენ: **პირველი გვარის გამტარები,** რომლებშიც ელექტრული დენი ქიმიურ ცვლილებებს არ იწვევს (ლითონები, ნახშირი) და **მეორე გვარის გამტარები**, რომლებშიც ელექტრული დენის გავლა მათი შემადგენელი ნივთიერებების ქიმიურ გარდაქმნას იწვევს. მეორე გვარის გამტარებს **ელექტროლიტებს** უწოდებენ.

ახალი ტერმინები:

ელექტრული დენი;

ელექტრული წრედი;

ელექტრული წრედის სქემა;

თავისუფალი მუხტები;

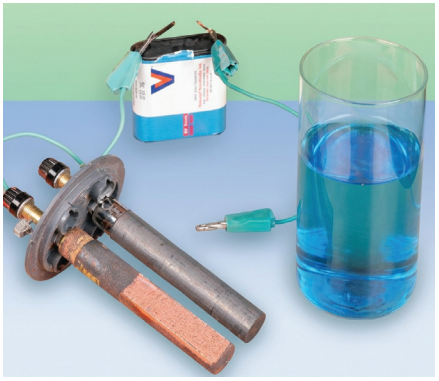
დენის სითბური მოქმედება;

დენის ქიმიური მოქმედება;

დენის მაგნიტური მოქმედება.



სურ. 1.8.4 ა

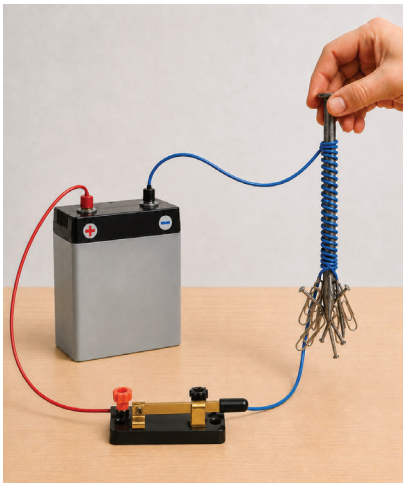


სურ. 1.8.4 ბ

თუ გამტარში ელექტრულ დენს გავატარებთ, გამტარი მაგნიტურ თვისებებს შეიძენს. დავახვიოთ ლურსმანზე იზოლატორის გარსიანი მავთული და გავატაროთ მასში დენი. ლურსმანი რკინის საგნებს მიიზიდავს, ანუ გამოავლენს მაგნიტურ თვისებებს (სურ. 1.8.5). ჩამრთველის გამორთვის შემდეგ კი ლურსმანზე მიკრული რკინის საგნები ჩამოცვივდება.

დენის მაგნიტურ მოქმედებაზეა დამყარებული სხვადასხვა ელექტროძრავებისა და ელექტროგამზომი ხელსაწყოების მუშაობა.

დენის სხვა მოქმედებებიდან მაგნიტური მოქმედება იმით გამოირჩევა, რომ ის დენს ყოველთვის თან ახლავს.



სურ. 1.8.5



ელექტრომატარებელი

საახალწლოდ განათებული ჭავჭავაძის გამზირი - თბილისი



უპასუხეთ კითხვებს

1. მიუხედავად იმისა, რომ ლითონის სხეულში უამრავი თავისუფალი ელექტრონია, მისი თანაბარი გადაადგილებით ელექტრული დენი არ მიიღება. რატომ?
2. რა იგულისხმება გამოთქმაში: „შიგა წრედი“?
3. რა კომპონენტებისგან შედგება გარე წრედი?
4. ელექტროზარის დარეკვისას, რა ფუნქცია აქვს ღილაკს?
5. რაში გამოიხატება დენის სითბური მოქმედება? რომელ ხელსაწყოებში გამოიყენება ის?
6. რაში გამოიხატება დენის ქიმიური მოქმედება? ხომ არ იცით, რა გამოყენება აქვს მას?
7. რაში გამოიხატება დენის მაგნიტური მოქმედება? რომელ ხელსაწყოებში გამოიყენება ის?

რა ვისწავლეთ

- **დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას ელექტრული დენი ეწოდება;**
- **გარემოში დენის არსებობისათვის აუცილებელია შესრულდეს ორი პირობა: ა) მასში უნდა იყოს თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები და ბ) მის ბოლოებს შორის უნდა არსებობდეს ძაბვა;**
- **მოწყობილობას, რომელიც გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვას ინარჩუნებს, დენის წყარო ეწოდება;**
- **გარკვეული წესით, სადენებით შეერთებულ დენის წყაროს, მომხმარებელს, ჩამრთველს (ამომრთველს) ელექტრული წრედი ეწოდება;**
- **ნახაზს, რომელზეც გამოსახულია ელექტრული წრედის შემადგენელი კომპონენტები და მათი შეერთება, ელექტრულ სქემას უწოდებენ;**
- **ელექტრულ სქემაში წრედის კომპონენტებს პირობითი ნიშნებით გამოსახავენ;**
- **ელექტრულ დენს ახასიათებს სითბური, ქიმიური და მაგნიტური მოქმედება;**
- **გამტარებს, რომლებშიც ელექტრული დენის გავლა ქიმიურ ცვლილებებს არ იწვევს, პირველი გვარის გამტარები ეწოდება, ხოლო რომლებშიც იწვევს – მეორე გვარის გამტარები, ანუ ელექტროლიტები.**

საშინაო აქტივობა

პარაგრაფში მოცემული ელექტრული წრედის შემადგენელი კომპონენტების გამოყენებით დახაზეთ ხუთი სხვადასხვა ელექტრული წრედის სქემატური ნახაზი. თითოეულ ნახაზში გამოიყენეთ მინიმუმ ოთხი კომპონენტი, რომელთაგან ერთი აუცილებლად უნდა იყოს ჩამრთველ-ამომრთველი. ჩამრთველის ჩართვის შედეგად წრედის ყველა ნაწილში დენი უნდა გადიოდეს.

1.9. დენის ძალა და მისი ერთეული

წინა პარაგრაფში ჩვენ უკვე გავეცანით ელექტრულ დენს და დენის წყაროს მუშაობის ზოგად პრინციპს. ხელსაწყოებს, რომლებსაც ყოველდღიურ ცხოვრებაში ვიყენებთ, აქვთ გარკვეული შეზღუდვები. მაგალითად, ვიცით, რომ მობილური ტელეფონის დამუხტვა მისთვის განსაზღვრული „დამტენით“ არის შესაძლებელი, რადგან თუ სხვა დამტენს გამოვიყენებთ, რომელიც შედარებით დიდ დენს გაატარებს, ამან შესაძლოა ტელეფონი დააზიანოს. რას ნიშნავს დიდი დენი? იმისთვის, რომ ელექტრულ დენთან დაკავშირებული მოვლენები აღვწეროთ, საჭიროა მისი რაოდენობრივი მახასიათებლის შემოღება. **რა ფიზიკური სიდიდით შეიძლება აღვწეროთ გამტარში დამუხტული ნაწილაკების დინება, ანუ ელექტრული დენი?** ამ კითხვებზე პასუხის მისაღებად წავიკითხოთ პარაგრაფი.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** ელექტრული დენის თვისებრივად და რაოდენობრივად დახასიათებას;
- **შეძლებთ:** ელექტრულ წრედებში დენის სიდიდის განსაზღვრას.



აკუმულატორი

1.9.1. დენის ძალა

როცა თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები, მაგალითად, ელექტრონები ან იონები, მოძრაობს ელექტრულ წრედში, მუხტი გადაიტანება წრედის ერთი უბნიდან მეორეში. რაც უფრო მეტი დამუხტული ნაწილაკი გაივლის წრედის რაიმე უბანს, მით მეტი იქნება გადატანილი ჯამური q მუხტიც. სწორედ დროის ერთეულში გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი განსაზღვრავს **დენის ძალას.** მას I ასოთი აღნიშნავენ.

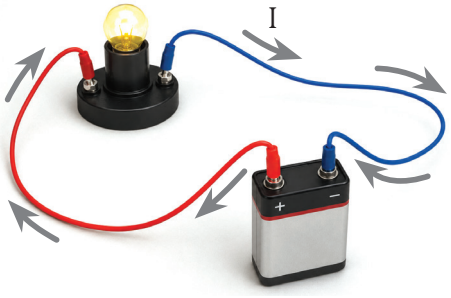


ელემენტები

დენის ძალა ტოლია გამტარის განივკვეთში გასული q მუხტის ფარდობისა დროის იმ t შუალედთან, რომელშიც ამ მუხტმა გაიარა:

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

პირობითად მიიჩნიეს, რომ წრედში დენი მიმართულია იქით, საითკენაც იმოძრავებს დადებითი მუხტი, ანუ დენის **წყაროს დადებითი პოლუსიდან უარყოფითი პოლუსისკენ** (სურ. 1.9.1). თუ გამტარში მუხტის გადამტანი ნაწილაკები ელექტრონებია, მაშინ დენის მიმართულება ელექტრონების მოძრაობის მიმართულების საპირისპიროა.



სურ. 1.9.1

მუდმივ დენს უწოდებენ ელექტრულ დენს, რომლის მიმართულება და დენის ძალა არ იცვლება.

მუდმივი დენის წყაროდ გამოიყენება გალვანური ელემენტი, აკუმულატორი და სხვა.

განვიხილოთ ცდა. სურ. 1.9.2-ზე ნაჩვენებია ერთმანეთის პარალელურად ჩამოკიდებული ორი სწორი, დრეკადი გამტარი. ორივე მათგანი მიერთებულია დენის წყაროსთან. წრედის შეკვრისას გამტარებში გაივლის დენი. თუ გამტარებში ერთი და იმავე მიმართულების დენი გადის, დავინახავთ, რომ სადენები ურთიერთმიიზიდება (სურ. 1.9.2 ა), საწინააღმდეგო მიმართულების დენების შემთხვევაში კი – ურთიერთგანიზიდება (სურ. 1.9.2 ბ). ცდებით დადგენილია, რომ დენიანი გამტარების ურთიერთქმედების ძალა დამოკიდებულია გამტარების სიგრძეზე, მათ შორის მანძილზე, მათში დენის ძალაზე და გარემოზე, რომელშიც გამტარებია მოთავსებული. ამასთან, ეს ძალა თითოეულ გამტარში გამავალი დენის ძალის პირდაპირპროპორციულია. სწორედ ეს შედეგი გამოიყენეს დენის ძალის ერთეულის დასადგენად.

1948 წელს, ზომისა და წონის საერთაშორისო კონფერენციაზე, დენის ძალის ერთეულად მიიღეს **1 ამპერი (1 ა)** გამოჩენილი ფრანგი მეცნიერის ანდრე მარი ამპერის პატივსაცემად (სურ. 1.9.3).

1 ამპერი არის დენის ძალა, რომელიც ვაკუუმში მოთავსებულ, ერთმანეთისაგან 1 მეტრით დაშორებულ, ძალიან გრძელ და წვრილ ორ პარალელურ გამტარში გავლისას სიგრძის ყოველ 1 მეტრზე $2 \cdot 10^{-7}$ ნ ძალით მოქმედებას იწვევს.

პრაქტიკაში იყენებენ ამპერის წილად და ჯერად ერთეულებს: 1 მა = 0,001 ა; 1 მკა = 0,000001 ა; 1 კა = 1000 ა და სხვა.

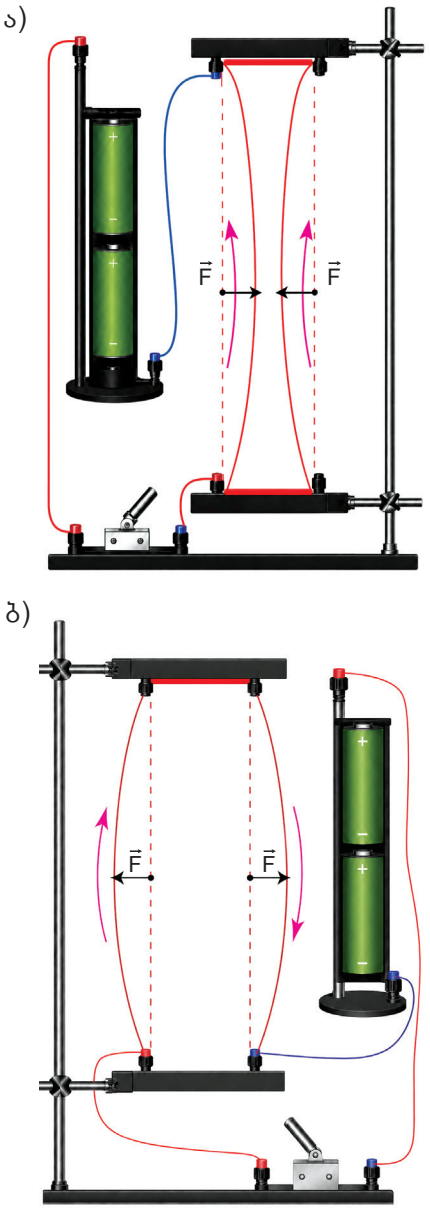
ერთი ამპერი SI-ის ერთ-ერთი ძირითადი ერთეულია. მუხტის ერთეული 1 კულონი სწორედ მისი საშუალებითაა განსაზღვრული: $q = I \cdot t$ ფორმულის თანახმად, 1 კ = 1 ა · 1 წმ = 1 ა · წმ.

ერთი კულონი არის მუხტი, რომელიც გადის გამტარის განივკვეთში 1 წმ-ის განმავლობაში 1 ა დენის ძალის დროს.

ელექტროტექნიკაში, მაგალითად, აკუმულატორის დამუხტვისას, ხშირად იყენებენ მუხტის ერთეულს – 1 ა · 1 სთ. ეს არის მუხტი, რომელიც გადის გამტარის განივკვეთში 1 სთ-ის განმავლობაში 1 ა დენის ძალის დროს. 1 ა · სთ =1 ა · 1 სთ = 1 ა · 3600 წმ = 3600 კ.

1.9.2. ამპერმეტრი

წრედში დენის ძალის გასაზომად იყენებენ ხელსაწყოს, რომელსაც **ამპერმეტრი** ეწოდება. ამპერმეტრის მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია დე-



სურ. 1.9.2



სურ. 1.9.3. ანდრე მარი ამპერი (1775–1836)

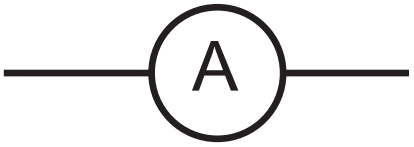
ნის მაგნიტურ მოქმედებაზე. მისი სკალა დაგრადუირებულია ამპერებში (მილიამპერებში, კილოამპერებში და სხვა). სურ. 1.9.4-ზე ნაჩვენებია სასკოლო ამპერმეტრი. ელექტრულ სქემაზე ამპერმეტრი აღინიშნება წრით, რომელშიც ჩაწერილია ასო A (სურ. 1.9.5).



სურ. 1.9.4

ამპერმეტრს წრედში რთავენ მიმდევრობით იმ მოწყობილობასთან, რომელშიც ზომავენ დენის ძალას.

ამპერმეტრს წრედში რთავენ ორი მომჭერის საშუალებით. ერთ მომჭერს აწერია ნიშანი „+“, ხოლო მეორეს ნიშანი „–“. მომჭერი „+“ ნიშნით აუცილებლად უნდა მივუერთოთ იმ გამტარს, რომელიც მოდის დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან, ხოლო მომჭერი „–“ ნიშნით – გამტარს, რომელიც მიდის დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსისკენ. ეს ნიშნავს, რომ მიერთებისას დაცულია პოლარობა.



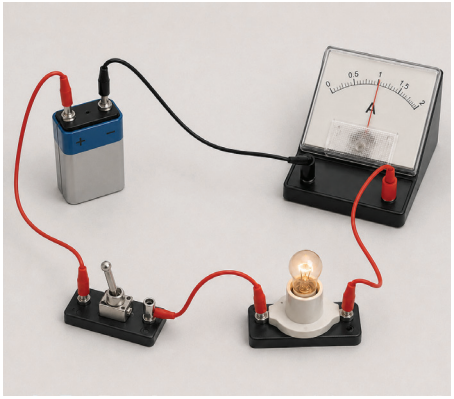
სურ. 1.9.5

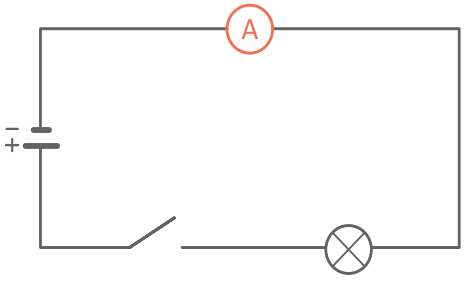
სურ. 1.9.6-ზე ნაჩვენებ წრედში ამპერმეტრი ზომავს ნათურაში გამავალ დენის ძალას. ასეთი წესით აგებულ წრედში დენის ძალა წრედის ყველა უბანზე ერთმანეთის ტოლია. ეს გამომდინარეობს იქიდან, რომ გამტარების ნებისმიერ განივკვეთში დროის ერთეულში გასული მუხტის მნიშვნელობა ერთნაირია.

დღესდღეობით ფართოდ გამოიყენება ციფრული ამპერმეტრები, რომლებიც გაზომვის დიდი სიზუსტით და გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობათა დიდი დიაპაზონით გამოირჩევა (სურ. 1.9.7).



სურ. 1.9.7



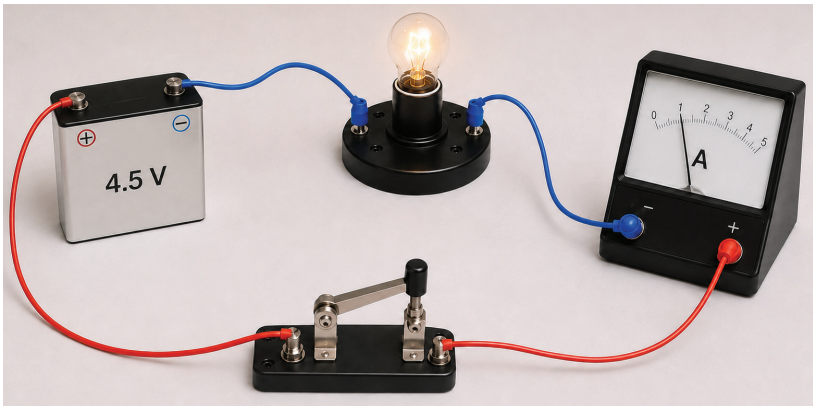


სურ. 1.9.6

1.9.3. დენის მუშაობა

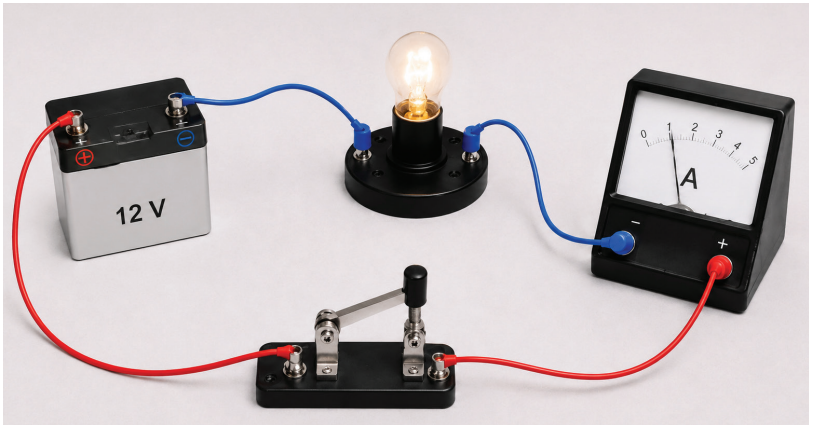
დენიან გამტარში ელექტრული ველი დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს ძალით და ნაწილაკი ამ ძალის მიმართულებით გადაადგილდება – სრულდება მუშაობა, რომელსაც **დენის მუშაობას** უწოდებენ.

სურ. 1.9.8-ზე ნაჩვენებ წრედში ფარნის ნათურაა ჩართული, დენის წყაროდ კი გალვანური ელემენტია გამოყენებული. ელექტრული დენი ასრულებს მუშაობას, რის გამოც ნათურა ანათებს. ცხადია, დენის შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია ნათურაში დენის ძალაზე, ანუ მასში დროის ერთეულში გასული მუხტის რაოდენობაზე.



სურ. 1.9.8

სურ. 1.9.9-ზე ნაჩვენებია წრედი, რომელშიც ჩართულია ავტომობილის განათების ნათურა. დენის წყაროდ კი გამოყენებულია აკუმულატორი. ნათურები ისე შეიძლება შევარჩიოთ, რომ ორივე წრედში დენის ძალა ტოლი იყოს, ანუ ამპერმეტრების ჩვენებები იყოს ერთნაირი. მიუხედავად ამისა, დავინახავთ, რომ მეორე წრედში ნათურა უფრო მეტად განათებს, ანუ დენი მეტ მუშაობას ასრულებს. ისმის კითხვა – რატომ?



სურ. 1.9.9

მეორე წრედში ნათურის ბოლოებზე არსებული ძაბვა პირველ წრედში ნათურის ბოლოებზე არსებულ ძაბვაზე მეტია, ანუ ერთი კულონი მუხტის გა-

დატანაზე მეორე ნათურაში ველი უფრო მეტ მუშაობას ასრულებს, ვიდრე პირველში. ეს გასაგებიცაა – ძაბვა, რომელსაც ქმნის გალვანური ელემენტი, ნაკლებია ავტომობილის აკუმულატორის მიერ შექმნილ ძაბვაზე.

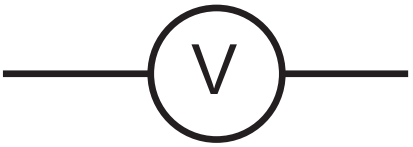
ამრიგად, ერთნაირი დენის ძალის შემთხვევაში, დენი მეტ მუშაობას ასრულებს იმ მომხმარებელში, რომლის ბოლოებზეც მეტი ძაბვაა.



სურ. 1.9.10

1.9.4. ვოლტმეტრი

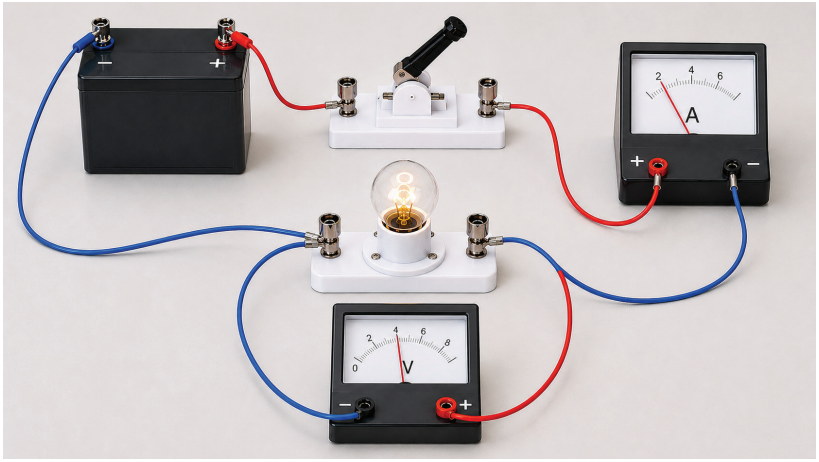
ძაბვის გასაზომად იყენებენ ხელსაწყოს, რომელსაც **ვოლტმეტრი** ეწოდება. სასკოლო ლაბორატორიებში გამოყენებული ვოლტმეტრი ნაჩვენებია სურ. 1.9.10-ზე. ისრიანი ვოლტმეტრის მუშაობა დაფუძნებულია დენის მაგნიტურ მოქმედებაზე. გარეგნულად ვოლტმეტრი ძალიან ჰგავს სხვა ელექტროსაზომ ხელსაწყოებს, ამიტომ განსხვავებისთვის მის სკალაზე აწერია ასო V. ელექტრულ სქემაზე ვოლტმეტრი აღინიშნება წრით, რომელშიც ჩაწერილია ასო V (სურ. 1.9.11).



სურ. 1.9.11

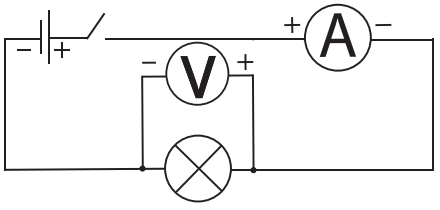
ვოლტმეტრის ერთ-ერთ მომჭერზე აღნიშნულია ნიშანი „+“, მეორეზე – ნიშანი „–“. ვოლტმეტრის წრედში ჩართვისას პოლარობა უნდა დავიცვათ.

სურ. 1.9.12 ა,ბ-ზე ნაჩვენებია წრედი და მისი სქემა, რომელშიც ჩართულია ნათურა, ამპერმეტრი



სურ. 1.9.12 ა

და ვოლტმეტრი. დენის ძალა ნათურაში იზომება ამპერმეტრით, რომელიც მასთან მიმდევრობითაა ჩართული. ვოლტმეტრით უნდა გაიზომოს ძაბვა ნათურის მომჭერებზე, ამიტომ მას ისე რთავენ, როგორც სურათზეა ნაჩვენები. კერძოდ, **ვოლტმეტრის**



სურ. 1.9.12 ბ

მომჭერებს უერთებენ წრედის იმ წერტილებს, რომელთა შორის უნდა გაიზომოს ძაბვა. ასეთ შეერთებას **პარალელური შეერთება ეწოდება.**

ვოლტმეტრი ისეა მოწყობილი, რომ მისი წრედში ჩართვა გასაზომი ძაბვის მნიშვნელობაზე გავლენას თითქმის არ ახდენს.

დღესდღეობით ფართოდ გამოიყენება ციფრული ვოლტმეტრები, რომლებიც გაზომვის დიდი სიზუსტით და გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობათა დიდი დიაპაზონით გამოირჩევა.

ახალი ტერმინები:

დენის ძალა;

მიმდევრობითი შეერთება;

პარალელური შეერთება;

ამპერმეტრი;

ვოლტმეტრი;

დენის მუშაობა.

უპასუხეთ კითხვებს

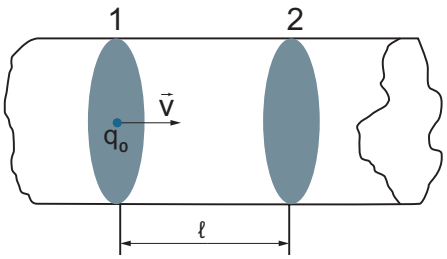
1. რას ნიშნავს, რომ გამტარში გამავალი დენის ძალა 2 ა-ია?
2. თუ ელექტრულ დენს ქმნის უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა, მაშინ ემთხვევა თუ არა დენის მიმართულება დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულებას?
3. როგორია ამპერმეტრის სქემატური აღნიშვნა?
4. რა უდევს საფუძვლად ამპერმეტრის მუშაობას?
5. როგორ უნდა ჩავრთოთ ამპერმეტრი წრედში მომჭერებზე მითითებული ნიშნაკების მიხედვით?
6. რატომაა მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში/მოწყობილობებში დენის ძალა ერთნაირი?
7. რას უწოდებენ დენის მუშაობას?
8. რატომ არის საჭირო დენის მომხმარებლის მომჭერებზე ძაბვის ცოდნა?

რა ვისწავლეთ

- **დენის ძალა ტოლია გამტარის განივკვეთში გასული q მუხტის ფარდობისა დროის იმ t შუალედთან, რომელშიც ამ მუხტმა გაიარა: $I = \frac{q}{t}$;**
- **დენის მიმართულებად მიჩნეულია დადებითად დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის (ან შესაძლო მოძრაობის) მიმართულება;**
- **ელექტრულ დენს, რომლის მიმართულება და დენის ძალა არ იცვლება, მუდმივი დენი ეწოდება;**
- **SI-ში დენის ძალის ერთეულია 1 ამპერი. 1 ამპერი არის დენის ძალა, რომელიც ვაკუუმში მოთავსებულ, ერთმანეთისაგან 1 მეტრით დაშორებულ ძალიან გრძელ და წვრილ ორ პარალელურ გამტარში გავლისას სიგრძის ყოველ 1 მეტრზე $2 \cdot 10^{-7}$ ნ ძალით მოქმედებას იწვევს;**
- **ერთი კულონი არის მუხტი, რომელიც გადის გამტარის განივკვეთში 1 წმ-ის განმავლობაში 1 ა დენის ძალის დროს;**
- **დენის ძალის გასაზომ ხელსაწყოს ამპერმეტრი ეწოდება;**
- **ამპერმეტრს წრედში რთავენ მიმდევრობით იმ მოწყობილობასთან, რომელშიც ზომავენ დენის ძალას;**
- **ძაბვის გასაზომ ხელსაწყოს ვოლტმეტრი ეწოდება;**
- **ვოლტმეტრის მომჭერებს უერთებენ წრედის იმ წერტილებს, რომელთა შორისაც უნდა გაიზომოს ძაბვა.**

რა სიჩქარით ვრცელდება დენი გამტარში? რაზეა დამოკიდებული მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე?

ელექტრული წრედის შეკვრისას მოძრაობას იწყებს დენის წყაროს პოლუსების მიმდებარედ მყოფი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები, რაც გამოიწვევს ერთ პოლუსთან მათი რაოდენობის გაზრდას, ხოლო მეორე პოლუსთან – შემცირებას. მუხტის გადამტანი ნაწილაკების გადანაწილების გამო ელექტრული ველი შეიცვლება წრედის მეზობელ უბნებზე, სადაც ასევე ამოძრავდება თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები. ამრიგად, ელექტრული ველის ცვლილების გამო, ერთ ადგილას დაწყებული დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა მთელ წრედში ვრცელდება. ელექტრული ველის ცვლილების გავრცელების სიჩქარე კი ძალიან დიდია – იგი ახლოს არის სინათლის სიჩქარესთან, რომელიც ვაკუუმში დაახლოებით 300 000 კმ/წმ-ია. ე.ი. დენის გავრცელების სიჩქარე ტოლია გამტარის გასწვრივ ელექტრული ველის ცვლილების გავრცელების სიჩქარისა. გამტარის გასწვრივ ველის გავრცელების ასეთი დიდი სიჩქარის გამო ერთი და იგივე მუდმივი დენი გამტარის ყველა უბანზე პრაქტიკულად ერთდროულად დამყარდება.



სურ. 1.9.13

ახლა დავადგინოთ მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე დენიან გამტარში. ავიღოთ ცილინდრული ფორმის გამტარი, რომლის განივკვეთის ფართობია S (სურ. 1.9.13). ვთქვათ ელექტრული ველის მოქმედებით q_0 მუხტის მქონე ნაწილაკები მოძრაობს მარცხნიდან მარჯვნივ. გამტარის მოცულობაში, რომელიც შემოფარგლულია ℓ მანძილით დაშორებული 1 და 2 განივკვეთებით, იმყოფება $N = nS\ell$ რაოდენობის დამუხტული ნაწილაკი, რომელშიც n მუხტის გადამტანი ნაწილაკების კონცენტრაციაა (მოცულობის ერთეულში ნაწილაკების რაოდენობა). არჩეულ მოცულობაში მათი საერთო მუხტი ტოლი იქნება:

$$q = q_0 nS\ell.$$

თუ ნაწილაკები მოძრაობს v საშუალო სიჩქარით, მაშინ $t = \frac{\ell}{v}$ დროის შუალედში აღნიშნულ მოცულობაში მყოფი ყველა ნაწილაკი გაივლის განივკვეთ 2-ში. ამიტომ დენის ძალა ტოლი იქნება:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 nS\ell}{t} = q_0 nvS.$$

მიღებული ფორმულა საშუალებას გვაძლევს ვიპოვოთ გამტარში მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე:

$$v = \frac{I}{q_0 nS}.$$

მაგალითად, I=1ა დენის ძალისას, $S = 10^{-6}$ მ^2 განივკვეთის ფართობის სპილენძის გამტარში, რომელშიც თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $n = 8{,}5 \cdot 10^{28}$ მ$^{-3}$, მათი მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა:

$$v = \frac{I}{enS} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ მ/წმ}.$$

როგორც ვხედავთ, გამტარში მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე ძალიან მცირეა, ანუ ბევრად ნაკლებია ელექტრული დენის გავრცელების სიჩქარეზე.

როგორ იხსნება ამოცანები

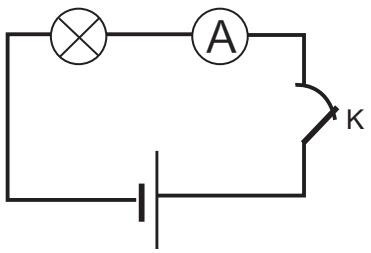
ამოცანა 1.

როცა სურ. 1.9.14-ზე ნაჩვენებ წრედში K ჩამრთველი ჩართულია, ამპერმეტრი 0,4 ა დენს აჩვენებს. რამდენი ელექტრონი გაივლის ნათურის სპირალში 10 წამის განმავლობაში?

ამოხსნა:

მოც.: I = 0,4 ა;
t = 10 წმ;
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ.

უ.ვ.: N



სურ. 1.9.14

- როგორც ვიცით, დენის ძალა $I = \frac{q}{t} = \frac{N \cdot e}{t}$, საიდანაც $N = \frac{It}{e} = \frac{0{,}4 \cdot 10}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 2{,}5 \cdot 10^{19}$.

ვინაიდან ნათურა და ამპერმეტრი ერთმანეთთან მიმდევრობითაა შეერთებული, ნათურის სპირალშიც გაივლის ამდენივე ელექტრონი.

პასუხი: ნათურის სპირალში გაივლის $2{,}5 \cdot 10^{19}$ ელექტრონი.

ამოცანა 2.

ავტომობილის აკუმულატორის საფირმო ეტიკეტზე ასეთი წარწერაა: 12ვ, 400 ა·სთ. დაახლოებით რა ხნის განმავლობაში უზრუნველყოფს ეს აკუმულატორი წრედში 0,5 ა მუდმივ დენს უწყვეტი მუშაობის რეჟიმში?

ამოხსნა:

მოც: U = 12 ვ;
q = 400 ა·სთ;
I = 0,5 ა.

უ.ვ.: t

- წარწერა 12 ვ მიანიშნებს იმაზე, რომ იგი წრედის ბოლოებზე უზრუნველყოფს U = 12 ვ მუდმივ ძაბვას.
- წარწერა 400 ა·სთ კი – იმაზე, რომ ერთჯერადად დამუხტულ მდგომარეობაში მას q = 400 ა·სთ (ამპერსაათი) = $400 \cdot 3600 = 144 \cdot 10^4$ კ მუხტის რესურსი გააჩნია.
- შესაბამისად, ამ მუხტის გავლას 0,5 ა დენის პირობებში დაჭირდება დრო:

  $t = \frac{q}{I} = \frac{144 \cdot 10^4}{0,5} = 288 \cdot 10^4$ (წმ) = 800 სთ (დაახლოებით 33 დღე-ღამე).

- **შენიშვნა:** სინამდვილეში ავტომობილის აკუმულატორი ძრავას მუშაობისას სპეციალური გენერატორის (დინამოს) საშუალებით იმუხტება და შესაბამისად, მისი მუშაობის რესურსი დღევანდელი ტექნოლოგიის პირობებში საშუალოდ 3 წელიწადია.

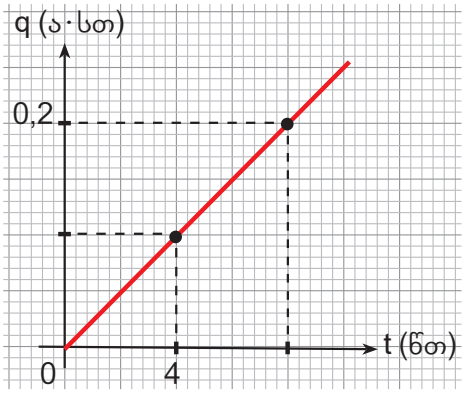
პასუხი: ამ რეჟიმში აკუმულატორი საშუალოდ 33 დღე-ღამის განმავლობაში იმუშავებს.

საშინაო აქტივობა

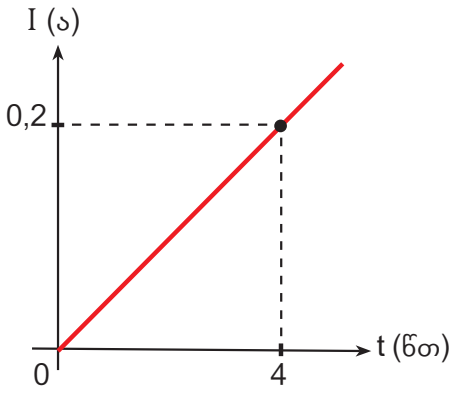
ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლია დენის ძალის მნიშვნელობა გამტარში, თუ მის განივკვეთში 5 წამში 4 კ მუხტი გადის?
2. რა მუხტი გაივლის გამტარის განივკვეთში 5 წუთის განმავლობაში, როცა დენის ძალის მნიშვნელობა ამ გამტარში 300 მა-ია?
3. რა დროის განმავლობაში გაივლის ლითონის გამტარის განივკვეთში $5 \cdot 10^{20}$ ელექტრონი მასში 2 ა დენის ძალის მნიშვნელობისას?
4. სურ. 1.9.15-ზე ნაჩვენებია აკუმულატორის დამუხტვისას მასში დაგროვილი მუხტის დროზე დამოკიდებულების დიაგრამა. რა მნიშვნელობისაა ამ დროს დამუხტვის დენის ძალა?

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?

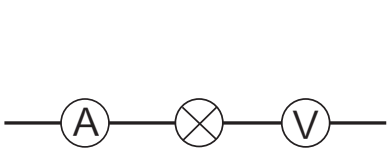


სურ. 1.9.15

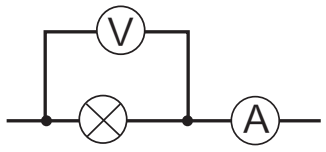


სურ. 1.9.16

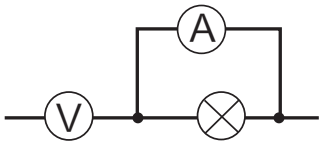
6. წარმოდგენილი ექვსი სურათიდან (სურ. 1.9.17÷1.9.22) რომელ შემთხვევებშია სწორად ჩართული სიდეალური ვოლტმეტრი და ამპერმეტრი ნათურაზე ძაბვისა და მასში გამავალი დენის ძალის დასადგენად?



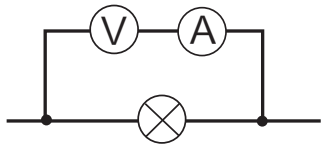
სურ. 1.9.17



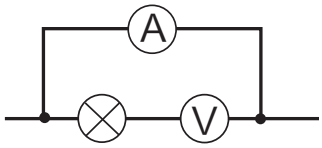
სურ. 1.9.18



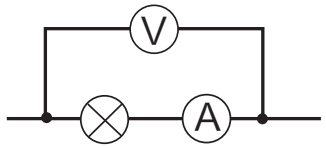
სურ. 1.9.19



სურ. 1.9.20



სურ. 1.9.21



სურ. 1.9.22

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ შექმნათ სხვადასხვა სახის წრედები, რომლებშიც შეგეძლებათ ამპერმეტრის საშუალებით დენის ძალის გაზომვა წრედის სხვადასხვა უბანზე, ასევე, ვოლტმეტრის საშუალებით ძაბვის გაზომვა წრედის სხვადასხვა უბნის ბოლოებს შორის:

1.10. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამტარის წინაღობა. კუთრი წინაღობა

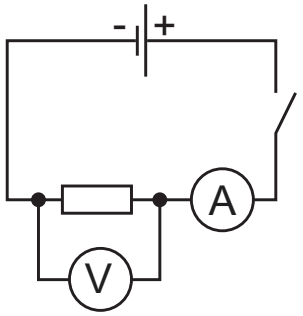
სახლის ელექტროქსელის მოწყობისას თავდაპირველად ალუმინის სადენები გამოიყენებოდა, რომელიც კარგა ხანია სპილენძის სადენებმა ჩაანაცვლა. ეს იმით აიხსნება, რომ სპილენძი დენს „უკეთ ატარებს“, ვიდრე ალუმინი. **როგორ განვასხვაოთ ლითონები ელექტროგამტარობის თვალსაზრისით?** როგორც ვიცით, ელექტრული დენი არის დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა. ამ მოძრაობის მიზეზი გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვაა. რაც უფრო დიდია ის, მით მეტია ელექტრული ველის მხრიდან ამ ნაწილაკებზე მოქმედი ძალა, მით მეტია მათი მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და, შესაბამისად, დენის ძალაც. **როგორი მათემატიკური დამოკიდებულებაა გამტარში გამავალ დენის ძალას და მის ბოლოებზე ძაბვას შორის?** ამ კითხვებზე პასუხს პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეიტყობთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

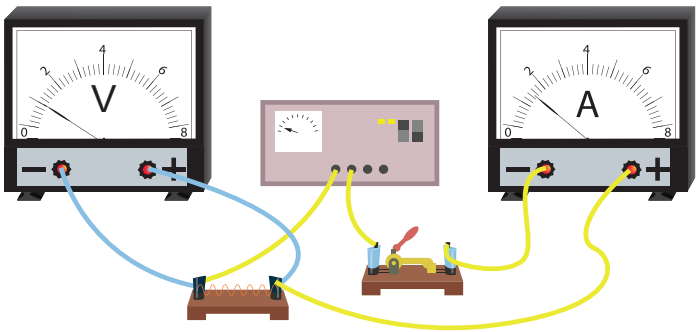
- **გაეცნობით:** რა დამოკიდებულებაა გამტარის ბოლოებზე არსებულ ძაბვასა და გამტარში დენის ძალას შორის;
- **გაეცნობით:** როგორ განასხვავებენ ლითონებს ელექტროგამტარობის მიხედვით;
- **შეძლებთ:** შეაფასოთ, რომელ ლითონებს აქვთ მეტი კუთრი წინაღობა.

1.10.1. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

ჩავატაროთ ცდა. ცდისთვის დაგვჭირდება: ალუმინისა და სპილენძის მავთულებისგან დახვეული ერთნაირი გეომეტრიული ზომების სპირალები; დენის წყარო, რომლის გამოსავალზე შეიძლება ძაბვის ცვლა; ჩამრთველი; მუდმივი დენის ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი; მიმყვანი სადენები. სურ. 1.10.1-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით ავაწყოთ წრედი. თავდაპირველად მომხმარებლად ავირჩიოთ სპილენძის მავთულისგან დახვეული სპირალი (სქემაზე ის პირობითად მართკუთხედითაა აღნიშნული). დენის წყაროზე შევარჩიოთ ძაბვის უმცირესი მნიშვნელობა და ჩავრთოთ ჩამრთველი. გავზომოთ სპირალში დენის ძალა და მის ბოლოებზე ძაბვა. ჩავიწეროთ ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებები (სურ. 1.10.2 ა).

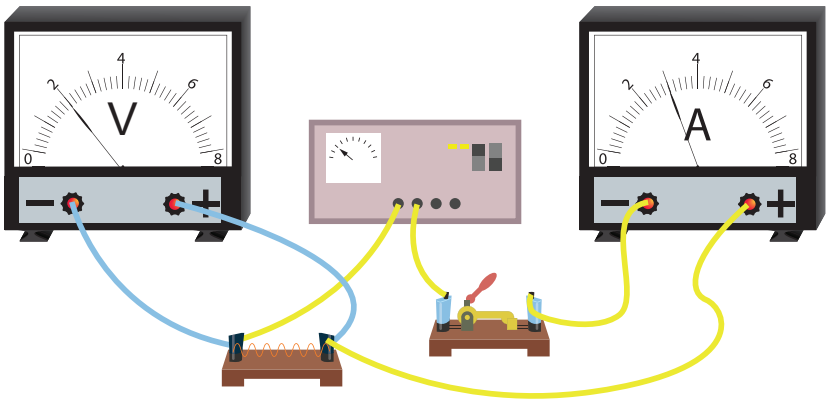


სურ. 1.10.1

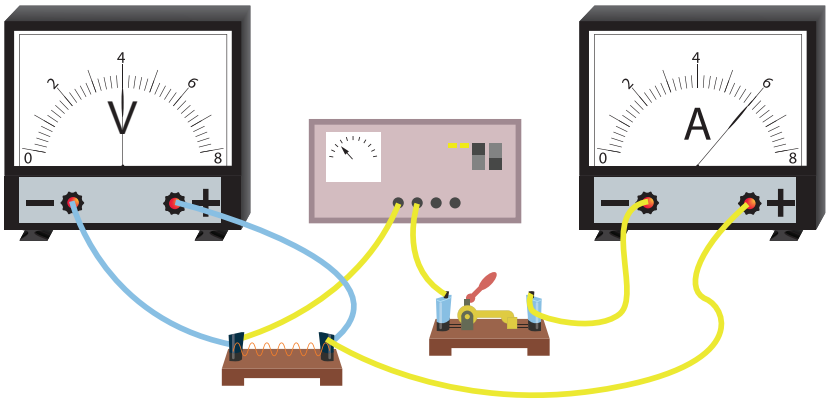


სურ. 1.10.2 ა

ცდა გვიჩვენებს, რომ სპირალის ბოლოებზე ძაბვის 2-ჯერ გაზრდით, მასში დენის ძალაც 2-ჯერ გაიზრდება (სურ. 1.10.2 ბ); ძაბვის 4-ჯერ გაზრდა გამოიწვევს დენის ძალის 4-ჯერ მატებას (სურ. 1.10.2 გ) და ა.შ. შედეგების ანალიზით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ რამდენჯერაც ვზრდით ერთსა და იმავე გამტარზე მოდებულ ძაბვას, იმდენჯერვე იზრდება მასში დენის ძალა.



სურ. 1.10.2 ბ



სურ. 1.10.2 გ

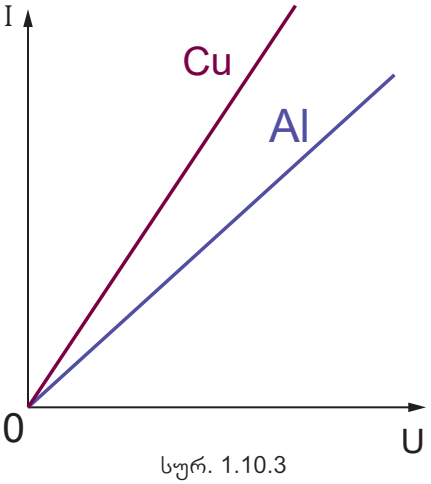
ამრიგად, **დენის ძალა ერთგვაროვან გამტარში პირდაპირპროპორციულია მის ბოლოებს შორის ძაბვისა.**

გავიმეოროთ იგივე ცდა ალუმინის სპირალით. თუ წინა ცდის ძაბვის მნიშვნელობებს გავიმეორებთ, დავინახავთ, რომ პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება დენის ძალასა და ძაბვას შორის შენარჩუნდება, მაგრამ ერთსა და იმავე ძაბვაზე ალუმინის სპირალში დენის ძალა ნაკლები იქნება, ვიდრე სპილენძის სპირალში. მაშასადამე, სპილენ-

ძის გამტარი ელექტრულ დენს ალუმინის გამტარზე უკეთ ატარებს.

თუ ცდის შედეგებზე დაყრდნობით გრაფიკულად გამოვსახავთ სპირალში დენის ძალის დამოკიდებულებას მის ბოლოებს შორის ძაბვაზე, მივიღებთ სურ. 1.10.3-ზე გამოსახულ გრაფიკებს.

ეს პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება მათემატიკურად აღიწერება $I = \gamma U$ ფორმულით და მას გამტარის **ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს** უწოდებენ. γ პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომელსაც **გამტარობას** უწოდებენ.



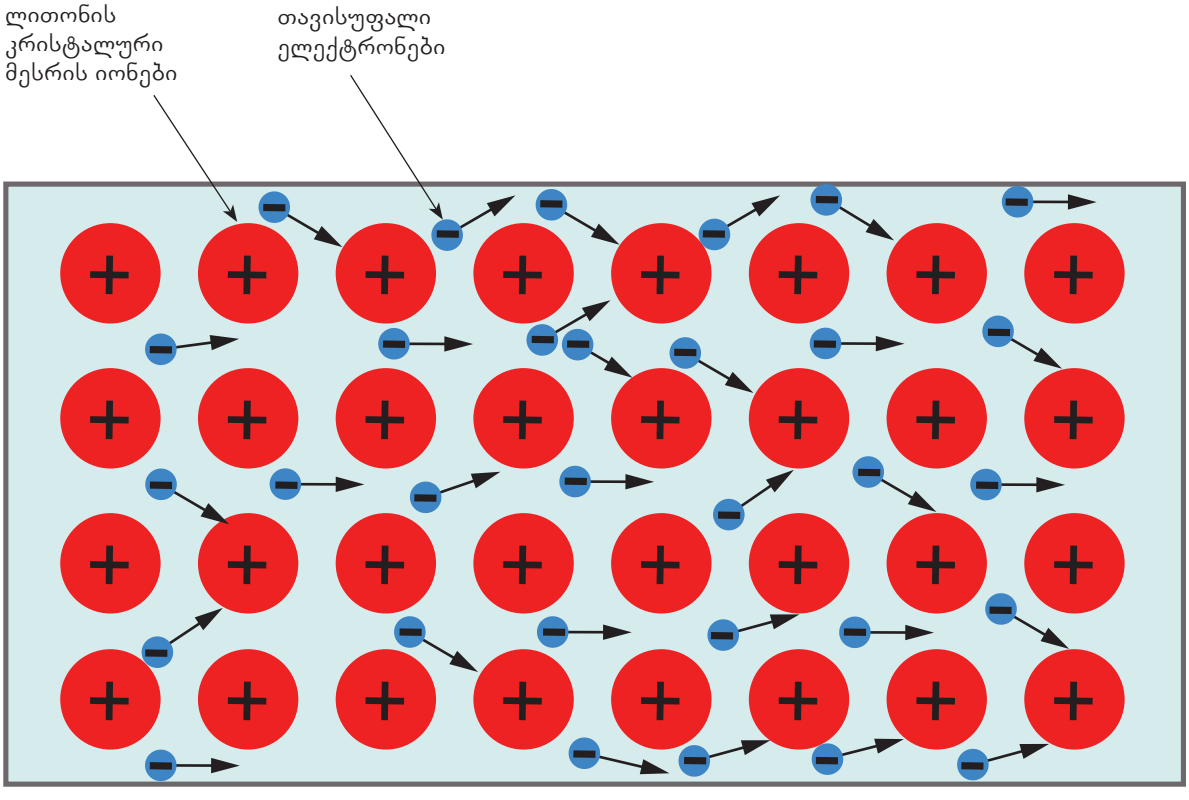
სურ. 1.10.3

1.10.2. წინაღობა

ალუმინისა და სპილენძის გამტარებისთვის პროპორციულობის კოეფიციენტი განსხვავებულია. რითია ეს განპირობებული?

ლითონებში მიმართულად მოძრავი ელექტრონები დაბრკოლებას აწყდებიან, რადგან კრისტალური მესრის კვანძებში მყოფ იონებთან ურთიერთქმედებენ (სურ. 1.10.4). თუ იონების სითბურ მოძრაობას გავითვალისწინებთ (წონასწორობის მდე-

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ შეამოწმოთ, როგორ სრულდება ომის კანონი წრედის უბნისათვის:



სურ. 1.10.4

ბარეობის მახლობლად რხევას), ეს დაბრკოლება საკმაოდ დიდია, რაც ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარეს ამცირებს და რომ არა ელექტრული ველის მოქმედება, ისინი მიმართულ მოძრაობას საერთოდ შეწყვეტდნენ. ამრიგად, ყველა გამტარი „წინააღმდეგობას“ უწევს მასში ელექტრული დენის გავლას. ერთნაირი გეომეტრიული ზომების სხვადასხვა ლითონის გამტარის მიერ დენისადმი გაწეული განსხვავებული „წინააღმდეგობა“ მათი კრისტალური მესრების განსხვავებული აგებულებითაა გამოწვეული.

გამტარის მიერ დენისათვის გაწეულ „წინააღმდეგობას“ რაოდენობრივად ახასიათებენ γ პროპორციულობის კოეფიციენტის შებრუნებული ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც გამტარის **წინაღობა** ეწოდება. მას R ასოთი აღნიშნავენ (resistance):

$$R = \frac{1}{\gamma},$$

ანუ,

$$R = \frac{U}{I}. \qquad (1)$$

SI-ში წინაღობის ერთეულია 1 ომი, ცნობილი გერმანელი ფიზიკოსის გეორგ სიმონ ომის პატივსაცემად (სურ. 1.10.5).

1 ომი ისეთი გამტარის წინაღობაა, რომლის ბოლოებზე 1 ვოლტი ძაბვისას მასში 1 ამპერი დენი გადის:

$$\textbf{1 ომი} = \frac{\textbf{1 ვ}}{\textbf{1 ა}}.$$

პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ ომის წილად და ჯერად ერთეულებს:

$$1 \text{ მომი} = 10^{-3} \text{ ომი};$$
$$1 \text{ კომი} = 10^{3} \text{ ომი};$$
$$1 \text{ მგომი} = 10^{6} \text{ ომი}.$$

სხვა სახის გამტარებში (არალითონებში) „წინააღმდეგობის“ მიზეზი განსხვავებულია. მაგალითად, ელექტროლიტებში ის საპირისპიროდ მოძრავ დადებით და უარყოფით იონებს შორის და მათი სხვა ატომებთან ურთიერთქმედების გამო აღიძვრება.

წინაღობის გასაზომ ხელსაწყოს ომმეტრი ეწოდება (სურ. 1.10.6).



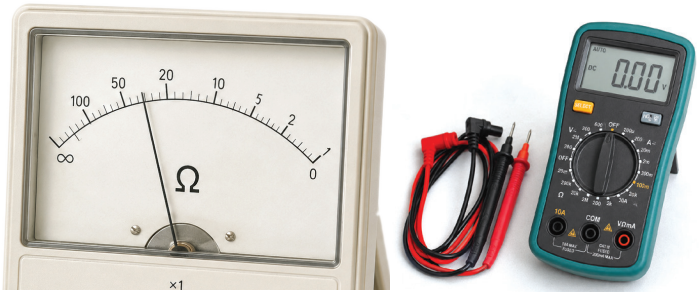
სურ. 1.10.5. გეორგ სიმონ ომი (1787–1854)

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ შექმნათ წრედები, გამოიყენოთ დენისა და ძაბვის საზომი ხელსაწყოები და დააკვირდეთ, როგორ სრულდება ომის კანონი წრედის უბნისათვის:

ხშირ შემთხვევაში, მაგალითად, ამოცანებში ნახსენები იქნება იდეალური ამპერმეტრი და იდეალური ვოლტმეტრი.

იდეალური ამპერმეტრის წინაღობა საკმარისად მცირეა (ამოცანების ამოხსნისას შეგვიძლია ნულის ტოლად მივიჩნიოთ).

იდეალური ვოლტმეტრის წინაღობა საკმარისად დიდია (ამოცანების ამოხსნისას მასში გამავალ დენს არ ვითვალისწინებთ).



სურ. 1.10.6

1.10.3. ომის კანონი წრედის უბნისთვის

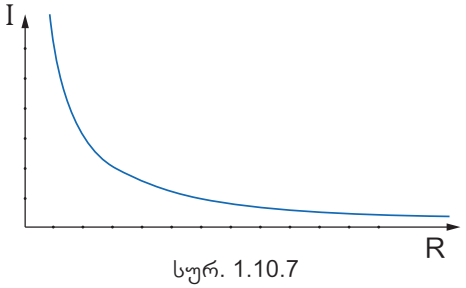
თუ (1) ფორმულიდან გამოვსახავთ დენის ძალას, მივიღებთ:

$$I = \frac{U}{R}, \qquad (2)$$

ანუ, **დენის ძალა წრედის უბანში პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებს შორის ძაბვისა და უკუპროპორციულია მისი წინაღობის.**

ამ დებულებას უწოდებენ **ომის კანონს წრედის უბნისათვის.**

მუდმივი ძაბვისას წრედის უბანში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულება მის წინაღობაზე გრაფიკულად გამოსახულია სურ. 1.10.7-ზე.



სურ. 1.10.7

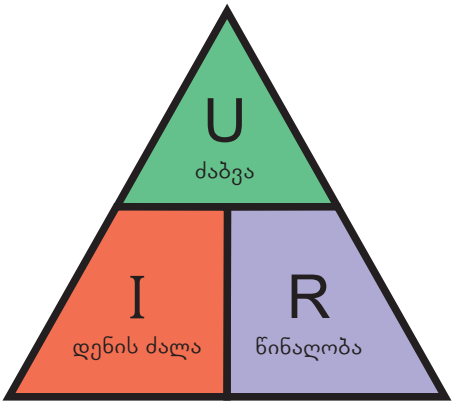
ომის კანონი ვიზუალურად გამოსახულია სურ. 1.10.8-ზე.

ომის კანონი საკმაოდ ზუსტად სრულდება, როდესაც წრედის უბნის წინაღობა მუდმივია, ანუ როდესაც წინაღობა მის ბოლოებს შორის არსებულ ძაბვაზე დამოკიდებული არ არის. ომის კანონი მართებულია ლითონებისთვის ძაბვის დიდ დიაპაზონში ისეთ მნიშვნელობამდე, ვიდრე ლითონი დნობას დაიწყებს.

ამ კანონის გამოყენების დიაპაზონი გაცილებით მცირეა ელექტროლიტების ხსნარებისათვის და აირებისათვის. დიდი ძაბვების შემთხვევაში ის აღარ სრულდება.

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ შექმნათ წრედები, გამოიყენოთ დენისა და ძაბვის საზომი ხელსაწყოები და დააკვირდეთ, როგორ სრულდება ომის კანონი წრედის უბნისათვის:



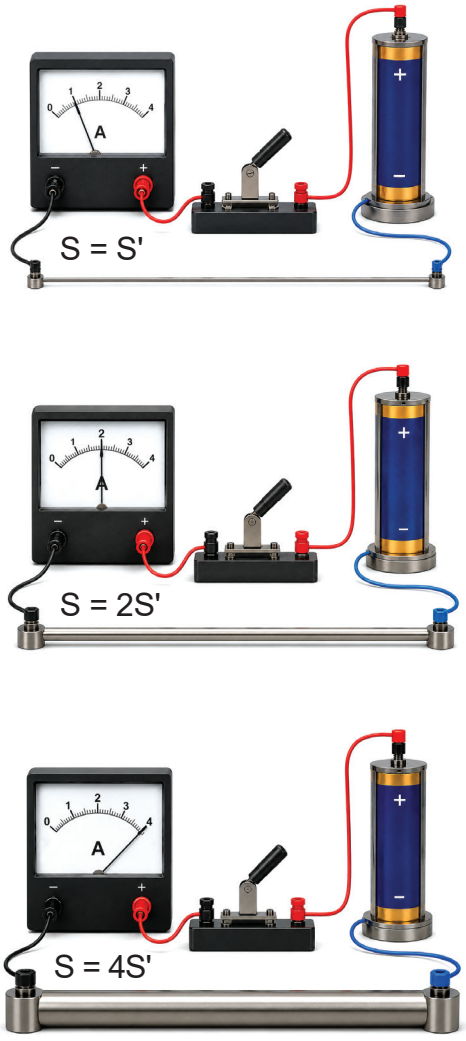


სურ. 1.10.8

1.10.4. კუთრი წინაღობა

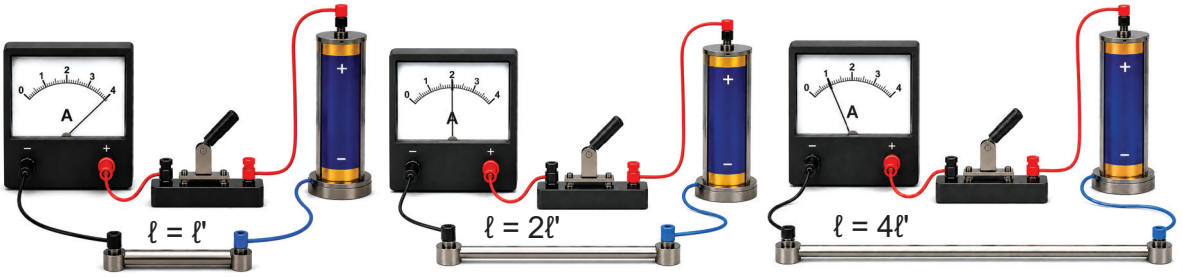
რადგან ლითონის გამტარის წინაღობის მიზეზი თავისუფალი ელექტრონების კრისტალური მესრის იონებთან ურთიერთქმედებაა, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ გამტარის წინაღობა დამოკიდებული იქნება მის **სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობზე** და იმ **ნივთიერებაზე**, რომლისგანაც გამტარია დამზადებული. ეს დამოკიდებულება შეიძლება დავადგინოთ ცდით, რომელშიც ამ სიდიდეებიდან ორ მათგანს უცვლელად დავტოვებთ, მესამეს კი შევცვლით და დავაკვირდებით გამტარის წინაღობის ცვლილებას.

ცდა 1 (სურ. 1.10.9). დავადგინოთ გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება განივკვეთის ფართობზე. ამისთვის ავიღოთ ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებული, ტოლი სიგრძის მქონე სამი გამტარი, რომელთა განივკვეთის ფართობები ერთმანეთს 1:2:4 პროპორციით შეეფარდება. გამტარები მონაცვლეობით ჩავრთოთ წრედში. ცდა გვიჩვენებს, რომ გამტარის ბოლოებზე მუდმივი ძაბვისას, რამდენჯერაც მეტია გამტარის განივკვეთის ფართობი, იმდენჯერ მეტია ამპერმეტრის ჩვენება. ეს კი ნიშნავს, რამდენჯერაც გაიზარდა გამტარის განივკვეთის ფართობი, იმდენჯერ შემცირდა მისი წინაღობა. ე.ი. **გამტარის წინაღობა უკუპროპორციულია მისი განივკვეთის ფართობის:** $R \sim \frac{1}{S}$, რომელშიც S გამტარის განივკვეთის ფართობია.



სურ. 1.10.9

ცდა 2. ახლა დავადგინოთ, როგორ არის დამოკიდებული გამტარის წინაღობა მის სიგრძეზე. ამისათვის ავიღოთ ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებული ტოლი განივკვეთის ფართობის მქონე სამი გამტარი, რომელთა სიგრძეები ერთმანეთს 1:2:4 პროპორციით შეეფარდება. ავაწყოთ წრედი სურ. 1.10.10-ის მიხედვით და მონაცვლეობით ჩავრთოთ მასში წინაღობები. ცდა გვიჩვენებს, რომ გამტარის ბოლოებზე მუდმივი ძაბვისას, რამდენჯერაც გაიზარდა გამტარის სიგრძე, იმდენჯერ შემცირდა ამპერმეტრის ჩვენება, ანუ შემცირდა დენის ძალა. ომის კანონის თანახმად ეს ნიშნავს, რომ რამდენჯერაც გაიზარდა გამტარის სიგრძე, იმდენჯერ გაიზარდა მისი წინაღობა. ე.ი. **გამტარის წინაღობა პროპორციულია მისი სიგრძის:** $R \sim \ell$, რომელშიც ℓ გამტარის სიგრძეა.



S = const ρ = const

სურ. 1.10.10

ცდა 3. ავიღოთ ერთნაირი სიგრძისა და განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის, ალუმინისა და ვოლფრამისაგან დამზადებული სამი გამტარი, რომლებიც მონაცვლეობით ჩავრთოთ წრედში (სურ. 1.10.11). ცდა გვიჩვენებს, რომ გამტარის ბოლოებზე მუდმივი ძაბვისას, სპილენძის გამტარის შემთხვევაში ამპერმეტრის ჩვენება უდიდესი, ხოლო ვოლფრამის გამტარის შემთხვევაში უმცირესი იქნება. ეს კი ნიშნავს, რომ სპილენძის გამტარის წინაღობა უმცირესია, უფრო მეტია ალუმინის გამტარის წინაღობა, ხოლო ვოლფრამისა – უდიდესი. ე.ი. **გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია იმ ნივთიერების გვაროზაზე, რომლისგანაც იგი არის დამზადებული**.

როგორ გავითვალისწინოთ ეს დამოკიდებულება? ამისათვის თითოეული ნივთიერებისთვის ცდით ადგენენ ე.წ. **ნივთიერების კუთრ წინაღობას.**

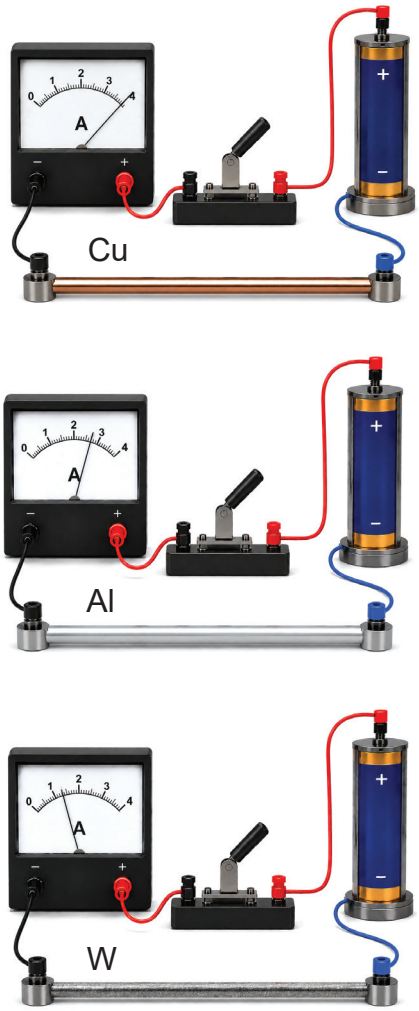
ნივთიერების კუთრი წინაღობა მოცემული ნივთიერების ელექტრული თვისებების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისაგან დამზადებული ერთეული სიგრძისა და ერთეული განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარის წინაღობის. ნივთიერების კუთრ წინაღობას **ρ** ასოთი აღნიშნავენ.

ჩატარებული ცდების საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობის გამოსათვლელი ფორმულა:

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

ამ ფორმულიდან დავადგენთ კუთრი წინაღობის ერთეულს. ვინაიდან $\rho = R\frac{S}{\ell}$, ამიტომ SI-ში ნივთიერების კუთრი წინაღობის ერთეულია:

$$1\ \frac{\text{ომი} \cdot \text{მ}^2}{\text{მ}} = 1\ \text{ომი} \cdot \text{მ}.$$



S = const

ℓ = const

სურ. 1.10.11

პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება მცირე განივკვეთის (რამდენიმე მმ²) ფართობის მქონე გამტარები. ამიტომ ნივთიერების კუთრ წინაღობას ხშირად გამოსახავენ $1\frac{\text{ომი}\cdot\text{მმ}^2}{\text{მ}}$ ერთეულში.

რადგან 1 მმ² = 10^{-6} მ², ამიტომ $1\frac{\text{ომი}\cdot\text{მმ}^2}{\text{მ}} = 10^{-6}$ ომი · მ.

კუთრი წინაღობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნივთიერების ტემპერატურაზე, ამიტომ ცხრილში ყოველთვის აღნიშნულია ტემპერატურა, რომლის დროსაც მიღებულია ეს შედეგები:

დააკვირდით ვირტუალურ ლაბორატორიაში, როგორ არის დამოკიდებული გამტარის წინაღობა მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა და იმ ნივთიერების გვარობაზე, რომლისგანაც ის არის დამზადებული:

ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი წინაღობა, $\frac{\text{ომი}\cdot\text{მმ}^2}{\text{მ}}$ (10^{-6} ომი · მ), (t = 20°C)					
ვერცხლი	0,016	რკინა	0,10	ვერცხლისწყალი	0,96
სპილენძი	0,017	ტყვია	0,21	ნიქრომი	1,1
ოქრო	0,024	ნიკელინი	0,40	გრაფიტი	13
ალუმინი	0,028	მანგანინი	0,43	ფაიფური	10^{19}
ვოლფრამი	0,055	კონსტანტანი	0,50	ებონიტი	10^{20}

დაფიქრდით, რატომ იყენებენ საყოფაცხოვრებო ელექტრული ქსელის გაყვანისას ალუმინის ან სპილენძის სადენებს?

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ფაიფურისა და ებონიტის კუთრი წინაღობა იმდენად დიდია, რომ ისინი დენს თითქმის არ ატარებს, ამიტომ მათ იზოლატორებად იყენებენ.

ახალი ტერმინები:

ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი;

გამტარობა;

წინაღობა;

კუთრი წინაღობა.

1.10.5. რეზისტორი

ხშირად, წრედში სასურველი დენის ძალის მისაღებად, საჭიროა გარკვეული მნიშვნელობის წინაღობა. ასეთ წინაღობას რეზისტორს უწოდებენ (სურ. 1.10.12). რეზისტორი წრედის კომპონენტია, რომლის



სურ. 1.10.12

ერთადერთი დანიშნულებაა შექმნას დენისათვის გარკვეული წინაღობა. ელექტრულ სქემაზე რეზისტორს სურ. 1.10.13-ზე მოცემული აღნიშვნით გამოსახავენ.



სურ. 1.10.13

უპასუხეთ კითხვებს

1. რა მიზეზ-შედეგობრივი კავშირია გამტარში დენის ძალასა და მის ბოლოებზე არსებულ ძაბვას შორის?
2. რა უშლის ხელს ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას ლითონის გამტარში?
3. $R = \frac{U}{I}$ ფორმულიდან გამომდინარეობს თუ არა, რომ გამტარის წინაღობა მის ბოლოებს შორის ძაბვის პირდაპირპროპორციულია?
4. როგორ შეიძლება განვსაზღვროთ რაიმე მასალის კუთრი წინაღობა?
5. რატომ არ არის მოსახერხებელი პრაქტიკაში კუთრი წინაღობის SI ერთეულის გამოყენება?
6. რომელია უკეთესი გამტარი, ოქრო თუ ვერცხლი?
7. რომელია უკეთესი იზოლატორი, ებონიტი თუ ფაიფური?
8. რას უწოდებენ რეზისტორს?

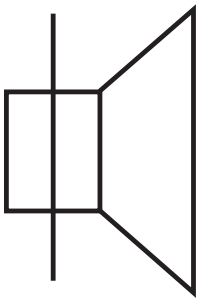
რა ვისწავლეთ

- **დენის ძალა ერთგვაროვან გამტარში პირდაპირპროპორციულია მის ბოლოებს შორის ძაბვის: $I = \gamma U$. პროპორციულობის γ კოეფიციენტს გამტარობას უწოდებენ;**
- **მოცემული გამტარისათვის დენის ძალის დამოკიდებულებას მის ბოლოებზე მოდებულ ძაბვაზე, გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ეწოდება;**
- **გამტარის მიერ დენისათვის გაწეულ „წინააღმდეგობას“, რაოდენობრივად ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც გამტარის წინაღობა ეწოდება. მას R ასოთი აღნიშნავენ. გამტარის წინაღობა გამტარობის შებრუნებული სიდიდეა;**
- **SI-ში წინაღობის ერთეულია 1 ომი. ეს ისეთი გამტარის წინაღობაა, რომლის ბოლოებზე 1 ვოლტი ძაბვისას მასში 1 ამპერი დენი გადის: 1 ომი $= \frac{1\text{ვ}}{1\text{ა}}$;**
- **დენის ძალა წრედის უბანში პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებს შორის ძაბვისა და უკუპროპორციულია მისი წინაღობის: $I = \frac{U}{R}$;**
- **გამტარის წინაღობა პროპორციულია მისი სიგრძის: $R \sim \ell$;**
- **გამტარის წინაღობა უკუპროპორციულია მისი განივკვეთის ფართობის: $R \sim \frac{1}{S}$;**
- **გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია იმ ნივთიერების გვარობაზე, რომლისგანაც იგი არის დამზადებული;**
- **ნივთიერების კუთრი წინაღობა მოცემული ნივთიერების ელექტრული თვისებების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისაგან დამზადებული ერთეულოვანი სიგრძისა და ერთეულოვანი განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარის წინაღობის. კუთრ წინაღობას ρ ასოთი აღნიშნავენ;**
- **ერთგვაროვანი გამტარის წინაღობა გამოითვლება ფორმულით: $R = \rho \frac{\ell}{S}$;**
- **SI-ში ნივთიერების კუთრი წინაღობის ერთეულია: 1 ომი · მ.**

ავტომობილის რადიოს ან მუსიკალური ცენტრის მოსმენისას ხშირად „დასატრიალებელი სახელურით“ ვუმატებთ/ვუკლებთ ხმას. დაფიქრებულხართ როგორ ხდება ეს? გავერკვეთ და შევეცადოთ ვუპასუხოთ ამ კითხვას.

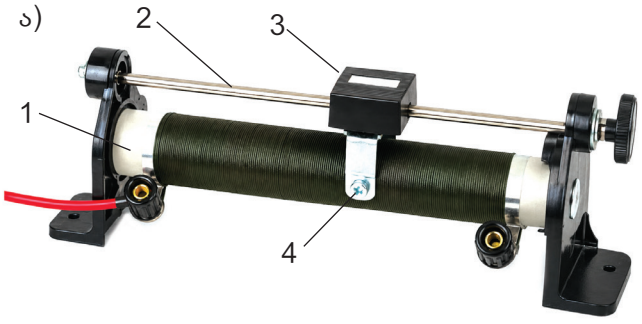
იმისთვის, რომ მოვუმატოთ/დავუკლოთ ხმას, აღმოჩნდა, რომ უნდა ვცვალოთ დენის ძალა ხმამაღლამოლაპარაკეში (სურ. 1.10.14). წრედში დენის ძალის ცვლილება კი შესაძლებელია წრედის წინაღობის ცვლილებით. ამ მიზნით გამოიყენება მოწყობილობა – **რეოსტატი**, რომლის წინაღობა შეგვიძლია ვცვალოთ. მისი მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია იმ ფაქტზე, რომ გამტარის წინაღობა მისი სიგრძის პირდაპირპროპორციულია. სურ. 1.10.15 ა-ზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი მათგანი – რეოსტატი ცოციათი. ამ რეოსტატში დიდი კუთრი წინაღობის მავთული დახვეულია კერამიკულ ცილინდრზე (1). იმისათვის, რომ ხვიები ერთმანეთისაგან იზოლირებული იყოს, მავთული დაფარულია იზოლატორის თხელი ფენით. ხვიების ზევით დამაგრებულია ლითონის ღერო (2), რომელზეც ცოციას (3) შეუძლია გადაადგილება. თავისი კონტაქტებით (4) ცოცია ებჯინება ხვიებს. გადაადგილებისას ხვიებთან კონტაქტის გამო დენი ხვიებიდან, ცოციას გავლით, ლითონის ღეროზე გადადის. ცოციას გადაადგილებით იცვლება წრედში ჩართული ხვიათა რიცხვი და, შესაბამისად, რეოსტატის წინაღობაც. სურ. 1.10.15 ბ-ზე – რეოსტატის სქემატური აღნიშვნაა მოცემული.

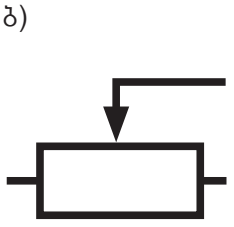




ხმამაღლამოლაპარაკე და მისი სქემატური გამოსახულება

სურ. 1.10.14

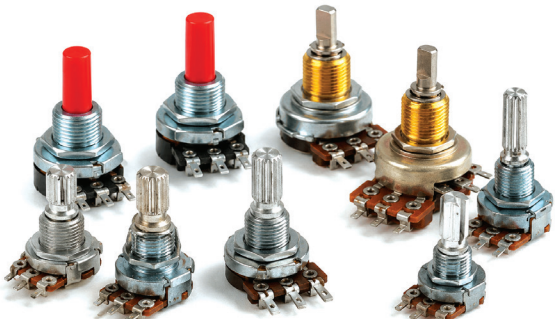




სურ. 1.10.15

ყოველი რეოსტატი გათვალისწინებულია მაქსიმალურ წინაღობასა და დენის ძალაზე, რომელთა მნიშვნელობები ხელსაწყოზეა აღნიშნული.

რეოსტატებს ანიჭებენ მოსახერხებელ და კომპაქტურ ფორმას. ასეთი რეოსტატები ნაჩვენებია სურ 1.10.16-ზე.



სურ. 1.10.16

როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანა

1 მ სიგრძის და 0,88 მმ^2 განივკვეთის გამტარი მიაერთეს მუდმივი დენის წყაროს პოლუსებს, რომელთა შორის ძაბვაა 2,5 ვ-ია.

ა) რისი ტოლია გამტარის წინაღობა, თუ ყოველ 5 წამში გამტარის განივკვეთში $625 \cdot 10^{17}$ ელექტრონი გადის?

ბ) რა ნივთიერებისგან არის დამზადებული ეს გამტარი?

ამოხსნა:

მოც.: $L = 1$მ;
$S = 0{,}88$ მმ^2 $= 0{,}88 \cdot 10^{-6}$ მ^2;
$U = 2{,}5$ ვ;
$t = 5$ წმ;
$N = 625 \cdot 10^{17}$;
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ.

უ.ვ.: R; ρ

ა)
- წრედის უბნისათვის ომის კანონიდან გამომდინარე: $R = \frac{U}{I}$
- დენის ძალის განმარტებიდან გამომდინარე: $I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t}$
- ამ ფორმულების გათვალისწინებით გვექნება: $R = \frac{Ut}{Ne}$
- ჩავსვათ რიცხვითი მნიშვნელობები: $R = \frac{2{,}5 \cdot 5}{625 \cdot 10^{17} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 1{,}25$ (ომი)

პასუხი: გამტარის წინაღობა 1,25 ომია.

ბ)
- ნივთიერების დასადგენად ვისარგებლოთ ფორმულით $R = \rho \frac{\ell}{S}$, აქედან $\rho = \frac{RS}{\ell} = \frac{1{,}25 \cdot 0{,}88}{1} = 1{,}1$ (ომი·მმ^2/მ)
- თუ მიღებულ შედეგს ნივთიერებების კუთრ წინაღობებს შევადარებთ (ცხრილი, გვ. 82), ვნახავთ, რომ ასეთი კუთრი წინაღობა ნიქრომს აქვს

პასუხი: გამტარი დამზადებულია ნიქრომისგან.

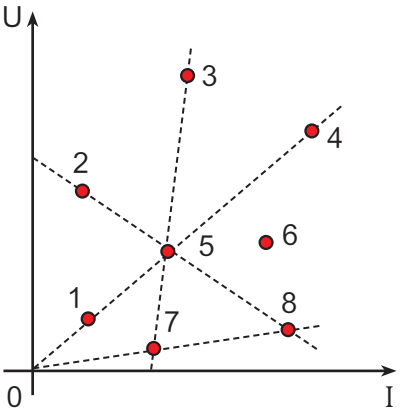
ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლი იქნება დენის ძალა 60 ომი წინაღობის ნათურაში თუ მის ბოლოებზე ძაბვა 12 ვოლტია?
2. რა ძაბვა უნდა მოვდოთ 4 კომი წინაღობის გამტარზე, რომ მასში დენის ძალა 50 მა აღმოჩნდეს?
3*. სურ. 1.10.17-ზე წარმოდგენილ სქემაში ვოლტმეტრის ჩვენება 6 ვ-ია, ამპერმეტრისა კი – 2 მა. რისი ტოლია ვოლტმეტრის წინაღობა?

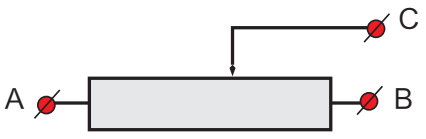


სურ. 1.10.17

4. ნათურაზე 18 ვ ძაბვის მოდებისას, მასში 400 მა დენი გადის. რა ძაბვა უნდა მოვდოთ ნათურაზე, რომ დენის ძალა მასში 200 მა-ით გაიზარდოს?
5. ორ განსხვავებულ ნათურაზე ერთი და იმავე ძაბვის მოდებისას, დენის ძალა პირველ ნათურაში 25%-ით მეტია, ვიდრე მეორეში. რამდენი პროცენტით განსხვავდება პირველი ნათურას წინაღობა მეორესგან?
6. სურ. 1.10.18-ზე ნაჩვენებია რვა სხვადასხვა წინაღობის რეზისტორში დენის ძალისა და მათ ბოლოებზე ძაბვების შესაბამისობის წერტილოვანი დიაგრამა. დაალაგეთ რეზისტორების წინაღობები ზრდადობის მიხედვით.
7. რამდენი ელექტრონი გაივლის 30 ომი წინაღობის გამტარის განივკვეთში 5 წმ-ის განმავლობაში, თუ მის ბოლოებს შორის ძაბვა 48 ვ-ია?
8. როგორ შეიცვლება მავთულის წინაღობა, თუ მას შუაზე მოვკეცავთ და დავგრეხთ (დაგრეხისას სიგრძის ცვლილება უგულებელყავით)?
9*. რეოსტატი დამზადებულია 5 სმ დიამეტრის ცილინდრზე დახვეული 1მმ^2 განივკვეთის ნიქრომის მავთულისაგან (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?
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?



სურ. 1.10.18



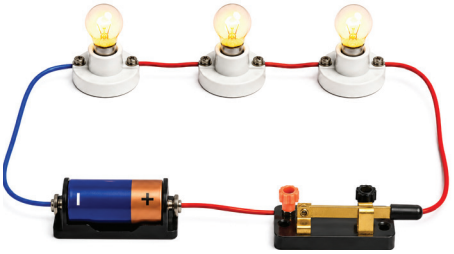
სურ. 1.10.19

1.11. გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

სახლის ელექტროგაყვანილობის ქსელის მოწყობისას, როგორც წესი, წრედში ერთდროულად რამდენიმე მომხმარებელი ან ხელსაწყოა ჩართული. ყველა მათგანს თავისი ფუნქცია აქვს. მაგალითად, ელექტროენერგიის მრიცხველი, წრედში ისეა ჩართული, რომ სახლში შემავალი დენი მთლიანად მასში გადის. **რა ხერხებით შეიძლება ელექტრომომხმარებლების შეერთება? რა კანონზომიერებებს ემორჩილება ეს შეერთებები?** ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **გაეცნობით:** ელექტრომომხმარებლების შეერთების ხერხებს;
- **ისწავლით:** ელექტრომომხმარებლების მიმდევრობით და პარალელურად შეერთების კანონზომიერებებს;
- **შეძლებთ:** შეადგინოთ რეალური წრედები ან ამ წრედების შესაბამისი სქემები, კონკრეტული ამოცანების გადასაჭრელად;
- **შეძლებთ:** დაადგინოთ სხვადასხვა ფიზიკური მახასიათებლების მნიშვნელობები, როგორც წრედში ჩართული მომხმარებლებისთვის, ასევე წრედის სხვადასხვა უბნისთვის.



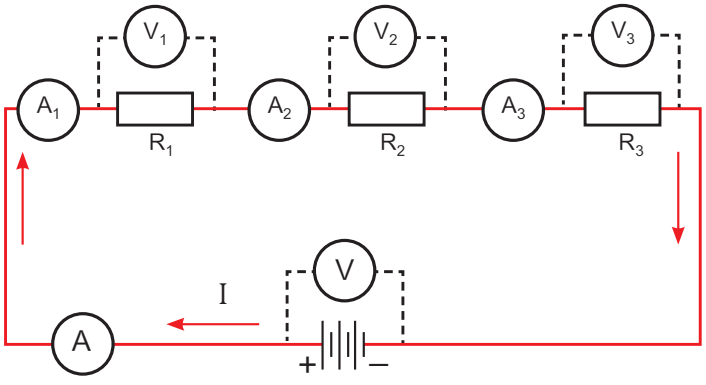
სურ. 1.11.1

1.11.1. მიმდევრობითი შეერთება

სურ. 1.11.1-ზე გამოსახულ წრედში ყველა კომპონენტი მიმდევრობითაა ჩართული და წრედში არ არის განშტოება. თქვენთვის უკვე ცნობილია, რომ ასეთ შეერთებას **მიმდევრობითი შეერთება** ეწოდება.

თუ მიმდევრობით ჩართული მომხმარებლებიდან რომელიმე დენს არ გაატარებს, დენი წრედში შეწყდება.

განვიხილოთ წრედი, რომელშიც სამი სხვადასხვა R_1, R_2 და R_3 წინაღობა მიმდევრობითაა ჩართული, ხოლო ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე U-ს ტოლია (სურ. 1.11.2).



სურ. 1.11.2

მიმდევრობითი შეერთებისას სრულდება ოთხი ძირითადი კანონი:

1. მიმდევრობითი შეერთებისას წრედში განშტოება არ არის, მუხტი ვერსად გროვდება და, შესაბა-

მისად, დროის ერთსა და იმავე შუალედში ყველა წინაღობის განივკვეთში გასული მუხტი ერთნაირია.

ამიტომ, დენის ძალა მიმდევრობით შეერთებულ ყველა წინაღობაში ერთნაირია:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I. \qquad (1)$$

2. თუ ელექტრული ველი პირველ წინაღობაში q მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს A_1 მუშაობას, მეორე წინაღობაში – A_2 მუშაობას, მესამეში კი A_3-ს, მაშინ ცხადია, რომ სამივე წინაღობაში q მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული A მუშაობა ტოლი იქნება: $A = A_1 + A_2 + A_3$. ამ ტოლობის ორივე მხარის q-ზე გაყოფით, მივიღებთ:

$$\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q} + \frac{A_3}{q}.$$

ძაბვის განმარტების თანახმად, $U = \frac{A}{q}$, ამიტომ გვექნება:

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (2)$$

ძაბვა მიმდევრობით შეერთებული წინაღობების უბნის ბოლოებზე თითოეული წინაღობის ბოლოებზე არსებული ძაბვების ჯამის ტოლია.

3. ომის კანონის თანახმად,
$U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U_3 = IR_3$, და $U = IR$, რომელშიც R მთელი უბნის წინაღობაა. თუ ამ გამოსახულებებს (2) ფორმულაში შევიტანთ, მივიღებთ:
$IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$, საიდანაც

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \qquad (3)$$

მიმდევრობით შეერთებული წინაღობების უბნის სრული წინაღობა ცალკეული წინაღობების ჯამის ტოლია.

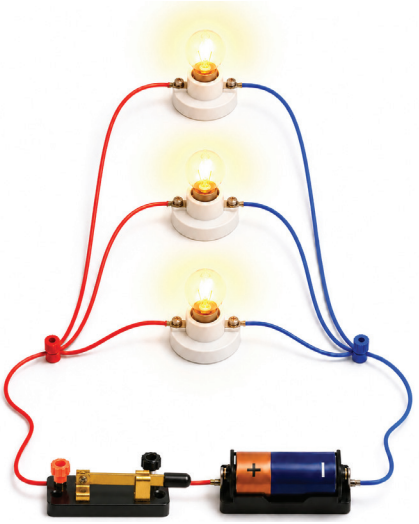
N რაოდენობის ერთნაირი R_1 წინაღობის მიმდევრობითი შეერთებისას, სრული წინაღობა ტოლი იქნება:

$$R = NR_1. \qquad (4)$$

4. რადგან მიმდევრობითი შეერთებისას დენის ძალა ყველა წინაღობაში ერთნაირია (იხ. ფორმულა (1)), ამიტომ $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3}$, შესაბამისად,

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3. \qquad (5)$$

ე.ი. **მიმდევრობითი შეერთებისას, ძაბვები წინაღობების ბოლოებზე, ამ წინაღობების პირდაპირპროპორციულია,** ანუ ძაბვა დიდ წინაღობაზე იმდენჯერ აღემატება ძაბვას მცირე წინაღობაზე, რამდენჯერაც დიდი წინაღობა აღემატება მცირეს.



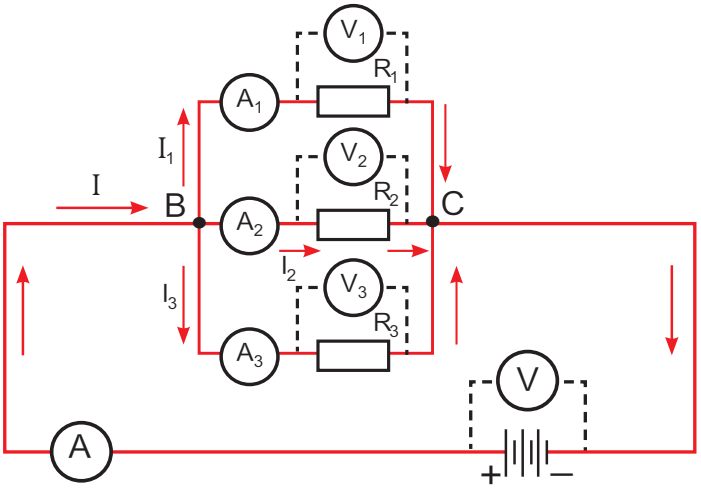
სურ. 1.11.3

1.11.2. პარალელური შეერთება

სახლში, განათების წრედში, რამდენიმე ნათურაა ჩართული, მაგრამ ერთი ნათურის მწყობრიდან გამოსვლა დანარჩენი ნათურების ჩაქრობას არ იწვევს. როგორ არის ეს ნათურები ერთმანეთთან შეერთებული?

სურ. 1.11.3-ზე გამოსახულ წრედში სამივე ნათურას აქვს შეერთების ორი საერთო წერტილი. პირველ წერტილში ხდება დენის განშტოება, ხოლო მეორეში – შეკრება. თქვენთვის ცნობილია, რომ ასეთ შეერთებას **პარალელური შეერთება** ეწოდება.

სურ. 1.11.4-ზე გამოსახულია წრედი, რომელშიც სამი სხვადასხვა R_1, R_2 და R_3 წინაღობა პარალელურადაა ჩართული, ხოლო ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე U-ს ტოლია.



სურ. 1.11.4

პარალელური შეერთებისას სრულდება ოთხი ძირითადი კანონი:

1. პარალელურად შეერთებულ ყველა წინაღობას ორი საერთო (B და C) წერტილი აქვს და მათ შორის 1 კ მუხტის ნებისმიერი გზით გადატანისას ერთნაირი მუშაობა შესრულდება.

პარალელურად შეერთებული თითოეული წინაღობის ბოლოებზე ძაბვა ერთი და იგივეა და წრედის

ბოლოებზე (B და C წერტილებს შორის) **არსებული ძაბვის ტოლია:**

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \qquad (6)$$

2. განშტოების B წერტილში დენი რამდენიმე ნაწილად იყოფა. ვინაიდან გაყოფის წერტილში მუხტი არ გროვდება, ამიტომ მასში გარკვეულ t დროში შესული მუხტი იმავე დროში ამ წერტილიდან თითოეულ განშტოებაში გასული მუხტების ჯამის ტოლი იქნება, ანუ $q = q_1 + q_2 + q_3$. თუ ამ ტოლობის ორივე ნაწილს t-ზე გავყოფთ და $I = \frac{q}{t}$ ფორმულას გავითვალისწინებთ, მივიღებთ:

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \qquad (7)$$

პარალელური შეერთებისას დენის ძალა წრედის არაგანშტოებულ ნაწილში მის განშტოებებში დენის ძალების ჯამის ტოლია:

3. პარალელურად შეერთებული გამტარების BC უბნის მთლიანი წინაღობის დასადგენად გამოვიყენოთ (6) და (7) ტოლობები. თუ უბნის მთლიან წინაღობას R-ით აღვნიშნავთ, ომის კანონის გამოყენებით (7) ტოლობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}.$$

ამ ტოლობის U-ზე შეკვეცით მივიღებთ:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \qquad (8)$$

ამრიგად, **პარალელურად შეერთებული გამტარების (BC) უბნის სრული წინაღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული გამტარის წინაღობის შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია.**

(8) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ პარალელურად ჩართული წინაღობების რაოდენობის ზრდით უბნის სრული წინაღობა მცირდება.

(8) ფორმულიდან ასევე გამომდინარეობს, რომ N რაოდენობის ერთნაირი R_1 წინაღობის პარალელური შეერთებისას სრული წინაღობის შებრუნებული სიდიდე ტოლი იქნება:

$$\frac{1}{R} = N\frac{1}{R_1},$$

საიდანაც,

$$R = \frac{R_1}{N}. \qquad (9)$$

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ შეადგინოთ წრედები, რომლებშიც მომხმარებლები მიმდევრობით, ან პარალელურად იქნება შეერთებული, ასევე გამოვიკვლიოთ კანონზომიერებები ამ წრედებში:







ახალი ტერმინები:

მიმდევრობითი შეერთება;

პარალელური შეერთება;

განშტოება;

სრული წინაღობა.

იმ შემთხვევაში, როდესაც პარალელურად შეერთებულია ორი წინაღობა

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \qquad (10)$$

4. რადგან პარალელური შეერთებისას ძაბვა ყველა წინაღობაზე ერთნაირია, თუ ამ ძაბვებს გამოვსახავთ შესაბამისი დენის ძალებისა და წინაღობების ნამრავლით, მივიღებთ: $I_1R_1 = I_2R_2 = I_3R_3$, საიდანაც:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}; \quad \frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1}; \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}. \qquad (11)$$

ე.ი. **პარალელური შეერთებისას, წინაღობათა ნებისმიერი წყვილისთვის წინაღობებში გამავალი დენის ძალები ამ წინაღობების უკუპროპორციულია,** ანუ დენის ძალა მცირე წინაღობაში იმდენჯერ აღემატება დიდ წინაღობაში დენის ძალას, რამდენჯერაც დიდი წინაღობა მეტია მცირეზე.

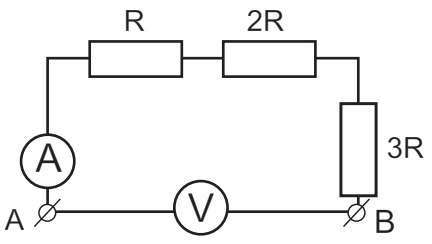
პარალელური შეერთება საშუალებას გვაძლევს მომხმარებლები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ჩავრთოთ ან გამოვრთოთ. ზუსტად ამიტომ, სახლებში, ქალაქის განათების ქსელში და მრავალ სხვა შემთხვევაში, ელექტრომომხმარებლების პარალელური შეერთება გამოიყენება.

საკლასო აქტივობა

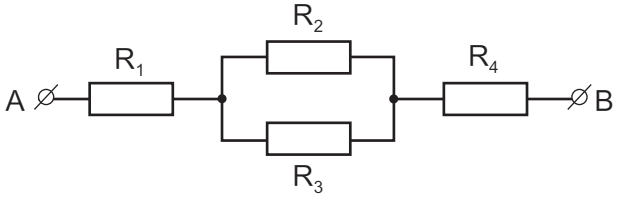
ამოხსენით ამოცანები:

1. 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.
2. 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?

ა)



ბ)



სურ. 1.11.5

უპასუხეთ კითხვებს

1. როგორ შეერთებას უწოდებენ მიმდევრობითს?
2. რატომ არის მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში დენის ძალა ერთნაირი?
3. მიმდევრობით შეერთებული სხვადასხვა წინაღობებიდან რომლის ბოლოებზე არის მეტი ძაბვა?
4. როგორ შეერთებას უწოდებენ პარალელურს?
5. რა უპირატესობა აქვს მომხმარებლების პარალელურ შეერთებას მიმდევრობითთან შედარებით?
6. რატომ არის პარალელურად შეერთებული წინაღობების ბოლოებზე ძაბვები ერთნაირი?
7. პარალელურად შეერთებული წინაღობებიდან რომელშია ნაკლები დენის ძალა?

რა ვისწავლეთ

- **დენის ძალა მიმდევრობით შეერთებულ ყველა წინაღობაში ერთნაირია:**

$$I_1 = I_2 = I_3 = I;$$

- **ძაბვა მიმდევრობით შეერთებული წინაღობების უბნის ბოლოებზე, თითოეული წინაღობის ბოლოებზე არსებული ძაბვების ჯამის ტოლია:** $U = U_1 + U_2 + U_3$;
- **მიმდევრობით შეერთებული წინაღობების უბნის სრული წინაღობა ცალკეული წინაღობების ჯამის ტოლია:** $R = R_1 + R_2 + R_3$;
- **N რაოდენობის ერთნაირი** R_1 **წინაღობის მიმდევრობითი შეერთებისას, სრული წინაღობა ტოლი იქნება:** $R = NR_1$;
- **მიმდევრობითი შეერთებისას, ძაბვები წინაღობების ბოლოებზე, ამ წინაღობების პირდაპირპროპორციულია:** $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$;
- **პარალელური შეერთებისას, თითოეული წინაღობის ბოლოებზე ძაბვა ერთნაირია და პარალელურად შეერთებული წინაღობების ბოლოებზე არსებული ძაბვის ტოლია:** $U_1 = U_2 = U_3 = U$;
- **პარალელური შეერთებისას დენის ძალა წრედის არაგანშტოებულ ნაწილში მის განშტოებებში დენის ძალების ჯამის ტოლია:** $I = I_1 + I_2 + I_3$;
- **პარალელურად შეერთებული გამტარების უბნის სრული წინაღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული გამტარის წინაღობის შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია:** $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$;

  N რაოდენობის ერთნაირი R_1 **წინაღობის პარალელური შეერთებისას, სრული წინაღობა ტოლია:** $R = \frac{R_1}{N}$;
- **პარალელური შეერთებისას წინაღობებში გამავალი დენის ძალები ამ წინაღობების უკუპროპორციულია:**

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1};\ \frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1};\ \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}.$$

ამოცანა

სურ. 1.11.6-ზე წარმოდგენილია ოთხი ნათურისგან შედგენილი წრედის სქემა (R = 10 ომი). U_{AB} = 12 ვ (K ჩამრთველი ამორთულია).

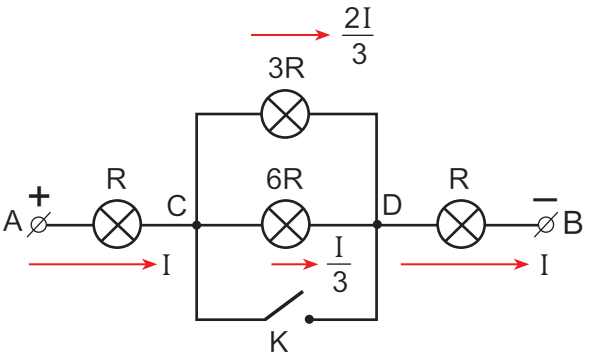
იპოვეთ:

ა) AB უბნის წინაღობა;

ბ) დენის ძალის მნიშვნელობები თითოეულ ნათურაში;

გ) ძაბვა CD ქვეუბანზე;

დ) როგორ შეიცვლება დენის ძალის მნიშვნელობა AB უბანში, თუ K ჩამრთველს ჩავრთავთ?



სურ. 1.11.6

ამოხსნა:

მოც.: R = 10 ომი;

U_{AB} = 12ვ.

უ.ვ.: R_{AB}; I_{AC}, I_{DB}, I_{3R}, I_{6R}; U_{CD}; ΔI_{AB}.

ა) • AB უბანი წარმოადგენს AC, CD და DB ქვეუბნების მიმდევრობით ჩართვას.

• $R_{AB} = R_{AC} + R_{CD} + R_{DB}$. თავის მხრივ კი CD ქვეუბანი 3R და 6R წინაღობების მქონე ნათურების პარალელური ჩართვაა:

$$R_{CD} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3R \cdot 6R}{3R + 6R} = \frac{18R^2}{9R} = 2R = 2 \cdot 10 = 20 \text{ (ომი)}.$$

• შესაბამისად $R_{AB} = 10 + 20 + 10 = 40$ (ომი).

პასუხი: R_{AB} = 40 ომი.

ბ) • სრული დენის ძალა AB უბანში $I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{12}{40} = 0{,}3$ (ა). ეს დენი გაივლის კიდურა ნათურებში: $I_{AC} = I_{DB} = I = 0{,}3$ ა.

• CD უბანში კი დენი განშტოვდება ნათურების წინაღობების უკუპროპორციულად (2:1) – ქვედა ნათურაში გაივლის $I_{6R} = \frac{I}{3} = 0{,}1$ ა, ზედაში კი – $I_{3R} = 2 \cdot \frac{I}{3} = 0{,}2$ ა დენი.

პასუხი: ქვედა ნათურაში გაივლის $I_{6R} = 0{,}1$ ა, ზედაში კი – $I_{3R} = 0{,}2$ ა დენი.

გ) • ძაბვა CD უბანზე: $U_{CD} = I \cdot R_{CD} = 0{,}3 \cdot 20 = 6$ (ვ).

ამ ძაბვის პოვნა შესაძლებელია თითოეულ ნათურაზე ომის კანონის გამოყენებითაც: $U_{CD} = \left(2 \cdot \frac{I}{3}\right) \cdot 3R = 0{,}2 \cdot 30 = 6$ (ვ).

პასუხი: U_{CD} = 6 ვ.

დ) • რადგანაც ზოგადად, მიმყვანი სადენებისა და ჩამრთველების წინაღობა უგულებელყოფილია, K ჩამრთველის ჩართვის შემთხვევაში C და D წერტილების პოტენციალები გათანაბრდება და ძაბვა CD უბანზე ნულს გაუტოლდება.

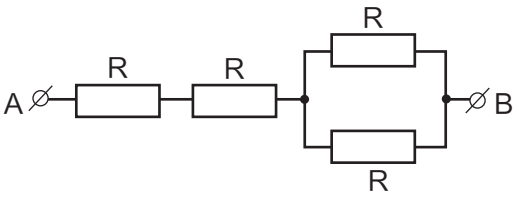
- U_{CD} = 0, შესაბამისად AC უბნიდან შემავალი დენი C წერტილიდან K ჩამრთველის გავლით სრულად გაივლის D წერტილში და შემდეგ DB უბანში – 3R და 6R წინაღობის ნათურებში დენი აღარ გაივლის (ისინი ჩაქრება).
- K ჩამრთველის ჩართვით CD უბანი წრედიდან „ამოვარდება“ (წრედის წინაღობაში წვლილს ვერ შეიტანს) და წრედში ჩართული აღმოჩნდება მხოლოდ კიდურა ნათურები.
- შესაბამისად, დენის ძალის მნიშვნელობა AB უბანში: $I = \frac{U_{AB}}{R+R} = \frac{12}{20} = 0,6$ (ა).
- ე.ი. დენის ძალა გაიზრდება $\Delta I_{AB} = 0,6 - 0,3 = 0,3$ (ა)-ით.

პასუხი: დენის ძალა გაიზრდება $\Delta I_{AB} = 0,3$ ა-ით.

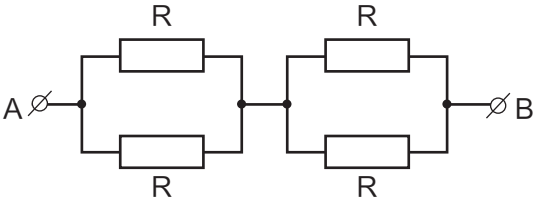
საშინაო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლია ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებული 10 კომი, 25 კომი და 50 კომი წინაღობების მქონე რეზისტორებით შედგენილი წრედის უბნის სრული წინაღობა?
2. რისი ტოლია ერთმანეთთან პარალელურად შეერთებული 10 კომი, 25 კომი და 50 კომი წინაღობების მქონე რეზისტორებით შედგენილი წრედის უბნის სრული წინაღობა?
3. წრედის უბანი ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებული 6 ერთნაირი ნათურისგან შედგება. რამდენჯერ შეიცვლება უბნის წინაღობა, თუ ექვსივე ნათურას ერთმანეთთან პარალელურად ჩავრთავთ?
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?
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. 1.11.7). რისი ტოლია AB უბნის წინაღობა?
6. წრედის AB უბანი R წინაღობის ოთხი ერთნაირი რეზისტორითაა შედგენილი – ერთმანეთთან პარალელურად შეერთებული ერთი წყვილი მიმდევრობითაა ჩართული მეორე, ასევე პარალელურად შეერთებულ წყვილთან (1.11.18). რისი ტოლია AB უბნის წინაღობა?

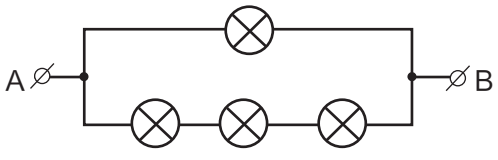


სურ. 1.11.17



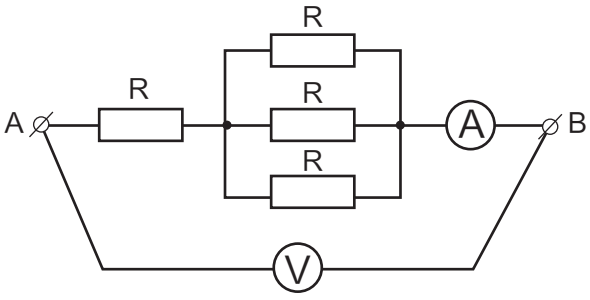
სურ. 1.11.18

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

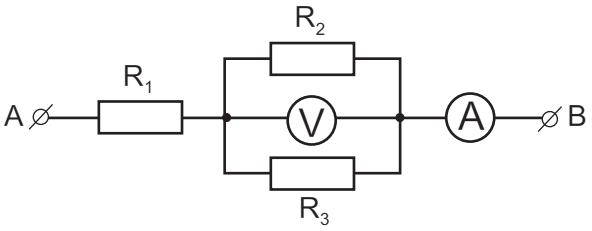
8. სურ. 1.11.20-ზე წარმოდგენილ სქემაში ვოლტმეტრის ჩვენება 24 ვ-ია, ამპერმეტრისა კი – 3 მა (ამპერმეტრი იდეალურია). დაადგინეთ R-ის მნიშვნელობა.



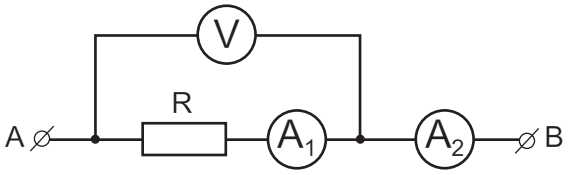
სურ. 1.11.20

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 $R_3 = 3R_2$.

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.



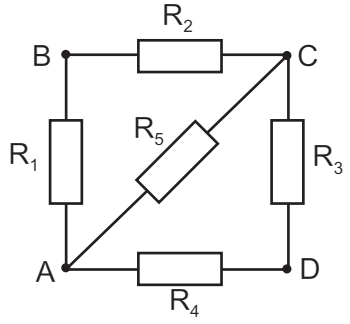
სურ. 1.11.21



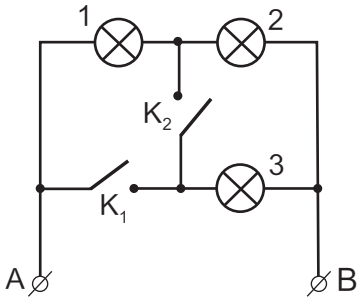
სურ. 1.11.22

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?

12*. 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?



სურ. 1.11.23



სურ. 1.11.24

1.12. დენის წყაროს ემძ. ომის კანონი სრული წრედისთვის

ყველას გვინახავს ელემენტი და აკუმულატორი, რომლის საშუალებითაც სხვადასხვა ელექტროხელსაწყოს ვამუშავებთ. მაგალითად, ელემენტზე მუშაობს პულტი, ფარანი, სათამაშოთა უმეტესობა. აკუმულატორის საშუალებით იქოქება ავტომობილი, ასევე აკუმულატორი უზრუნველყოფს ავტომობილში ელექტრომომხმარებლების მუშაობას. ყველა ელექტრომომხმარებელში დენის ხანგრძლივად არსებობისათვის საჭიროა მის ბოლოებს შორის ძაბვის შენარჩუნება. სწორედ ამისათვის გვჭირდება დენის წყაროები. **რა პროცესები მიმდინარეობს დენის წყაროებში? როგორ ქმნის დენის წყარო ძაბვას მის მომჭერებზე და დენს წრედში?** ამ შეკითხვებზე პასუხებს პარაგრაფის ბოლოს მიიღებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** როგორ ქმნის დენის წყარო მომჭერებზე ძაბვას და წრედში დენს;
- **გაეცნობით:** რა კანონზომიერებებს ემორჩილება დენის წყაროსა და მასთან ჩართულ წრედში მიმდინარე პროცესები;
- **შეგეძლებათ:** დაადგინოთ რა მიზეზით ხდება მოკლე ჩართვა და გააანალიზოთ, თუ როგორ არის შესაძლებელი მოკლე ჩართვით გამოწვეული საფრთხეების თავიდან არიდება;
- **შეგეძლებათ:** დაადგინოთ დენის წყაროსა და მის გარე წრედში დენის ძალა, ძაბვა სხვადასხვა უბანზე, შიგა და გარე წრედში განვითარებული სიმძლავრე.

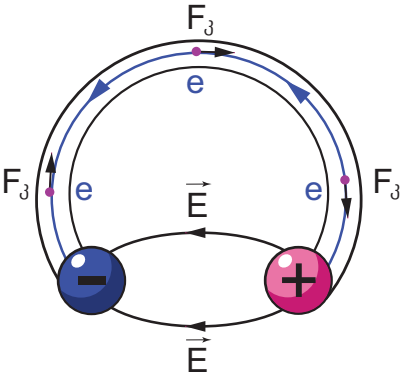
1.12.1. დენის წყარო

გაიხსენეთ, გამტარით ორი ერთნაირი, საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ბურთულას შეერთებისას, ამ გამტარში ელექტრული დენი გაივლის. ძალიან მოკლე დროში ბურთულები განიმუხტება, მათ შორის ძაბვა ნულს გაუტოლდება, გამტარში ელექტრული ველი გაქრება – ელექტრული დენი შეწყდება (სურ 1.12.1).

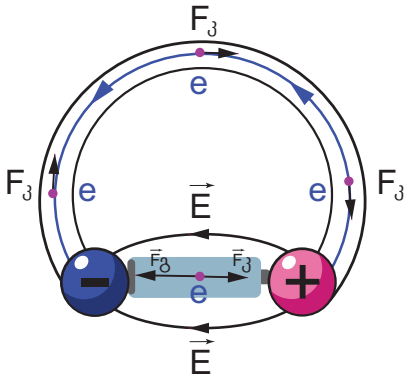
იმისთვის, რომ ელექტრონების მოძრაობა არ შეწყდეს, საჭიროა მოწყობილობა – დენის წყარო, რომელიც უარყოფითად დამუხტული ბურთულადან დადებითზე მოსულ ელექტრონს კვლავ უარყოფითად დამუხტულ ბურთულაზე გადაიტანს. ამისათვის საჭიროა დენის წყაროში ელექტრონებზე იმოქმედოს ძალამ, რომელიც ელექტრონზე ბურთულების მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალების საწინააღმდეგოდ იქნება მიმართული (დადებითი ბურთულიდან უარყოფითისკენ) და ცხადია, ის ელექტროსტატიკური ბუნებისა ვერ იქნება (სურ. 1.12.2).

ელექტროსტატიკური ძალების გარდა დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედ, სხვა ნებისმიერ ძალებს **გარე ძალებს** უწოდებენ.

როგორც უკვე იცით, გამტარში დენის გავლა მის გახურებას იწვევს – გამოიყოფა სითბო. ენერგიის ეს დანაკარგი ელექტროსტატიკური ველის მუშაობით ვერ შეივსება, რადგან ის პოტენციალური ველია, ანუ შეკრულ წრედში მუხტის შემოტარებისას ამ ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის



სურ. 1.12.1



სურ. 1.12.2

ტოლია. შესაბამისად, კულონური ძალების გარდა, წრედში აუცილებლად უნდა არსებობდეს მუხტებზე მოქმედი არაპოტენციალური ძალები. სწორედ ამ ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე გამოიყოფა წრედში სითბო.

განვიხილოთ დენის წყაროსთან მიერთებული მომხმარებელი. წრედის შეკვრისას ელექტრული დენი **სრულ წრედში** (დენის წყაროშიც და მომხმარებელშიც) გვექნება. **გარე წრედში** მუხტები მხოლოდ ელექტრული ველის მოქმედებით მოძრაობს, **შიგა წრედში (დენის წყაროში)** კი მუხტები გარე ძალების მოქმედებით ელექტრული ძალების საწინააღმდეგოდ მოძრაობს (სურ. 1.12.2).

გარე ძალები შეიძლება წარმოიქმნას ქიმიური პროცესების დროს, დროში ცვალებადი მაგნიტური ველით, სინათლის მოქმედებით და სხვა.

გარე ძალების მოქმედებას ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც **ელექტრომამოძრავებელ ძალას (ემძ)** უწოდებენ და აღნიშნავენ $\mathcal{E}$ ასოთი.

დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა ტოლია მასში მუხტის გადაადგილებისას გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტთან:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{გ}}{q}. \qquad (1)$$

განმარტების თანახმად, ძაბვის მსგავსად, ემძ-ის ერთეული SI-ში არის ვოლტი (ვ).

მიუხედავად იმისა, რომ ემძ და ძაბვა ერთსა და იმავე ერთეულებში იზომება, ისინი სხვადასხვა ფიზიკური სიდიდეებია. გარე ძალები არაპოტენციალურია და მათი მუშაობა დამოკიდებულია ტრაექტორიის ფორმაზე.



აკუმულატორი


ელემენტი



ელემენტი

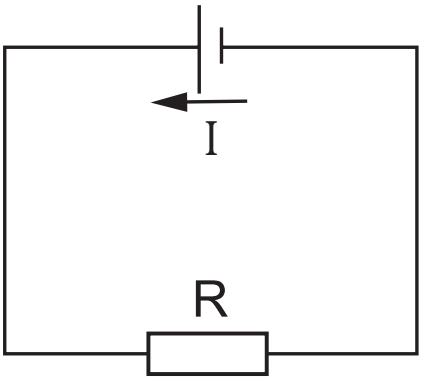


ელემენტი

1.12.2. ომის კანონი სრული წრედისთვის

განვიხილოთ უმარტივესი სრული წრედი (სურ. 1.12.3), რომელიც შედგება $\mathcal{E}$ ელექტრომამოძრავებელი ძალის მქონე დენის წყაროსაგან და R წინაღობის რეზისტორისაგან. მას წრედის **გარე წინაღობას** უწოდებენ. დენის წყაროს აქვს r წინაღობა, რომელსაც დენის წყაროს **შიგა წინაღობას** უწოდებენ. მაგალითად, აკუმულატორებში და გალვანურ ელემენტებში r არის ელექტროლიტის ხსნარისა და ელექტროდების წინაღობა.

კანონს, რომელიც ერთმანეთთან წრედში დენის ძალას, ემძ-სა და წრედის სრულ r + R წინაღობას აკავშირებს, უწოდებენ **ომის კანონს სრული წრედისათვის.** თუ ენერგიის მუდმივობისა და ჯოულ-ლენ-



სურ. 1.12.3

ცის კანონებს გამოვიყენებთ, ეს კავშირი შეიძლება თეორიულად დავადგინოთ.

ვთქვათ, გამტარის განივკვეთში t დროის შუალედში q მუხტი გადის. (1) ფორმულიდან მუხტის გადაადგილებაზე გარე ძალების მუშაობა ტოლია: $A_გ = \mathcal{E}q$. დენის ძალის განსაზღვრიდან გამომდინარეობს, რომ $q = It$, ამიტომ

$$A_გ = \mathcal{E}It. \qquad (2)$$

მე-8 კლასის ფიზიკის კურსიდან თქვენთვის ცნობილია, რომ გამტარში დენის გავლისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა პროპორციულია დენის ძალის კვადრატის, წინაღობისა და დენის გავლის დროის (ჯოულ-ლენცის კანონი). ამ კანონის თანახმად, სრულ წრედში გამოიყოფა სითბოს რაოდენობა:

$$Q = I^2Rt + I^2rt. \qquad (3)$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა სრულ წრედში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლია: $A_გ = Q$, ამიტომ (2) და (3) ფორმულების გათვალისწინებით გვექნება:

$\mathcal{E}It = I^2Rt + I^2rt$, საიდანაც $\mathcal{E} = IR + Ir$. (4)

დენის ძალის ნამრავლს უბნის წინაღობაზე ამ უბანზე ძაბვის ვარდნას უწოდებენ.

შესაბამისად, $U = IR$ არის ძაბვის ვარდნა გარე წრედზე, ხოლო $U_0 = Ir$ – ძაბვის ვარდნა შიგა წრედზე. ძაბვის ვარდნა გარე წრედში ტოლია წყაროს მომჭერებს შორის პოტენციალთა სხვაობის (ძაბვის). შიგა წრედში ძაბვის ვარდნა არ არის მომჭერებს შორის პოტენციალთა სხვაობის ტოლი, რადგანაც ამ უბანზე ელექტროსტატიკურ ძალებთან ერთად მოქმედებს გარე ძალებიც.

ამრიგად, **დენის წყაროს ემძ ტოლია შეკრული წრედის გარე და შიგა უბნებზე ძაბვის ვარდნების ჯამის:**

$$\mathcal{E} = U + U_0. \qquad (5)$$

თუ (4) ფორმულიდან დენის ძალას გამოვსახავთ, მივიღებთ:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r+R}. \qquad (6)$$

მე-(6) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ: **დენის ძალა სრულ წრედში დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის წრედის სრულ წინაღობასთან ფარდობის ტოლია.**

ამ დებულებას უწოდებენ **ომის კანონს სრული წრედისათვის.**

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ ჩაატაროთ სადემონსტრაციო სამუშაო ომის კანონის (სრული წრედისათვის) შესამოწმებლად:



ახალი ტერმინები:

დენის წყარო;
სრული წრედი;
გარე წრედი;
შიგა წრედი;
შიგა წინაღობა;
გარე წინაღობა;
ელექტრომამოძრავებელი ძალა;
მოკლე ჩართვა.

(4) ფორმულიდან ჩანს, რომ თუ წრედის გარე წინაღობა ბევრად დიდია დენის წყაროს შიგა წინაღობაზე (r<<R), მაშინ შეიძლება დავწეროთ: $\mathcal{E} \approx IR$. ვინაიდან $IR = U$, ამიტომ, $\mathcal{E} \approx U$. ე.ი. დენის წყაროს ემძ კარგი მიახლოებით ძალიან დიდ გარე წინაღობაზე ძაბვის ვარდნის ტოლია. სწორედ ამიტომ, დენის წყაროს ემძ-ის გასაზომად, მის პოლუსებს ძალიან დიდი წინაღობის მქონე ვოლტმეტრს უერთებენ (სურ. 1.12.4).



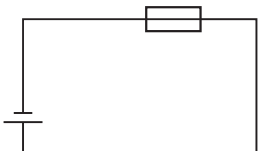
სურ. 1.12.4

1.12.3. მოკლე ჩართვა

როდესაც გარე წინაღობა ძალიან მცირეა ($R \to 0$), მაშინ შიგა წინაღობის სიმცირის გამო დენის ძალამ წრედში შეიძლება ძალიან დიდ მნიშვნელობებს მიაღწიოს. ასეთ შემთხვევას **მოკლე ჩართვას** უწოდებენ. მოკლე ჩართვის დენის ძალისთვის გვექნება:

$$I_{მჩ} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

მოკლე ჩართვის დროს სადენები შეიძლება ძალიან გაცხელდეს, მათი იზოლაცია აალდეს. ასეთი შემთხვევების თავიდან ასაცილებლად ქსელში რთავენ მცველებს (სურ. 1.12.5), რომლებშიც დენის ძალის დასაშვებზე მეტი მნიშვნელობების დროს წვრილი მავთული დნება და წრედი ითიშება. სქემატურად მცველის აღნიშვნა ნაჩვენებია სურ. 1.12.6-ზე. ახლა, როგორც წესი, ელექტრომაგნიტური ავტომატური ჩამრთველები გამოიყენება. სურ.1.12.7-ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა სახის მცველები.



სურ. 1.12.5



სურ. 1.12.6



სურ. 1.12.7

საკლასო აქტივობა

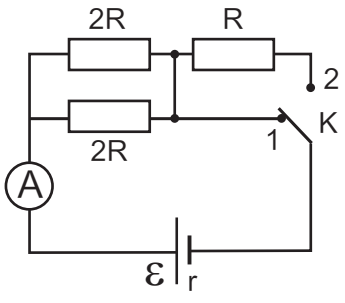
ამოხსენით ამოცანა:

სურათ 1.12.8-ზე წარმოდგენილ წრედში $R = 45$ ომი. K გადამრთველის პოზიცია 1-ში ყოფნისას ამპერმეტრი 760 მა დენს აჩვენებს, პოზიცია 2-ში გადართვისას კი – 400 მა-ს (ამპერმეტრი იდეალურია).

ა) ამ მონაცემებით დაადგინეთ დენის წყაროს ემძ და შიგა წინაღობა.

ბ) რამდენით შეიცვალა ძაბვის მნიშვნელობა წრედის გარე უბანზე (დენის წყაროს მომჭერებზე) მეორე შემთხვევაში პირველთან შედარებით? „უცნაური“ ხომ არ გეჩვენებათ?

გ) რისი ტოლია მოკლე ჩართვის დენი ამ დენის წყაროსთვის?



სურ. 1.12.8

უპასუხეთ კითხვებს

1. რატომ არის წრედში აუცილებელი გარე ძალების არსებობა?
2. რა არის შიგა წრედი? გარე წრედი? სრულ წრედი?

3. რისი ტოლია წრედის შიგა და გარე უბნებზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობათა ჯამი?
4. რას უწოდებენ მოკლე ჩართვას?
5. რა პრინციპზეა დამყარებული დნობადი მცველის მუშაობა?

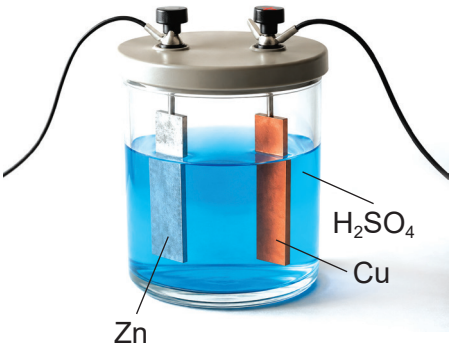
რა ვისწავლეთ

- **ელექტროსტატიკური ძალების გარდა, წრედში დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედ სხვა ნებისმიერ ძალებს გარე ძალებს უწოდებენ;**
- **დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა ტოლია მასში მუხტის გადაადგილებისას გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტთან:** $\mathcal{E} = \frac{A_გ}{q}$;
- **ელექტრომამოძრავებელი ძალის ერთეული SI-ში არის 1 ვოლტი;**
- **დენის ძალის ნამრავლს უბნის წინაღობაზე ამ უბანზე ძაბვის ვარდნას უწოდებენ;**
- **დენის წყაროს ემძ ტოლია შეკრული წრედის გარე და შიგა უბნებზე ძაბვის ვარდნების ჯამის:** $\mathcal{E} = U + U_0$;
- **დენის ძალა სრულ წრედში დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის წრედის სრულ წინაღობასთან ფარდობის ტოლია:** $I = \frac{\mathcal{E}}{r+R}$;
- **დენის წყაროს ემძ კარგი მიახლოებით ძალიან დიდ გარე წინაღობაზე ძაბვის ვარდნის ტოლია:** $\mathcal{E} \approx U$;
- **მოკლე ჩართვის დენის ძალა გამოითვლება ფორმულით:** $I_{მჩ} = \frac{\mathcal{E}}{r}$.

კიდევ რა შეიძლება ვიცოდეთ

გალვანური ელემენტი

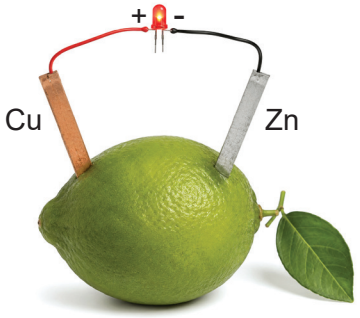
განვიხილოთ დენის წყაროს – გალვანური ელემენტის მოქმედების პრინციპი. მასში გარე ძალები ქიმიური პროცესის შედეგად წარმოიქმნება. ვოლტას მიერ შექმნილი გალვანური ელემენტი შედგება გოგირდმჟავას ხსნარში ჩაშვებული სპილენძისა და თუთიის ფირფიტების – ელექტროდებისაგან (სურ. 1.12.9). თუთია მჟავაში იხსნება და ხსნარში თუთიის დადებითი იონები გადადის. შედეგად, თუთიის ელექტროდი უარყოფითად იმუხტება. სპილენძი გოგირდმჟავაში ძალიან ცუდად იხსნება, ამიტომ თუთიისა და სპილენძის ელექტროდებს შორის წარმოიქმნება პოტენციალთა სხვაობა, რაც შეკრულ წრედში დენს უზრუნველყოფს.



სურ. 1.12.9



ანალოგიური დენის წყაროს დამზადება სახლშიც შეგიძლიათ ერთი ან რამდენიმე ლიმონის გამოყენებით (სურ. 1.12.10).

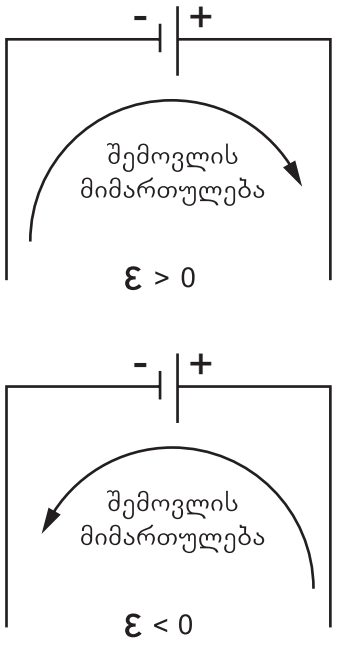


სურ. 1.12.10

დენის წყაროების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

ხშირად საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების დენის წყაროდ გამოიყენება რამდენიმე ელემენტი. ამ ელემენტებს ერთმანეთთან გარკვეული წესით – მიმდევრობით ან პარალელურად აერთებენ.

განვიხილოთ წრედი, რომელიც მიმდევრობით შეერთებულ დენის წყაროს რამდენიმე ელემენტს შეიცავს. რადგან ელექტრომამოძრავებელი ძალა კუთრი მუშაობაა, ანუ ერთეულოვანი მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობა, ამიტომ ის სკალარული სიდიდეა, რომელიც შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. დენის წყაროს ემძ-ის ნიშანი დამოკიდებულია ელექტრული წრედის იმ უბნის შემოვლის მიმართულების არჩევაზე, რომელშიც მოცემული დენის წყაროა ჩართული. შემოვლის მიმართულება შეიძლება ავირჩიოთ ნებისმიერად. თუ არჩეული მიმართულებით შემოვლისას დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან დადებითზე გადავდივართ, მაშინ გარე ძალები დადებით მუშაობას ასრულებს და ამ დენის წყაროს $\mathcal{E} > 0$. თუ შემოვლისას დადებითი პოლუსიდან უარყოფითზე გადავდივართ, მაშინ გარე ძალები უარყოფით მუშაობას ასრულებს და ამ დენის წყაროს $\mathcal{E} < 0$ (სურ. 1.12.11).



სურ. 1.12.11

როდესაც წრედი რამდენიმე მიმდევრობით შეერთებულ დენის წყაროს ელემენტს შეიცავს, მაშინ წრედის სრული ემძ ტოლია თითოეული ელემენტის ემძ-ის ალგებრული ჯამის:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \ldots + \mathcal{E}_n.$$

მაგალითად, სურ. 1.12.12-ზე გამოსახულ წრედში, თუ შემოვლის მიმართულებად საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებას ავირჩევთ, მაშინ $\mathcal{E}_1 > 0$, $\mathcal{E}_2 < 0$ და $\mathcal{E}_3 > 0$. ამიტომ

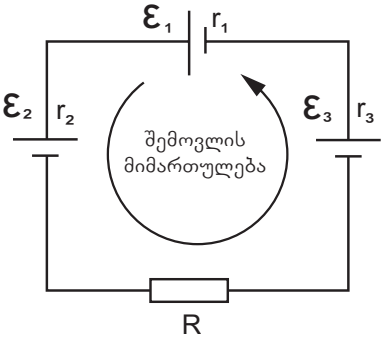
$$\mathcal{E} = |\mathcal{E}_1| - |\mathcal{E}_2| + |\mathcal{E}_3|.$$

თუ სრული ემძ დადებითია $\mathcal{E} > 0$, ეს ნიშნავს, რომ არჩეული შემოვლის მიმართულება წრედში დენის მიმართულებას ემთხვევა, ხოლო თუ $\mathcal{E} < 0$ – დენი არჩეული მიმართულების საპირისპიროა.

მიმდევრობით შეერთებულ ელემენტთა ბატარეის სრული შიგა წინაღობა თითოეული ელემენტის შიგა წინაღობების ჯამის ტოლია:

$$r = r_1 + r_2 + \ldots + r_n.$$

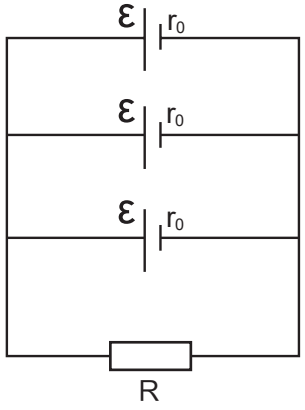
ტელევიზორის პულტსა ან ჯიბის ფარანში ელემენტებს მიმდევრობით ისე ვრთავთ, რომ ყველა მათგანის ემძ ერთი ნიშნისაა. თუ სათამაშო ავტომო-



სურ. 1.12.12

ბილის ბატარეაში ოთხ ცალ 1,5 ვ ემძ-ის მქონე ელემენტს მიმდევრობით შევაერთებთ, ბატარეის ემძ 6 ვ იქნება. ე.ი. ელემენტების მიმდევრობითი შეერთებით შეგვიძლია, გავზარდოთ ძაბვა მომხმარებელზე.

ერთნაირი ემძ-ის მქონე დენის წყაროების ერთი და იმავე პოლარობით პარალელური შეერთებისას (სურ. 1.12.13), ბატარეის ემძ ერთი ელემენტის ემძ-ის ტოლია. თუ არჩეული ელემენტებიდან ყველას ერთნაირი r_0 წინაღობა ექნებოდა, ბატარეის შიგა წინაღობა პარალელური შეერთების წესით გამოითვლება: $r = \frac{r_0}{3}$. ელემენტების პარალელურ შეერთებას ძირითადად წრედში დენის ძალის გასაზრდელად იყენებენ.



სურ. 1.12.13

როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანა

100 ომი წინაღობის ვოლტმეტრის აკუმულატორთან მიერთებისას ვოლტმეტრის ჩვენება 21 ვ-ია, ხოლო 200 ომი წინაღობის ვოლტმეტრის მიერთებისას კი – 22 ვ (სურ. 1.12.14).

ა) დაადგინეთ აკუმულატორის ემძ და შიგა წინაღობა.

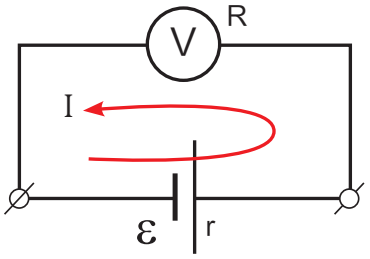
ბ) რისი ტოლია ამ აკუმულატორის მოკლე ჩართვის დენი?

გ) რა სიმძლავრე განვითარდება ამ აკუმულატორის გარე წრედში, თუ მას სამ ერთნაირ პარალელურად ჩართულ 60 ომი წინაღობის ნათურას მივუერთებთ?

ამოხსნა:

მოც.: $R_1 = 100$ ომი; $U_1 = 21$ ვ;
$R_2 = 200$ ომი; $U_2 = 22$ ვ;
$R' = 60$ ომი.

უ.ვ.: ა) $\mathcal{E} = ?$ $r = ?$
ბ) $I_{მ.ჩ} = ?$
გ) $P = ?$



სურ. 1.12.14

ა) • ძაბვა აკუმულატორის მომჭერებზე (ვოლტმეტრის ჩვენება): $U = I \cdot R$, ვოლტმეტრში გამავალი დენი კი წრედის სრული დენია: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$.

• შესაბამისად $U = \frac{\mathcal{E} \cdot R}{R+r}$. აქედან გამომდინარე: $\mathcal{E} \cdot R = U \cdot (R + r)$.

• ჩავწეროთ ეს განტოლება ორივე შემთხვევისთვის: $100\mathcal{E} = 21 \cdot (100 + r)$ (1). $200\mathcal{E} = 22 \cdot (200 + r)$ (2). შევკვეცოთ 2-ზე. მივიღებთ: $100\mathcal{E} = 11 \cdot (200 + r)$.

• (2) გავუტოლოთ (1)-ს: $21 \cdot (100 + r) = 11 \cdot (200 + r)$. აქედან: $10r = 100$, $r = 10$ ომი.

• მიღებული შედეგი ჩავსვათ (1)-ში. მივიღებთ: $100\mathcal{E} = 21 \cdot (100 + 10)$, $\mathcal{E} = 23{,}1$ ვ.

პასუხი: $\mathcal{E} = 23{,}1$ ვ; $r = 10$ ომი.

ბ) • მოკლე ჩართვის დენი: $I_{მ.ჩ} = \frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{23{,}1}{10} = 2{,}31$ (ა).

პასუხი: $I_{მ.ჩ} = 2{,}31$ ა.

გ) • სამი პარალელურად შეერთებული ნათურის აკუმულატორთან მიერთებისას გარე წინაღობა $R_{გარე} = \frac{R'}{3} = 20$ ომი.

• დენის ძალა წრედში $I' = \frac{\varepsilon}{R_{გარე} + r} = \frac{23,1}{20+10} = 0,77$ (ა).

• შესაბამისად, გარე წრედში განვითარებული სიმძლავრე $P = (I')^2 \cdot R_{გარე} = 11,858$ ვტ.

პასუხი: P = 11,858 ვტ.

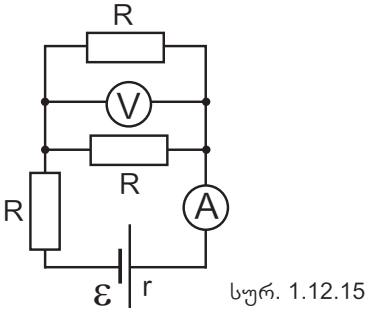
საშინაო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

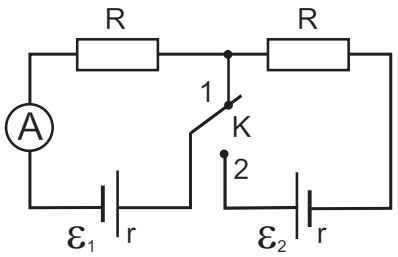
1. ε = 12ვ ემძ-ს და r = 2 ომი შიგა წინაღობის დენის წყაროსთან მიერთებულია R = 22 ომი წინაღობის რეზისტორი. რისი ტოლია:
   ა) დენის ძალა რეზისტორში?
   ბ) დენის ძალა დენის წყაროში?
   გ) ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებს შორის?
2. რისი ტოლია 2 ომი შიგა წინაღობის მქონე დენის წყაროს ემძ, თუ მოკლე ჩართვის დენი 5 ა-ია?
3. რისი ტოლია 9 ვ ემძ-ის მქონე ელემენტის შიგა წინაღობა, თუ მასთან 440 ომი წინაღობის რეზისტორის შეერთებისას წრედში 20 მა დენი გადის?
4. რა წინაღობაა მიერთებული 12 ვ ემძ-ის და 20 ომი შიგა წინაღობის მქონე აკუმულატორის მომჭერებზე, თუ დენის ძალა წრედში 40 მა-ია?
5. შეკრული წრედის გარე წინაღობა 200 ომია, შიგა წინაღობა კი 40 ომი. რისი ტოლია დენის წყაროს ემძ, თუ ძაბვა მის მომჭერებს შორის 40 ვ-ია.
6. დენის წყაროს შიგა წინაღობა r-ის ტოლია. რა წინაღობა უნდა ჩავრთოთ გარე წრედში, რომ გარე წრედში განვითარებული სიმძლავრე სრულ წრედში განვითარებული სიმძლავრის 80% აღმოჩნდეს?
7. აკუმულატორი პირველ შემთხვევაში შეუერთეს 8R, მეორე შემთხვევაში კი 18R წინაღობის რეზისტორებს. რისი ტოლია აკუმულატორის შიგა წინაღობა, თუ ორივე შემთხვევაში გარე წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე ერთნაირია.
8. 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.

9*. 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.

10*. 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?



სურ. 1.12.15



სურ. 1.12.16

1.13. ელექტრული დენი ლითონებსა და სითხეებში. ელექტროლიზის მოვლენა

ცნობილია, რომ ლითონები დენის კარგი გამტარებია. დენს ასევე კარგად ატარებს მარილთა ხსნარები. ალბათ უკვე იცით, რომ სველი ხელით ელექტროხელსაწყოს ელექტრულ ქსელში ჩართვა სახიფათოა, რადგან შესაძლოა ხელზე არსებულმა წყალმა დენი გაატაროს (სურ. 1.13.1).

რატომ გადის სითხეში დენი? რომელ დამუხტულ ნაწილაკებს გადააქვთ მუხტი სხვადასხვა გარემოში დენის გავლისას? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

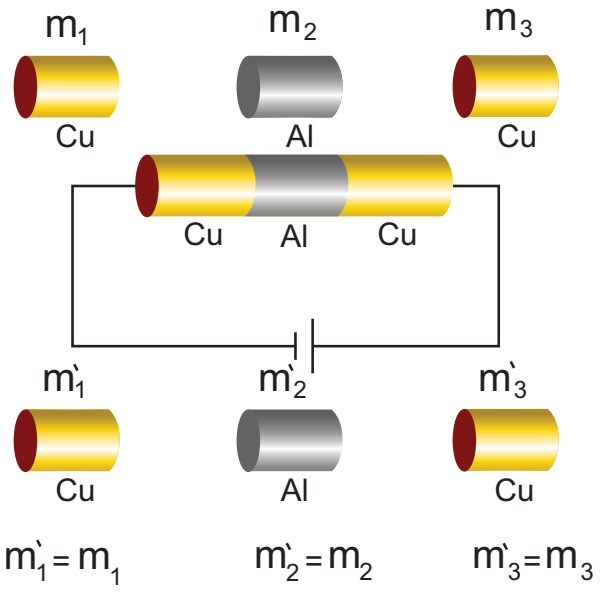
- **გაიაზრებთ:** რატომ გადის დენი ლითონებსა და სითხეებში;
- **ისწავლით:** რომელი ნაწილაკების საშუალებით გადის დენი ლითონებში და სითხეებში;
- **გეცოდინებათ:** როგორ იყენებენ სითხეში დენის გავლის მოვლენას მრეწველობაში: მოოქროვება, მოვერცხვლა, ლითონების კოროზიისგან დაცვა, ლითონებზე ჟანგის მოცილება და ა.შ.



სურ. 1.13.1

1.13.1. დენი ლითონებში

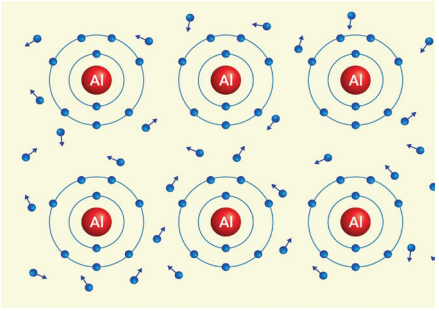
1901 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა კარლ რიკემ ჩაატარა შემდეგი ცდა: გამტარში, რომელიც შედგებოდა სამი კარგად გაპრიალებული და ერთმანეთზე მჭიდროდ მიდებული სპილენძის, ალუმინის და სპილენძის ცილინდრებისგან (სურ. 1.13.2), ერთი წლის განმავლობაში ატარებდა ერთი მიმართულების დენს. დროის ამ შუალედში ცილინდრებში ძალიან დიდმა – დაახლოებით $3{,}5 \cdot 10^6$ კ მუხტმა გაიარა. ცდის დასრულების შემდეგ დაფიქსირდა ლითონების ურთიერთშეღწევის უმნიშვნელო კვალი, რომელიც მყარ სხეულებში ჩვეულებრივი დიფუზიის შედეგებს არ აღემატებოდა.



სურ. 1.13.2

ძალიან დიდი სიზუსტით ჩატარებულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ თითოეული ცილინდრის მასა უცვლელი დარჩა, მაშასადამე, **ლითონში დენის გავლისას ნივთიერების გადატანა არ ხდებოდა.**

გავიხსენოთ ლითონის აგებულება: ლითონის ატომებში სავალენტო ელექტრონი ბირთვთან სუსტად არის დაკავშირებული, ადვილად ტოვებს ატომს და გადადის თავისუფალ მდგომარეობაში (სურ. 1.13.3). თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია ლითონებში ძალიან დიდია, დაახლოებით 10^{28} $მ^{-3}$ რიგისაა. ასევე დიდია იონების კონცენტრაცია, მაგრამ მუხტი რომ იონებს გადაეტანა, ცილინდრების მასები საგრძნობლად შეიცვლებოდა, რადგანაც ალუმინისა და სპილენძის ატომების მასები ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება.



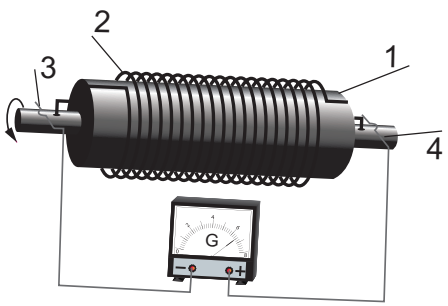
სურ. 1.13.3

ამ შედეგების გაანალიზებით რიკემ დაასკვნა – ლითონებში მუხტი იონებს არ გადააქვს და ივარაუდა, რომ მუხტის გადამტანი ნაწილაკები ალუმინში და სპილენძში ერთნაირია. ცნობილია, რომ ასეთ ნაწილაკებს ყველა ნივთიერების ატომი შეიცავს და ისინი ელექტრონებია.

რიკეს ვარაუდი 1916 წელს ამერიკელი მეცნიერების – თომას დეილ სტიუარტისა და რიჩარდ ჩეის ტოლმენის მიერ ჩატარებული ცდებით დამტკიცდა.

ცდის იდეა ასეთი იყო: თუ ლითონის გამტარს ავამოძრავებთ და შემდეგ უცებ დავამუხრუჭებთ, თავისუფალმა ელექტრონებმა ინერციით უნდა გააგრძელონ მოძრაობა და შესაბამისად, გამტარში ხანმოკლე ელექტრული დენი უნდა დაფიქსირდეს.

სტიუარტისა და ტოლმენის დანადგარი შედგებოდა არაგამტარი ნივთიერებისგან დამზადებულ ცილინდრზე (1) დახვეული მავთულისგან (2), რომლის ბოლოები ლითონის ცილინდრებზე (3,4) იყო მირჩილული. (3,4) ცილინდრები უძრავად იყო დამაგრებული (1) ცილინდრზე. მოსრიალე კონტაქტების საშუალებით ცილინდრები მიერთებული იყო მგრძნობიარე გალვანომეტრთან (გალვანომეტრი – ელექტროსაზომი ხელსაწყო, რომელიც გამოიყენება დენის ძალის, ძაბვის და ელექტრული მუხტის მცირე მნიშვნელობების გასაზომად) (სურ. 1.13.4). კოჭას დიდი სიჩქარით ატრიალებდნენ და შემდეგ მკვეთრად ამუხრუჭებდნენ. ამ დროს გალვანომეტრის ისარი გადაიხრებოდა, რაც ხანმოკლე დენის წარმოქმნაზე მიანიშნებდა. ისრის გადახრის მიმართულებით დადგინდა, რომ დენი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობით იყო გამოწვეული.

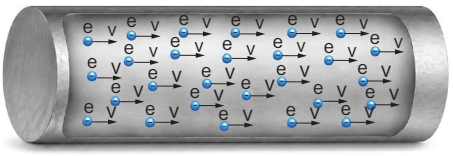


სურ. 1.13.4

გალვანომეტრში გასული მუხტის გაზომვით, კოჭაზე დახვეული გამტარის მონაცემებითა და დამუხ-

რუჭებამდე კოჭას ბრუნვის სიჩქარით გამოთვალეს დენის შემქმნელი ნაწილაკების მუხტის მასასთან შეფარდება – q/m. მიღებული შედეგი ელექტრონის მუხტის მის მასასთან შეფარდების მნიშვნელობას დაემთხვა:

$$\frac{e}{m} = 1{,}8 \cdot 10^{11}\ \text{კ/კგ}.$$

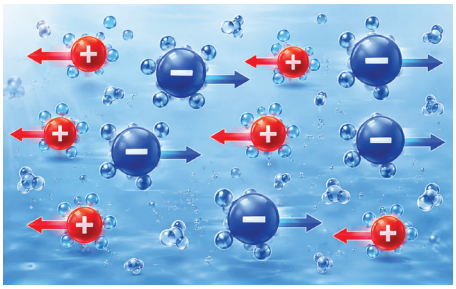


სურ. 1.13.5

ამრიგად დადასტურდა, რომ ელექტრული დენი ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა, ანუ ლითონებს **ელექტრონული გამტარობა** ახასიათებს (სურ. 1.13.5).

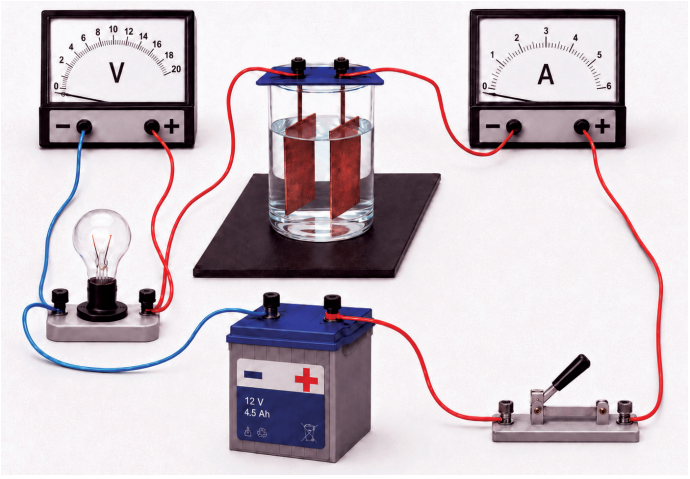
1.13.2. დენი სითხეებში

მყარი ლითონებისაგან განსხვავებით ზოგიერთ გამტარში დენის გავლა ქიმიურ ცვლილებებს იწვევს და ნივთიერებაც გადაიტანება (სურ. 1.13.6). ასეთებია მარილების, მჟავების, ტუტეების ხსნარები და მათი ნადნობები. ამ ნივთიერებებს **ელექტროლიტებს** უწოდებენ. როგორია ელექტრული დენის ბუნება ელექტროლიტებში?



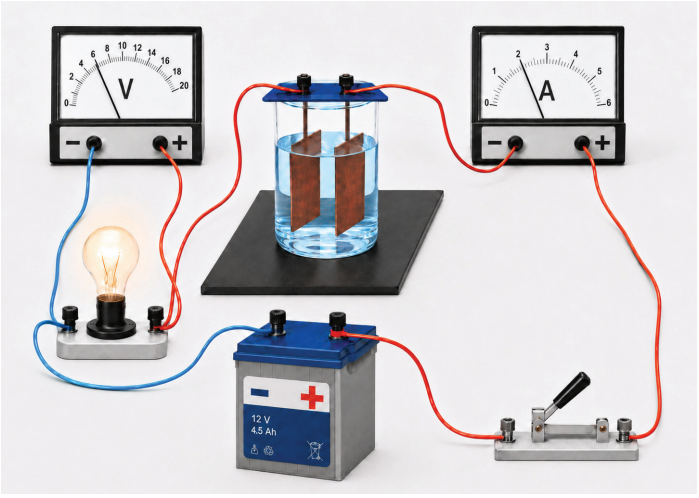
სურ. 1.13.6

განვიხილოთ ცდა: ავაწყოთ ელექტრული წრედი, რომელიც შედგება დენის წყაროს, ნათურის, ჩამრთველის და აბაზანისგან, რომელშიც გამოხდილი წყალია ჩასხმული. აბაზანაში ჩაშვებულია ნახშირის ან ლითონის ორი ელექტროდი: უარყოფითად დამუხტული კათოდი და დადებითად დამუხტული ანოდი (სურ. 1.13.7). წრედში მიმდევრობით ჩავრთოთ ამპერმეტრი, ხოლო ნათურას მივუერთოთ ვოლტმეტრი. ჩამრთველით წრედის შეკვრისას ნათურა არ გაანათებს. ამის მიზეზი ისაა, რომ გამოხდილი წყალი დიელექტრიკია, მასში მუხტის გადამტანი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები არ არის.



სურ. 1.13.7

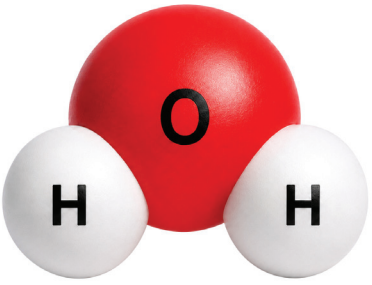
წყალს რაიმე მარილი, მაგალითად, სუფრის მარილი (NaCl) დავამატოთ. წრედში დენი გაივლის, რაზეც ანთებული ნათურა, ასევე ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენებები მიგვანიშნებს (სურ. 1.13.8). მაშასადამე, მარილის წყალხსნარი ელექტრული დენის გამტარია, ანუ გამოხდილ წყალში ნატრიუმის ქლორიდის გახსნით მასში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები გაჩნდა. როგორია მათი წარმოქმნის მექანიზმი?



სურ. 1.13.8

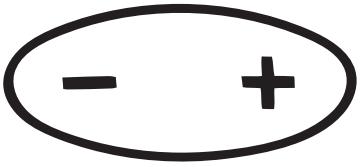
ვირტუალურ ლაბორატორიაში თქვენ შეძლებთ დააკვირდეთ ელექტროლიტურ აბაზანაში დენის გავლას:

გავიხსენოთ წყლის მოლეკულის აგებულება. ის შედგება წყალბადის ორი და ჟანგბადის ერთი ატომისგან (სურ. 1.13.9). ჟანგბადისა და წყალბადის განსხვავებული ელექტროუარყოფითობის გამო, წყლის მოლეკულას ელექტრული ასიმეტრია ახასიათებს – უარყოფითი მუხტი წანაცვლებულია ჟანგბადის ატომისაკენ, დადებითი კი – წყალბადის ატომებისაკენ. ამიტომ წყლის მოლეკულა პოლარული მოლეკულაა. ასეთ მოლეკულებს **დიპოლებს** (ორპოლუსას) უწოდებენ (სურ. 1.13.10).



სურ.1.13.9

სუფრის მარილის მოლეკულაც შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც დიპოლი, რომელიც წარმოიქმნება დადებითად დამუხტული Na^+-ის იონისა და უარყოფითად დამუხტული Cl^--ის იონის ურთიერთქმედებით. ნატრიუმის ქლორიდის წყალში გახსნისას მისი მოლეკულები წყლის მოლეკულების „ალყაში“ აღმოჩნდება: NaCl-ის დიპოლის ელექტრული ველის ზეგავლენით Na^+ იონისაკენ წყლის დიპოლები უარყოფითი პოლუსით მოტრიალდება, Cl^- იონისაკენ კი – დადებითი პოლუსით. წყლის



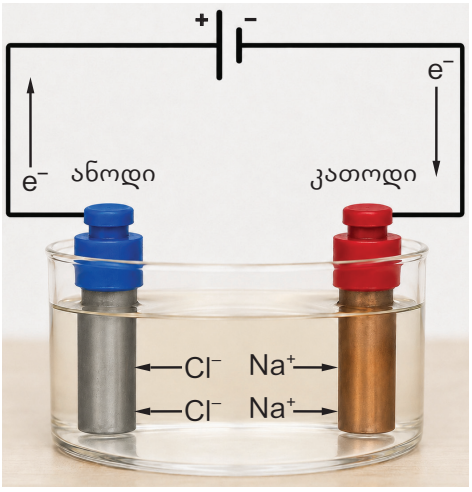
სურ. 1.13.10

მოლეკულების ასეთი განლაგება NaCl-ის მოლეკულას იმდენად გაწელავს, რომ სითბური მოძრაობისას მცირე დაჯახებაც კი მის რღვევას გამოიწვევს. შედეგად, სუფრის მარილის მოლეკულების ნაწილი Na^+ და Cl^- იონებად დაიშლება (სურ. 1.13.11).

წყლის (გამხსნელის) პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით ელექტროლიტის მოლეკულების იონებად დაშლას, ელექტროლიტური დისოციაცია ეწოდება.

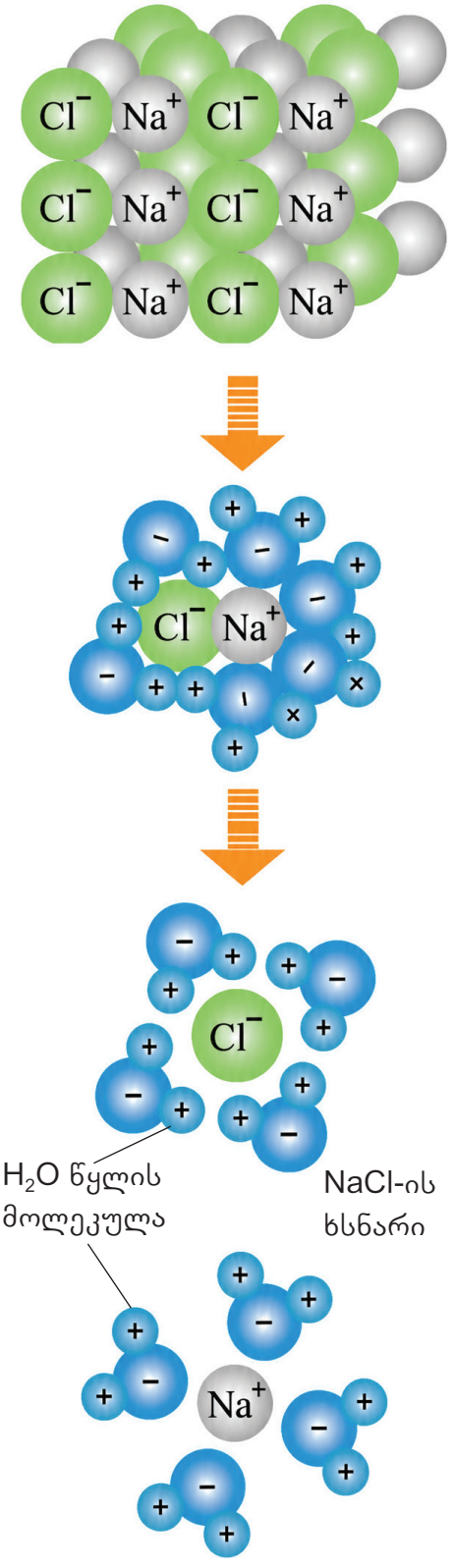
გარე ელექტრული ველის არარსებობის დროს ხსნარის იონები და დაუშლელი მოლეკულები სითბურ, ქაოსურ მოძრაობაშია. თუ ელექტროლიტის ხსნარიან აბაზანას ელექტრულ წრედში ჩავრთავთ, ელექტროდებს შორის ელექტრული ველი აღიძვრება და იონები მიმართულ მოძრაობას დაიწყებენ. დადებითი იონები ამოძრავდება ველის მიმართულებით, ანუ კათოდისაკენ, ამიტომ მათ **კათიონებს** უწოდებენ. უარყოფითი იონები ამოძრავდება ველის საპირისპირო მიმართულებით ანოდისაკენ, ამიტომ მათ **ანიონებს** უწოდებენ (სურ. 1.13.12).

მიაღწევს რა ანოდს, უარყოფითი იონები თავის ზედმეტ ელექტრონებს მას გადასცემს, ანოდიდან კი ელექტრონები სადენის საშუალებით დენის წყაროს დადებით პოლუსს გადაეცემა. ასევე, დადებითი იონები კათოდიდან და, შესაბამისად, დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან ელექტრონების დანაკლისს შეივსებს. ასე მიიღწევა ელექტრონების მოძრაობა გარე წრედში დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან დადებითი პოლუსისკენ (1.13.12). ამ დროს ელექტროლიტის ხსნარში მუხტი გადაიტანება ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების –



სურ. 1.13.12

NaCl სუფრის მარილის კრისტალი



სურ. 1.13.11

იონების საშუალებით. ელექტროლიტურ ნადნობებშიც მუხტის გადამტანები იონებია, რადგან მყარი ელექტროლიტების დნობისას მათი მოლეკულები დადებით და უარყოფით იონებად იშლება.

ელექტროგამტარობას ელექტროლიტების ხსნარებში ან ნადნობებში, რომელიც იონებით ხორციელდება, იონური გამტარობა ეწოდება.

სითხეებში შეიძლება ელექტრონული გამტარობაც გვქონდეს. მაგალითად, ასეთი გამტარობა აქვს თხევად ლითონებს.

ელექტროლიტის ხსნარში დენის გავლისას ანიონი, გასცემს რა ზედმეტ ელექტრონებს (ჟანგვის რეაქცია), შესაბამისი ნივთიერება სუფთა სახით გამოიყოფა ანოდზე, ხოლო კათიონი, შეივსებს რა ელექტრონების დანაკლისს (აღდგენითი რეაქცია), შესაბამისი ნივთიერება სუფთა სახით გამოიყოფა კათოდზე. ამრიგად, ხსნარში ელექტრული დენის გავლისას, ელექტროდებზე ელექტროლიტის შემადგენლობაში შემავალი ნივთიერებები გამოიყოფა.

ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფის პროცესს, რომელიც ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებთანაა დაკავშირებული, ელექტროლიზი ეწოდება.

ელექტროლიზს ფართოდ იყენებენ ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნიკაში: სხვადასხვა ნაკეთობების ლითონის თხელი ფენით დასაფარად (მოოქროვება, მოვერცხვლა, მოქრომვა, მონიკელება და სხვა), სხვადასხვა მადნიდან სუფთა ლითონების გამოსაყოფად (ნატრიუმი, კალიუმი, მაგნიუმი, კალა, ნიკელი და ა.შ.), გამდინარე წყლების გასასუფთავებლად, დიალიზისთვის (ხელოვნური თირკმლის მუშაობა) და სხვა.

ვირტუალურ ლაბორატორიაში თქვენ შეძლებთ დააკვირდეთ ელექტროლიტურ აბაზანაში დენის გავლას:



ახალი ტერმინები:

ელექტრონული გამტარობა;

ელექტროლიტი;

ელექტროლიტური დისოციაცია;

დიპოლი;

ანიონი;

კათიონი;

ანოდი;

კათოდი;

ელექტროლიზი.

საკლასო აქტივობა

ჩავატაროთ ცდა:



ელექტროლიტურ აბაზანაში ჩავუშვათ ორი ელექტროდი. ელექტროდებზე მიერთებული სადენებით, ამპერმეტრით, ჩამრთველ-ამომრთველით და რეგულირებადი მუდმივი ძაბვის წყაროთი შევადგინოთ წრედი ისე, რომ ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი კომპონენტი ერთმანეთთან მიმდევრობით იყოს შეერთებული.

ა) თავდაპირველად აბაზანაში ჩავასხათ გამოხდილი წყალი. ჩავრთოთ ჩამრთველი და დავაკვირდეთ ამპერმეტრის ჩვენებას, გაივლის თუ არა დენი წრედში (ახსენით შემჩნეული ფაქტი).

ბ) გამოვრთოთ ჩამრთველი. ჩავყაროთ წყალში ერთი კოვზი სუფრის მარილი და კვლავ ჩავრთოთ ჩამრთველი. დავაკვირდეთ ამპერმეტრის ჩვენებას, გაივლის თუ არა დენი წრედში (ახსენით შემჩნეული მოვლენა).

გ) პლასტმასის ან მინის (იზოლატორის) ღეროთი მოვურიოთ აბაზანაში ჩასხმულ წყალს, რათა დავაჩქაროთ მასში ჩაყრილი კრისტალების გახსნა. როგორ შეიცვალა ამ დროს დენის ძალა წრედში?

დ) რიგრიგობით ჩავამატოთ თითო კოვზი მარილი და დავაკვირდეთ ამპერმეტრის ჩვენებას. იცვლება თუ არა იგი? რატომ?

ახსენით შემჩნეული მოვლენები და მიღებული შედეგები შეიტანეთ სამუშაო რვეულში.

უპასუხეთ კითხვებს

1. რის საფუძველზე დაასკვნა რიკემ, რომ ლითონებში მუხტი იონებს არ გადააქვს?
2. რომელ მექანიკურ მოვლენას ეფუძნება სტიუარტისა და ტოლმენის ცდის იდეა?
3. როგორი გამტარობა ახასიათებს ლითონებს?
4. რას უწოდებენ დიპოლს?
5. როგორ შლის მარილის მოლეკულას წყლის მოლეკულების გარემოცვა?
6. რომელ იონებს უწოდებენ ანიონებს? კათიონებს?

რა ვისწავლეთ

- **ლითონში დენის გავლისას ნივთიერების გადატანა არ ხდება;**
- **ელექტრული დენი ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა;**
- **მარილების, მჟავების, ტუტეების ხსნარებსა და ნადნობებს, ელექტროლიტებს უწოდებენ;**
- **წყლის (გამხსნელის) პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით ელექტროლიტის მოლეკულების იონებად დაშლას, ელექტროლიტური დისოციაცია ეწოდება;**
- **ელექტროგამტარობას ელექტროლიტების ხსნარებში ან ნადნობებში, რომელიც იონებით ხორციელდება, იონური გამტარობა ეწოდება;**
- **ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფის პროცესს, რომელიც ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებთანაა დაკავშირებული, ელექტროლიზი ეწოდება.**

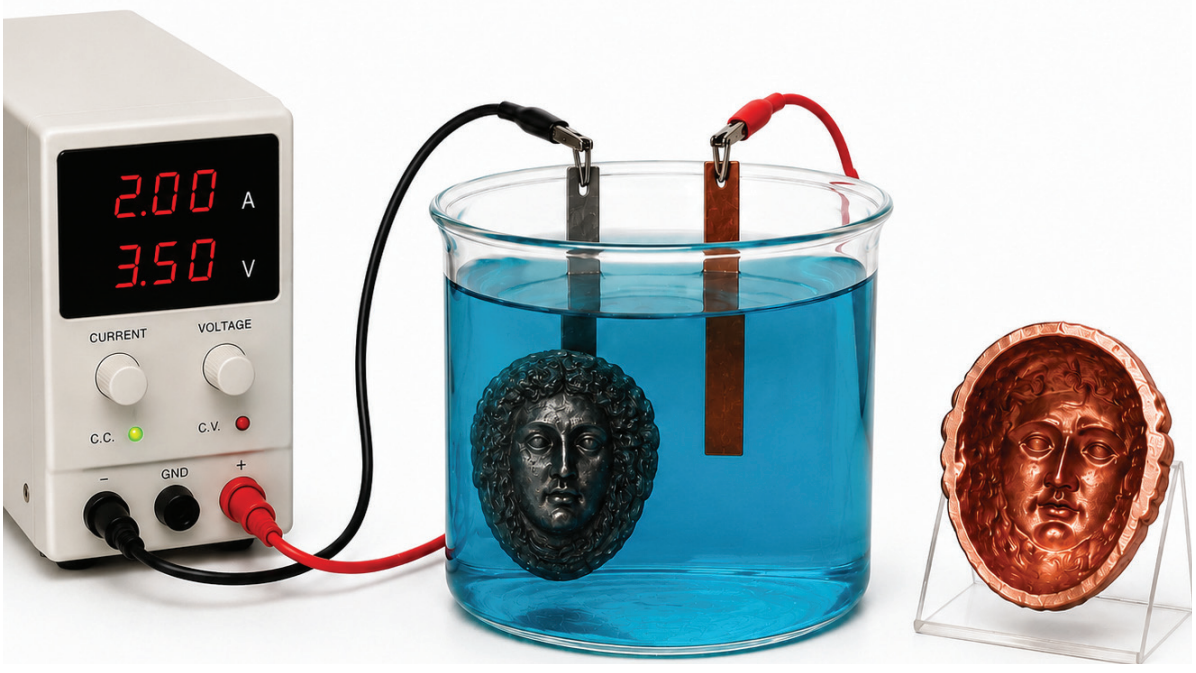
კიდევ რა შეიძლება ვიცოდეთ

ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა პროპორციულია დენის ძალისა და დროის იმ შუალედის ნამრავლის, რომლის განმავლობაშიც ელექტროლიტში დენი გადიოდა.

პირველად ეს კანონი მაიკლ ფარადეიმ დაადგინა 1836 წელს და მას **ფარადეის პირველ კანონს** უწოდებენ.



გალვანიზაციის პროცესი: კოროზიისგან დასაცავად ლითონის ნაკეთობას, რომელიც
ადვილად იჟანგება, სხვა უჟანგავი ლითონის თხელი ფენით ფარავენ (მონიკელება, მოქრომვა და ა.შ.).



ელექტროლიზის გამოყენებით მოცულობითი
სხეულის ზედაპირის ლითონის ასლის დამზადება – გალვანოპლასტიკა

თუ პროპორციულობის კოეფიციენტს k-თი აღვნიშნავთ, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$m = kIt.$$

გავითვალისწინოთ, რომ It ნამრავლი t დროში ელექტროლიტში გადატანილი მუხტის სიდიდეა: q = It, ამიტომ ეს ტოლობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$m = kq.$$

ანუ **ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა ელექტროლიტში გასული მუხტის მოდულის პროპორციულია.**

k პროპორციულობის კოეფიციენტი შეგვიძლია გამოვსახოთ ფორმულით:

$$k = \frac{1}{eN_A} \cdot \frac{M}{n}.$$

რომელშიც e ელემენტარული მუხტია, N_A ავოგადროს რიცხვი, M ნივთიერების მოლური მასა, ხოლო n ატომის ვალენტობაა.

ამ ტოლობიდან ჩანს, რომ k მხოლოდ ნივთიერების გვარობაზეა დამოკიდებული. მას ნივთიერების **ელექტროქიმიურ ეკვივალენტს** უწოდებენ. k კოეფიციენტი რიცხობრივად ნივთიერების იმ მასის ტოლია, რომელიც 1 კ მუხტის გადატანისას ელექტროდზე გამოიყოფა. SI-ში ელექტროქიმიური ეკვივალენტი კგ/კ-ში გამოისახება.

ელემენტარული მუხტის (e) ნამრავლს ავოგადროს მუდმივაზე (N_A) **ფარადეის მუდმივას** უწოდებენ და F-ით აღნიშნავენ:

$$F = eN_A.$$

თუ ამ ტოლობას ელექტროქიმიური ეკვივალენტის გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}.$$

სხვადასხვა ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტები მათი მოლური მასების პროპორციულია და უკუპროპორციულია მათი ვალენტობის.

ეს დებულებაც მაიკლ ფარადეიმ მიიღო ექსპერიმენტული გზით და ის **ფარადეის მეორე კანონის** სახელითაა ცნობილი.

როგორ იხსნება ამოცანები

ამოცანა

მიიჩნიეთ, რომ რკინის ატომების 80% ათავისუფლებს ერთ სავალენტო ელექტრონს. მიახლოებით რამდენი თავისუფალი ელექტრონი იქნება 280 გ რკინის ნაჭერში?

ამოხსნა

მოც.: $m = 280$ გ;
$M = 56$ გ/მოლი;
$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ მოლი$^{-1}$.

უ.ვ.: N_e

- ქიმიის კურსიდან ვიცით, რომ რკინის მოლური მასაა $M = 56$ გ/მოლი (ერთი მოლის მასა). ასევე ვიცით, რომ ერთი მოლი ნებისმიერი ნივთიერება შეიცავს $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ (ავოგადროს რიცხვი) მოლეკულას.
- რკინის მოლეკულა ერთატომიანია. 280 გ რკინაში მოლების რაოდენობა: $\nu = \frac{m}{M} = 5$ მოლი.
- შესაბამისად, იგი შეიცავს $N = 5 \cdot N_A = 30{,}1 \cdot 10^{23}$ რკინის ატომს.
- ამ რიცხვის 80% იქნება თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა: $N_e = 0{,}8 \cdot N \approx 24 \cdot 10^{23}$.

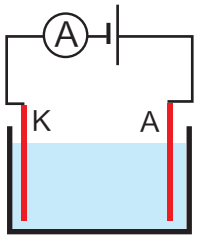
პასუხი: მოცემული პირობებით რკინის ნაჭერში იქნება $\approx 24 \cdot 10^{23}$ თავისუფალი ელექტრონი.

საშინაო აქტივობა

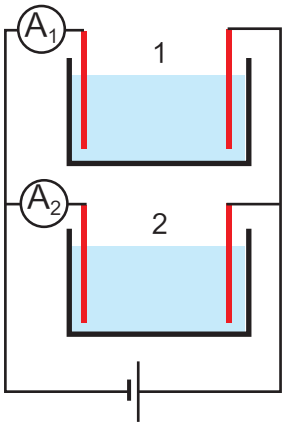
უპასუხეთ კითხვებს:

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
2. რომელ ნაწილაკებს გადააქვთ მუხტი ლითონებში?
   ა) პროტონებს
   ბ) ნეიტრონებს
   გ) ატომის გარსში არსებულ ელექტრონებს
   დ) თავისუფალ ელექტრონებს
   ე) იონებს
3. რომელი ნაწილაკებია მუხტის ძირითადი გადამტანები ელექტროლიტებში?
   ა) პროტონები
   ბ) ნეიტრონები
   გ) ატომის გარსში არსებული ელექტრონები
   დ) თავისუფალ ელექტრონები
   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?

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?
6. ელექტროლიტურ აბაზანაში ასხია გამოხდილი წყალი (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?
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.

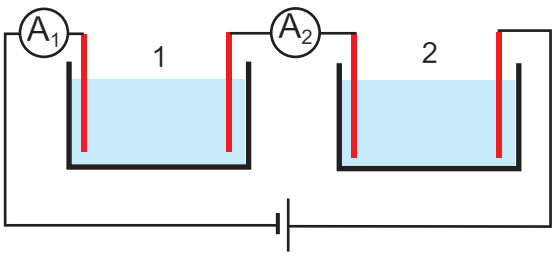


სურ. 1.13.13



სურ. 1.13.14

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.
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?



სურ. 1.13.15

პრაქტიკული სამუშაო – ელექტროლიტური აბაზანა

სამუშაოს მიზანი: ავაწყოთ ელექტროლიტური აბაზანა, რომლის საშუალებითაც შევძლებთ შევამოწმოთ, რა შემთხვევაში გადის დენი სითხეში.

საჭირო მასალები: 

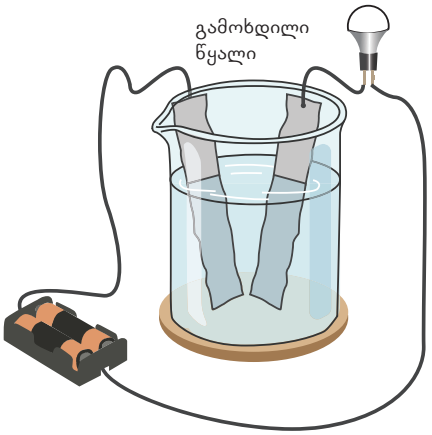
- 4 ცალი საათის ელემენტი ან 1 ცალი „კრონა“ (ჯამში მინიმუმ 6 ვოლტამდე ემძ-ით);
- მცირე სიმძლავრის ნათურა (მაგალითად, რაიმე სათამაშოს) ან შუქდიოდი (LED);
- სპილენძის მავთული;
- ალუმინის ფოლგა (სამზარეულოს ფოლგა) ელექტროდების დასამზადებლად;
- გამოხდილი წყალი (შეგიძლიათ შეიძინოთ აფთიაქში);
- სუფრის მარილი და პატარა გამჭვირვალე მინის ჭიქა.

სამუშაოს მსვლელობა:

წრედის აწყობა: მავთულების საშუალებით ერთმანეთთან მიმდევრობით შეაერთეთ ელემენტები და შუქდიოდი (ან ნათურა) ისე, რომ მიიღოთ ღია წრედი. წრედს უნდა ჰქონდეს ორი თავისუფალი ბოლო, მათზე მიმაგრებული ალუმინის ფოლგისაგან გამოჭრილი ფურცლებით (ელექტროდებით) – მათი ერთმანეთთან შეხებისას ნათურა უნდა ინთებოდეს.

ცდა 1 (გამოხდილი წყლით): ჭიქაში ჩაასხით გამოხდილი წყალი. ჩაუშვი მასში წრედის ორივე თავისუფალი ბოლო (ელექტროდები) ისე, რომ **ერთმანეთს არ შეეხონ** (სურ. 1.13.16).

დააკვირდით: აინთო თუ არა ნათურა?



სურ. 1.13.16

ცდა 2 (მარილწყლით): ამოიღეთ ელექტროდები წყლიდან. წყალში ჩაყარეთ 1-2 ჩაის კოვზი სუფრის მარილი და კარგად მოურიეთ, რომ გაიხსნას. კვლავ ჩაუშვით ელექტროდები მარილწყალში (ელექტროდები ერთმანეთს არ უნდა შეეხოს) (სურ. 1.13.17).

დააკვირდით: აინთო თუ არა ნათურა ამჯერად?



სურ. 1.13.17

მოამზადეთ მოკლე პრეზენტაცია, ჩანაწერი რვეულში ან გადაიღეთ 1-წუთიანი ვიდეო, სადაც უპასუხებთ შემდეგ კითხვებს:

1. რატომ არ აინთო ნათურა როდესაც ჭიქაში გამოხდილი წყალი ესხა?
2. რა მოხდა წყალში მარილის გახსნისას? რატომ აინთო ნათურა? რომელი ნაწილაკები გახდნენ მუხტის გადამტანები მარილწყალში დენის გავლისას?
3. მოიძიე ინფორმაცია, რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს ელექტროლიზის მოვლენას.

თემა I. ელექტრომაგნიტიზმი

თავი II. მაგნიტური მოვლენები

ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- ბუნებრივ და ხელოვნურ მაგნიტებს;
- დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებას:
- მაგნიტურ ველსა და მის მახასიათებლებს;
- მაგნიტური ველის მოქმედებას მოძრავ მუხტზე.



2.1. ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტები

ალბათ ყველას გაქვთ სახლში მაგნიტი, ბევრს მაცივარზე მაგნიტური სურათებიც გაქვთ მიკრული. მაგნიტს მნიშვნელოვან მანძილზე შეუძლია რკინის ნაჭრების მიზიდვა. შეგიმჩნევიათ, კომპასის მაგნიტური ისარი ჯიუტად ცდილობს შემოტრიალდეს ისე, რომ ყოველთვის ჩრდილოეთისაკენ იყოს მიმართული. **რა არის ამ მოვლენების მიზეზი?** ამ კითხვაზე პასუხს პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებთ.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **გაეცნობით:** რა თვისებები აქვს ბუნებრივსა და ხელოვნურ მაგნიტებს და რა განასხვავებთ მათ;
- **გაეცნობით:** რას წარმოადგენს მაგნიტის პოლუსები;
- **შეძლებთ:** გააანალიზოთ, როგორ არის შესაძლებელი ლითონების დამაგნიტება.

2.1.1. ბუნებრივი მაგნიტი. ხელოვნური მაგნიტი. დამაგნიტება

ბუნებაში გვხვდება რკინის ზოგიერთი მადანი, რომელსაც რკინის ნაჭრების მიზიდვის უნარი აქვს (სურ. 2.1.1). თუ ასეთი მადნის მოგრძო ნაჭერს ძაფზე ჩამოვკიდებთ, ის ისე შემობრუნდება, რომ მისი ერთი ბოლო ჩრდილოეთისკენ იქნება მიმართული, ხოლო მეორე ბოლო, შესაბამისად – სამხრეთისკენ (სურ. 2.1.2). ასეთ სხეულებს **ბუნებრივ მაგნიტებს** უწოდებენ.



სურ. 2.1.1



სურ. 2.1.2

ბუნებრივი მაგნიტის მახლობლად მოთავსებული რკინის საგანი თვითონაც დამაგნიტდება, ანუ გაუჩნდება სხვა რკინის საგნების მიზიდვის უნარი. დამაგნიტებული საგანი მით უფრო ძლიერ მაგნიტურ თვისებებს შეიძენს, რაც უფრო ახლოს მოვათავსებთ მას მაგნიტთან. საგანი განსაკუთრებით ძლიერად დამაგნიტდება მაშინ, როცა ის მაგნიტს მიეკრობა. ეს შეიძლება მარტივი ცდით შემოწმდეს – მაგნიტს მივაკრათ რკინის ნაჭერი, რომელიც მიიკრავს მეორე ასეთ ნაჭერს. მეორე – მესამეს და ა.შ. მაგნიტიდან რაც უფრო შორს არის დამაგნიტებული ნაჭერი, ის მით ნაკლებ მისნაირ ნაჭერს შეიკავებს (სურ. 2.1.3).



სურ. 2.1.3

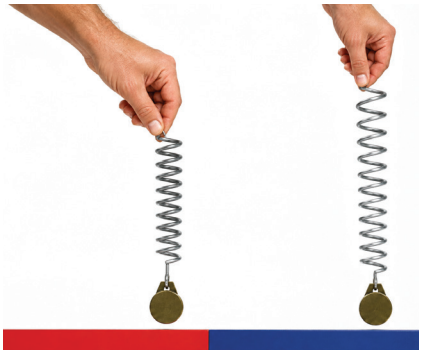
თუ დამაგნიტებულ რკინის საგანს მაგნიტს მოვაშორებთ, ის მაგნიტური თვისებების მნიშვნელოვან ნაწილს დაკარგავს, მაგრამ მაინც დამაგნიტებული დარჩება, ანუ **ხელოვნურ მაგნიტად** გადაიქცევა. ასეთი სხეულის რკინის ნაქლიბში ჩადებისას, ნაქლიბი მას მიეკრობა.

სხეულის დამაგნიტებას, როდესაც ის მაგნიტის მახლობლადაა მოთავსებული, **დროებითი დამაგნიტება** ეწოდება, ხოლო დამაგნიტებას, რომელიც სხე-

ულს რჩება მაგნიტის მოშორების შემდეგ – **ნარჩენი დამაგნიტება.** ცდები აჩვენებს, რომ მოცემული სხეულის ნარჩენი დამაგნიტება ბევრად სუსტია იმავე სხეულის დროებით დამაგნიტებაზე.

ცდები ასევე აჩვენებს, რომ მიღებული ხელოვნური მაგნიტი ყოველთვის უფრო სუსტია, ვიდრე მაგნიტი, რომლის გავლენითაც ის დამაგნიტდა; ასევე, სხეულის დამაგნიტებისას მასზე დარტყმა ან მისი დაქნევა ხელს უწყობს მის დამაგნიტებას, ხოლო მზა მუდმივი მაგნიტის შერყევა ან ტემპერატურის მკვეთრი მატება მის განმაგნიტებას უწყობს ხელს.

გავარკვიოთ, ერთნაირია, თუ არა მაგნიტების ზედაპირის სხვადასხვა ნაწილების მაგნიტური თვისებები.



სურ. 2.1.4

2.1.2. მაგნიტის პოლუსები

განვიხილოთ ცდა: ზამბარაზე დაკიდებული რკინის ბურთულა მაგნიტის რაიმე წერტილს შევახოთ და შემდეგ, ზამბარის გაჭიმვით შევეცადოთ მოვაცილოთ ის. ზამბარის გაჭიმვის სიდიდე თვალნათლივ შეგვიქმნის წარმოდგენას იმ ძალაზე, რომელიც საჭიროა ბურთულასა და მაგნიტის მიზიდულობის დასაძლევად. დავინახავთ, რომ მაგნიტის კიდეებიდან ბურთულას მოსაცილებლად საკმაოდ დიდი ძალისხმევა დაგვჭირდება, ხოლო მაგნიტის შუაში ბურთულა თითქმის არ მიიზიდება (სურ. 2.1.4).

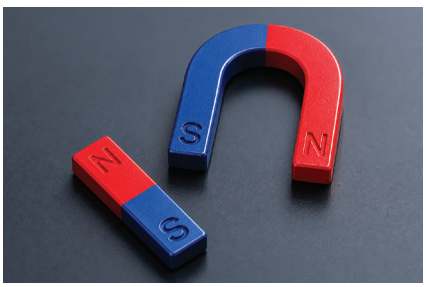


სურ. 2.1.5

მაგნიტის ზედაპირის იმ ნაწილებს, სადაც რკინის სხეულების მიზიდვა ყველაზე საგრძნობია, **მაგნიტის პოლუსებს** უწოდებენ, ხოლო ზედაპირის იმ ნაწილებს, სადაც მიზიდულობა არ იგრძნობა ან ძალიან სუსტია – **მაგნიტის ნეიტრალურ ზონას**.

თუ მაგნიტს რკინის ნაქლიბში ჩავდებთ და შემდეგ ამოვიღებთ, დავინახავთ, რომ ის მაგნიტის პოლუსებს მიეკრა, მის შუა ნაწილს კი – არა (სურ. 2.1.5).

ჩვეულებრივ, ხელოვნურ მაგნიტებს ზოლის ან ნალის ფორმას აძლევენ (სურ. 2.1.6). ასეთ მაგნიტებს ბოლოებში ორი პოლუსი აქვს, მათ შორის კი – ნეიტრალური ზონაა. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ შეუძლებელია მივიღოთ ერთპოლუსიანი მაგნიტი.



სურ. 2.1.6

პოლუსებისა და ნეიტრალური ზონის უბნების ზომების თანაფარდობა მაგნიტის ფორმაზეა დამოკიდებული. თუ ღეროს ფორმის ძალიან გრძელ და წვრილ მაგნიტს დავამზადებთ, მაშინ მისი პოლუსების უბნები ძალიან მცირე ზომისაა და მაგნიტის კიდეებშია განთავსებული, მთელი დანარჩენი ზე-

დაპირი კი ნეიტრალურ ზონას წარმოადგენს. ასეთ ღეროს **მაგნიტურ ისარს** უწოდებენ.

თუ მაგნიტურ ისარს ცენტრით ძაფზე ჩამოვკიდებთ ან რაიმეს წვეტზე მოვათავსებთ ისე, რომ მას შეეძლოს თავისუფალი ბრუნვა, მაშინ ის ყოველთვის ისე განთავსდება, რომ მისი ერთი ბოლო მიმართული იქნება ჩრდილოეთისაკენ, მეორე კი – სამხრეთისაკენ (სურ. 2.1.7). ისრის იმ ბოლოს, რომელიც ჩრდილოეთისკენაა მიმართული, მაგნიტის **ჩრდილოეთ პოლუსს** უწოდებენ და აღნიშნავენ N ასოთი (უმეტესწილად, მას წითლად ღებავენ), ხოლო მეორეს – მაგნიტის **სამხრეთ პოლუსს** და აღნიშნავენ S ასოთი (შესაბამისად, მას ლურჯად ღებავენ).

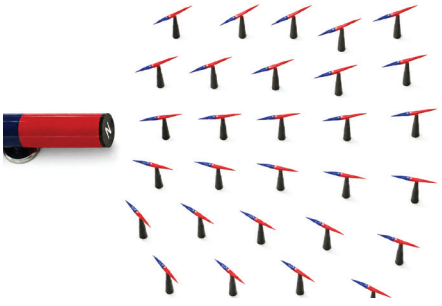
თუ ისარს მაგნიტს მივუახლოებთ, დავინახავთ, რომ მისი ჩრდილოეთ პოლუსი მიიზიდება მაგნიტის სამხრეთ პოლუსით და განიზიდება ჩრდილოეთ პოლუსით (და პირიქით). შედეგად, მაგნიტური ისარი თავისი ღერძის გარშემო შემოტრიალდება (სურ. 2.1.8). იგივე მექანიზმით იზიდავს მაგნიტი რკინის სხეულებს: მაგნიტის მიახლოებით რკინის ნაჭერი ჯერ დამაგნიტდება და შემდეგ მაგნიტის მიერ მიიზიდება.

მაგნიტების ურთიერთქმედება ძალიან ჰგავს ერთმანეთისაგან გარკვეული მანძილით დაშორებული დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას: ერთნაირნიშნიანი მუხტის მქონე სხეულების მსგავსად, მაგნიტების ერთსახელა პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, ხოლო მაგნიტების სამხრეთ და ჩრდილოეთ პოლუსები ერთმანეთს მიიზიდავს, მსგავსად სხვადასხვა ნიშნის მუხტის მქონე სხეულებისა. სწორედ ამიტომ, საკმაოდ დიდი ხნის განმავლობაში მიაჩნდათ, რომ ელექტრული და მაგნიტური მოვლენები ერთმანეთის ანალოგიურია. მხოლოდ XVI საუკუნის ბოლოს ინგლისის სამეფო კარის ექიმმა, უილიამ ჰილბერტმა დაამტკიცა, რომ ეს მართებული არ არის. მართლაც, მაგნიტი იზიდავს მხოლოდ ლითონებს, ხოლო დამუხტული სხეული არალითონებსაც; გათბობით სხეულის მაგნიტური თვისებები სუსტდება, ხოლო ელექტრული თვისებები – არა; სხეული შეიძლება დაიმუხტოს ერთი კონკრეტული ნიშნის მუხტით, მაგრამ დამაგნიტებულ სხეულს არ შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ ერთი მაგნიტური პოლუსი. ჰილბერტმა, პირველმა გამოთქვა ვარაუდი, რომ დედამიწა გიგანტური მაგნიტია, რის გამოც მაგნიტური ისარი შესაბამისად ორიენტირდება.

მოცემული თავის დამატებითი ელექტრონული რესურსები იხილეთ QR-კოდზე:



სურ. 2.1.7



სურ. 2.1.8

ვირტუალურ ლაბორატორიაში დააკვირდით ბუნებრივი მაგნიტისა და მაგნიტური ისრის ურთიერთქმედებას:

2.1.3. დენის მაგნიტური მოქმედება. დენის მაგნიტური ველი

ახალი ტერმინები:

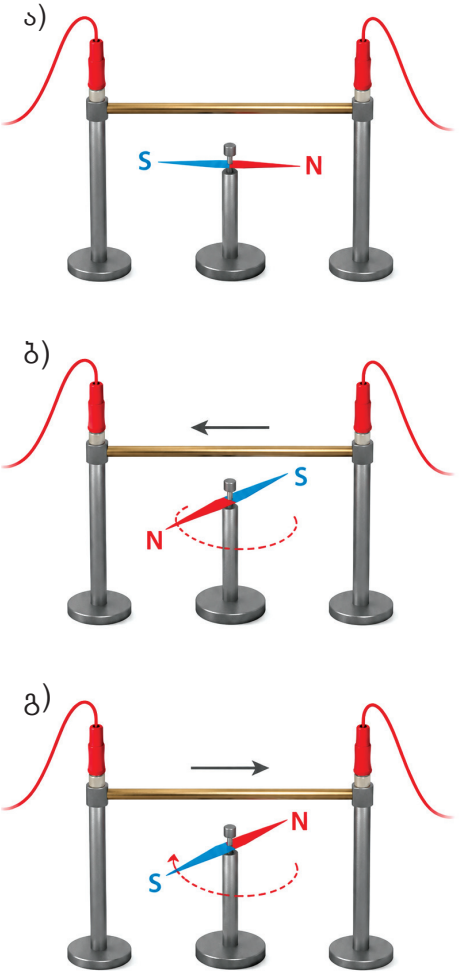
ბუნებრივი მაგნიტი;
ხელოვნური მაგნიტი;
ნარჩენი დამაგნიტება;
დროებითი დამაგნიტება;
მაგნიტური ისარი;
მაგნიტის პოლუსები;
მაგნიტური ძალა.

შემდგომში, მიუხედავად იმისა, რომ მეცნიერებმა ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის განსხვავება აღიარეს, აღმოჩნდა რიგი ფაქტებისა, რომელიც მათ ურთიერთკავშირს მიუთითებდა. ფრანგი ფიზიკოსი ფრანსუა ჟან დომენიკ არაგო თავის ნაშრომში „ჭექა-ქუხილი“ აღწერს შემდეგ შემთხვევას: „1681 წლის ივლისში ღია ზღვაში ასეული მილით შესულ გემ „დედოფალს“ მეხი დაეცა. როცა დაღამდა, ვარსკვლავების განლაგებით დაადგინეს, რომ გემზე არსებული სამი კომპასიდან, ორი, ჩრდილოეთის ნაცვლად, სამხრეთ მიმართულებას აჩვენებდა, მესამე კი – დასავლეთს“. არაგო ასევე აღწერს შემთხვევას, როდესაც სახლში, რომელსაც მეხი დაეცა, ფოლადის დანები, ჩანგლები და სხვა საგნები დამაგნიტდა. იმ პერიოდისთვის უკვე იცოდნენ, რომ ელვა ჰაერში გამავალი ძლიერი დენია, ამიტომ არაგოს მიერ აღწერილი ფაქტები იმაზე მიუთითებდა, რომ დენს რაღაც მაგნიტური თვისებები აქვს. თუმცა ექსპერიმენტულად დენის მაგნიტური თვისებები 1820 წელს აღმოაჩინა და შემდეგ შეისწავლა დანიელმა ფიზიკოსმა ჰანს ქრისტიან ერსტედმა.

ერსტედის ცდა მდგომარეობდა შემდეგში: ლითონის უძრავი გამტარი გაჭიმული იყო მერიდიანის გასწვრივ, ანუ სამხრეთ – ჩრდილოეთის მიმართულებით. მის ქვეშ მოათავსეს მაგნიტური ისარი. რადგან დედამიწა მაგნიტია, ისარი ასევე სამხრეთ – ჩრდილოეთის მიმართულებით ორიენტირდა, ანუ გამტარი და ისარი ურთიერთპარალელურად განთავსდა (სურ. 2.1.9 ა). გამტარში დენის გატარებისას მაგნიტური ისარი შემოტრიალდა და გაჩერდა ისე, რომ გამტართან მართი კუთხე შექმნა (სურ. 2.1.9 ბ). დენის მიმართულების შეცვლისას ისარი 180°-ით შემოტრიალდა (სურ. 2.1.9 გ).

ერსტედმა ცდა სხვადასხვა ლითონისგან დამზადებული გამტარებით ჩაატარა. ცდის შედეგი ლითონის გვარობაზე დამოკიდებული არ აღმოჩნდა. როგორც იცით, ყველა ლითონს ელექტრონული გამტარობა ახასიათებს. თუ ერსტედის ცდაში ლითონის გამტარს შევცვლით ელექტროლიტიანი მილით (იონური გამტარობა), მაგნიტურ ისარზე ქმედება ისეთივე აღმოჩნდება, როგორც ლითონის გამტარის შემთხვევაში.

ეს ცდები აჩვენებს, რომ გამტარში დენის გატარებისას მასთან ახლომდებარე მაგნიტურ ისარზე



სურ. 2.1.9

იმოქმედებს ძალები, რომლებიც ისარს შემოაბრუნებს. ეს ძალები ისეთივე ბუნებისაა, როგორიც ბუნებრივი ან ხელოვნური მაგნიტების მახლობლად მოქმედი ძალები. მათ **მაგნიტურ ძალებს** უწოდებენ.

უპასუხეთ კითხვებს

1. რომელ სხეულებს უწოდებენ ბუნებრივ მაგნიტებს? ხელოვნურ მაგნიტებს?
2. რომელი დამაგნიტება უფრო ძლიერია – ნარჩენი თუ დროებითი?
3. რას წარმოადგენს მაგნიტური ისარი?
4. მიიზიდავენ თუ განიზიდავენ ერთმანეთს მაგნიტების ერთსახელიანი პოლუსები?
5. რა ანალოგიაა ელექტრული მუხტებისა და მაგნიტების ურთიერთქმედებებს შორის?
6. რომელი ფაქტების საფუძველზე დაადგინა არაგომ ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირის არსებობა?
7. როგორ ორიენტირდება მაგნიტური ისარი წრფივი დენიანი გამტარის მიმართ?
8. რომელ ძალებს უწოდებენ მაგნიტურს?

რა ვისწავლეთ

- **სხეულის დამაგნიტებას, როდესაც ის მაგნიტის მახლობლადაა მოთავსებული, დროებითი დამაგნიტება ეწოდება;**
- **დამაგნიტებას, რომელიც სხეულს რჩება მაგნიტის მოშორების შემდეგ, ნარჩენი დამაგნიტება ეწოდება;**
- **მაგნიტის ზედაპირის იმ ნაწილებს, სადაც რკინის სხეულების მიზიდვა ყველაზე საგრძნობია, მაგნიტის პოლუსებს უწოდებენ;**
- **მაგნიტის ზედაპირის იმ ნაწილებს, სადაც მიზიდულობა არ იგრძნობა ან ძალიან სუსტია, მაგნიტის ნეიტრალურ ზონას უწოდებენ;**
- **იზოლირებული მაგნიტური პოლუსის მიღება შეუძლებელია;**
- **ელექტრული დენი მაგნიტურ ისარზე მაორიენტირებლად მოქმედებს.**

საშინაო აქტივობა

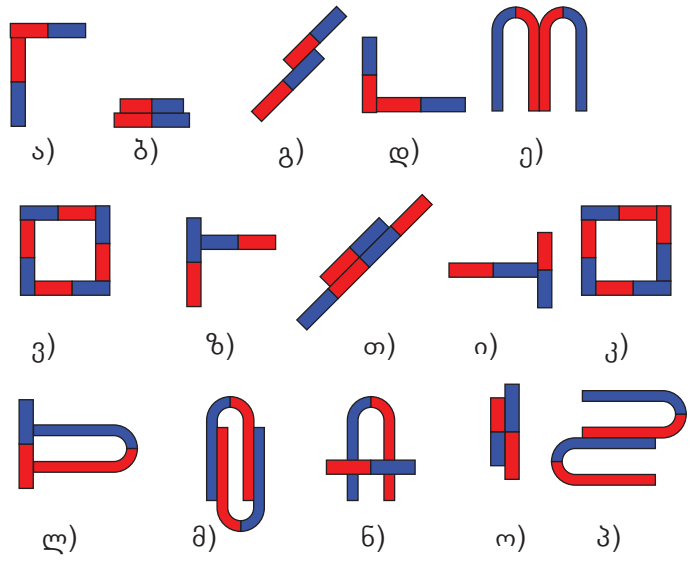
ამოხსენით ამოცანები:
უპასუხეთ ქვემოთ მოცემულ კითხვებს. პასუხი დაასაბუთეთ.

1. სურ. 2.1.10-ზე წარმოდგენილი შეწყვილებული ზოლოვანი მაგნიტები რომელ შემთხვევაში მიიკრავენ უფრო ძლიერად რკინის ფილას?



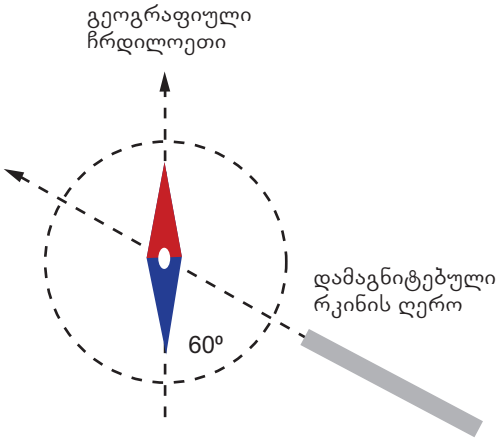
სურ. 2.1.10

2. სურ. 2.1.11-ზე წარმოდგენილი რომელი შემთხვევები ასახავენ შედარებით ზუსტად მაგნიტების ურთიერთმიკვრას?

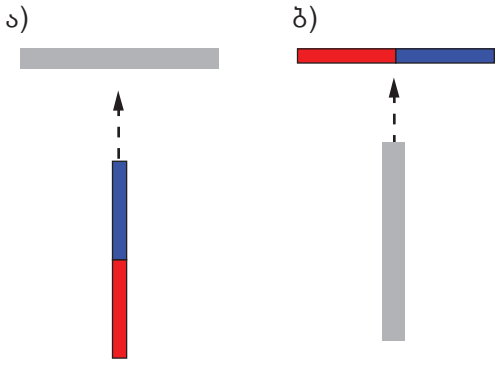


სურ. 2.1.11

3. როცა ჰორიზონტალურ მაგიდაზე მოთავსებულ კომპასს დამაგნიტებული რკინის ღერო სურ. 2.1.12-ზე ნაჩვენები მიმართულებით მიუახლოვეს, ისარი ღერძის გარშემო 120^0-იანი კუთხით შემობრუნდა. რომელი პოლუსით მიუახლოვეს ღერო კომპასს?
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?
5. ჰორიზონტალური მაგიდის ზედაპირზე დევს ორი ერთნაირი A და B ღერო – ერთი მათგანი მუდმივი მაგნიტია, მეორე კი – რკინა. როგორ მივხვდეთ, რომელია მაგნიტი?



სურ. 2.1.12



სურ. 2.1.13

2.2. მაგნიტური ველი

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** რისი საშუალებით ხდება მაგნიტური ურთიერთქმედება;
- **გაიაზრებთ:** რაში მდგომარეობს მაგნიტური ველის წარმოქმნის მექანიზმი;
- **გეცოდინებათ:** რატომ ქმნის მაგნიტი მაგნიტურ ველს და რა არის მაგნიტური პოლუსების არსებობის მიზეზი.

წინა პარაგრაფში აღწერილი ერსტედის ცდიდან ჩანს, რომ დენიანი გამტარის გარემომცველ სივრცეში მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს მაგნიტური ძალები. ასევე მაგნიტური ძალები მოქმედებს დენის ძალის ერთეულის, ამპერის განმარტებისას განხილულ ცდაში დენიან გამტარებს შორის (პარაგრაფი 1.9). იბადება კითხვა: **რისი მეშვეობით მოქმედებს დენიანი გამტარი მეორე დენიან გამტარზე ან მაგნიტურ ისარზე?** ამ კითხვაზე პასუხს პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ მიიღებთ.

2.2.1. მაგნიტური ურთიერთქმედების აღწერა

როგორც იცით, დამუხტული სხეულები ერთმანეთზე უშუალოდ არ მოქმედებს. მათი ელექტრული ურთიერთქმედება დამუხტული სხეულების გარშემო შექმნილი ელექტრული ველებით ხორციელდება. ანალოგიურად, დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებაც მათ გარემომცველ სივრცეში შექმნილი **მაგნიტური ველებით** ხორციელდება**:** ერთი დენიანი გამტარი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომელიც მოქმედებს მეორე დენიან გამტარზე, და პირიქით. ვინაიდან ელექტრული დენი დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობაა, შეიძლება დავასკვნათ:

მაგნიტური ველი არის მატერიის ფორმა, რომლის საშუალებითაც ურთიერთქმედებენ მოძრავი დამუხტული ნაწილაკები. ამრიგად, მოძრავ მუხტებს შორის გვაქვს როგორც ელექტრული, ასევე მაგნიტური ურთიერთქმედება.

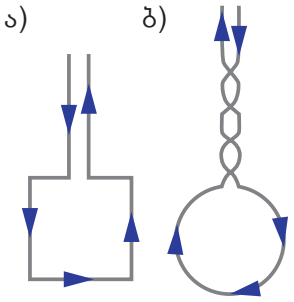
მაგნიტური ველის ძირითადი თვისებებია: **1. მაგნიტური ველი იქმნება ელექტრული დენით (მოძრავი მუხტებით)**; **2. მაგნიტური ველი ვლინდება დენზე (მოძრავ მუხტებზე) მოქმედებით.**

მაგნიტურ ველს აქვს გარკვეული თვისებები, რომლებიც შეიძლება ექსპერიმენტულად დადგინდეს.

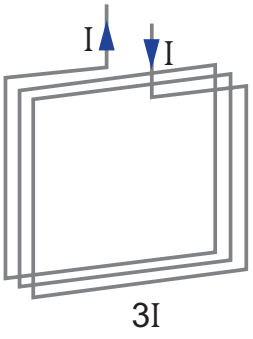
ელექტრული ველის შესწავლისას წერტილოვან მუხტს ვიყენებდით. ვინაიდან მაგნიტური ველი ვლინდება დენზე მოქმედებით, ამიტომ მისი შესწავლისთვის უნდა ავიღოთ წვრილი დენიანი გამტარის პატარა მონაკვეთი – დენის ელემენტი, მაგრამ მისი შექმნა შეუძლებელია, რადგან მუდმივი დენის არსებობისათვის საჭიროა წრედი შეკრული იყოს. დენის ელემენტის მაგივრად შეგვიძლია ავიღოთ მცირე ზომის დენიანი ჩაკეტილი კონტური და გავზომოთ

მაგნიტური ველის ჯამური მოქმედება მთელ კონტურზე. თუ დიდი ზომის კონტურს ავიღებთ, მაშინ მაგნიტური ველი მის ცალკეულ ნაწილებზე განსხვავებულად იმოქმედებს და ჯამური მოქმედება მხოლოდ სივრცის დიდ უბანზე ველის საშუალო მახასიათებელს მოგვცემს.

მაგნიტური ველის შესასწავლი კონტურის ზომები მცირე უნდა იყოს იმ მანძილებთან შედარებით, რომელზეც მაგნიტური ველი საგრძნობლად იცვლება. ამ მიზნით შეგვიძლია გამოვიყენოთ მავთულის ნებისმიერი ფორმის პატარა ბრტყელი ჩარჩო, რომლის მიმყვანი სადენები ერთმანეთთან ახლოსაა ან გადაგრეხილია. სურათ 2.2.1 ა,ბ-ზე ჩანს, რომ ჩარჩოების მიმყვან სადენებში საპირისპირო მიმართულების დენები გადის, ამიტომ ამ დენების მაგნიტური მოქმედებები ერთმანეთს გააბათილებს. შედეგად, მათზე გარეშე მაგნიტური ველიც არ იმოქმედებს. ჩარჩოზე მაგნიტური მოქმედების გასაძლიერებლად შესაძლებელია მისი ხვიათა რიცხვის გაზრდა (სურ. 2.2.2).

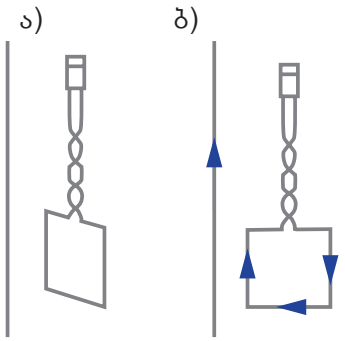


სურ. 2.2.1



სურ. 2.2.2

განვიხილოთ ცდა: მოქნილ გადაგრეხილ სადენებზე ჩამოკიდებული პატარა ჩარჩო მოვათავსოთ ვერტიკალური გამტარიდან ისეთ მანძილზე, რომელიც ჩარჩოს ზომებს აღემატება (სურ. 2.2.3 ა). გამტარსა და ჩარჩოში დენის გატარებისას ჩარჩო მოტრიალდება და ისე დადგება, რომ გამტარი ჩარჩოს სიბრტყეში აღმოჩნდება (სურ. 2.2.3 ბ). შევნიშნოთ, რომ გამტარში და ჩარჩოს გამტართან უახლოეს გვერდში დენები ერთი მიმართულების იქნება. გამტარში დენის მიმართულების შეცვლისას, ჩარჩო 180°-ით შემობრუნდება.

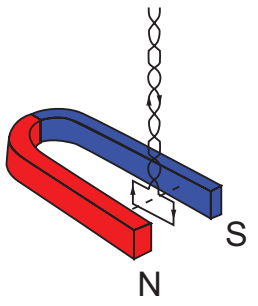


სურ. 2.2.3

შენიშვნა: ნახაზზე ჩარჩოს ზომები გაზრდილია თვალსაჩინოებისთვის

თუ იმავე დენიან ჩარჩოს ნალისებრი მაგნიტის პოლუსებს შორის ჩამოვკიდებთ, მასში დენის გატარებისას ჩარჩო შემოტრიალდება და მაგნიტის პოლუსების შემაერთებელი წრფის მართობულად დადგება (სურ. 2.2.4).

ეს ცდები გვიჩვენებს, რომ დენიანი ჩარჩო მაგნიტურ ველში ორიენტირდება. დენიან ჩარჩოზე მაორიენტირებლად დედამიწის მაგნიტური ველიც მოქმედებს. მართლაც, თუ ჩარჩოში დენს გავატარებთ, ის მოტრიალდება და მისი სიბრტყე დასავლეთ – აღმოსავლეთის მიმართულების პარალელური გახდება, ანუ მერიდიანის მართობულად განთავსდება. გავიხსენოთ, რომ დედამიწის მაგნიტურ ველში და დენიანი გამტარის მახლობლად ორიენტირდება მაგნიტური ისარიც. ბუნებრივად იბადება კითხვები: რატომ იქცევა ერთნაირად მაგნიტურ ველში დენიანი ჩარჩო და მაგნიტური ისარი?



სურ. 2.2.4

როგორ წარმოიქმნება ბუნებრივი და ხელოვნური მაგნიტების მაგნიტური ველი? რა ფიზიკური პროცესები მიმდინარეობს სხეულთა დამაგნიტებისას?

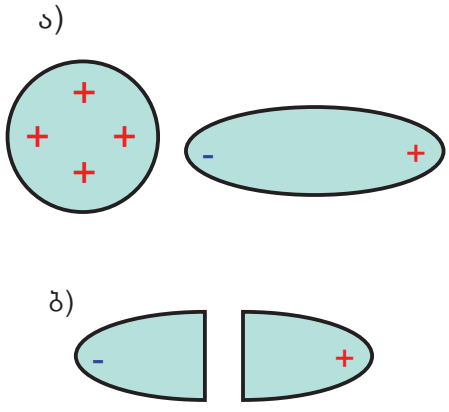
2.2.2. მაგნიტური ველის წარმოქმნის მექანიზმი

მივყვეთ ისტორიას. მაგნიტების ურთიერთქმედება რაოდენობრივად შეისწავლა შარლ ოგუსტენ კულონმა. ის იყენებდა იმავე გრეხით სასწორს, რომლითაც მუხტების ურთიერთქმედებას იკვლევდა. კულონმა დაადგინა გრძელი მაგნიტების პოლუსების ურთიერთქმედების კანონი. ის მიიჩნევდა, რომ პოლუსებში კონცენტრირებული იყო „მაგნიტური მუხტები“. მაგნიტის სამხრეთ და ჩრდილოეთ პოლუსების გაყოფის შეუძლებლობა მან იმით ახსნა, რომ „მაგნიტურ მუხტებს“ ნივთიერების ერთი მოლეკულიდან მეორეში თავისუფლად გადასვლის უნარი არ აქვს. ახალი სიდიდის – „მაგნიტური მუხტის“ შემოტანით კულონმა დაადგინა მაგნიტური ურთიერთქმედების კანონი: ორი მაგნიტური პოლუსი ურთიერთქმედებს (ურთიერთმიიზიდავს ან ურთიერთგანიზიდავს) ძალით, რომელიც პირდაპირპროპორციულია ამ პოლუსებში მოთავსებული „მაგნიტური მუხტების“ ნამრავლის და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის. მიუხედავად იმისა, რომ ეს კანონი ძალიან ჰგავს წერტილოვანი მუხტების ურთიერთქმედების კანონს, კულონმა ხაზი გაუსვა ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის არსებით განსხვავებას. კერძოდ, გავლენით დაელექტროებული სხეული შეგვიძლია ორ ნაწილად გავყოთ და მივიღოთ დადებითად და უარყოფითად დამუხტული სხეულები, მაგრამ შეუძლებელია დამაგნიტებული სხეულის გაყოფით მხოლოდ სამხრეთ ან ჩრდილოეთ პოლუსის მქონე მაგნიტები მივიღოთ, ანუ შეუძლებელია მივიღოთ მაგნიტი ერთი პოლუსით.

გავიხსენოთ ელექტროსტატიკური ინდუქციის ცდა: თუ დადებითად დამუხტულ სფეროს ლითონის სხეულს მივუახლოებთ, სფეროსთან ახლოს მყოფი სხეულის ნაწილი უარყოფითად დაიმუხტება, შორეული კი – დადებითად (სურ. 2.2.5 ა). ამ მდგომარეობაში სხეულის ორ ნაწილად გაყოფით, მივიღებთ დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ორ სხეულს (სურ. 2.2.5 ბ).

თუ ანალოგიურ ცდას მაგნიტით ჩავატარებთ, პირველი ნაბიჯი წარმატებული იქნება – რკინის ან

ვირტუალურ ლაბორატორიაში დააკვირდით როგორ მიმდინარეობს ლითონის დამაგნიტება გარეშე მაგნიტური ველის გავლენით:

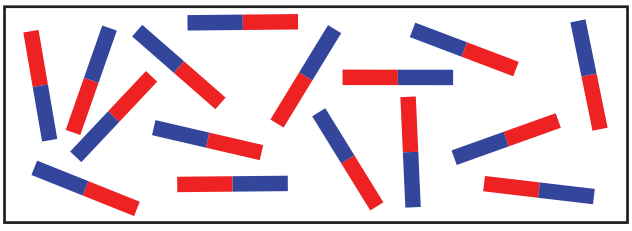


სურ. 2.2.5

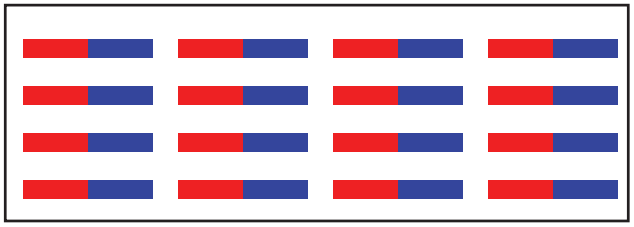
ფოლადის სხეულის მაგნიტთან მიტანით სხეული დამაგნიტდება. მაგნიტის ჩრდილოეთ პოლუსთან ახლოს მყოფი ნაწილი იქნება სამხრეთ პოლუსი, შორეული კი – ჩრდილოეთ პოლუსი (სურ. 2.2.6 ა). დამაგნიტებული რკინის ან ფოლადის სხეულის ორ ნაწილად გაყოფის შემდეგ, ერთპოლუსიან მაგნიტებს კი არა, ორ ორპოლუსიან მაგნიტს მივიღებთ (სურ. 2.2.6 ბ).

პოლუსების განცალკევების შეუძლებლობიდან გამომდინარე, კულონმა დაასკვნა: დამაგნიტებული ნივთიერების ყოველ ნაწილაკში განუყოფლადაა დაკავშირებული „მაგნიტური მუხტის“ ორი სახე, ანუ ასეთი ნივთიერების ყოველი ატომი, მოლეკულა, ან მათი მცირე ჯგუფი პატარა ორპოლუსიან მაგნიტს წარმოადგენს. თუ ამ მიდგომას ვაღიარებთ, მაშინ უნდა მივიჩნიოთ, რომ ჩვეულებრივ მდგომარეობაში რკინაში ან ფოლადში უკვე არის ასეთი ელემენტარული მაგნიტები, მაგრამ ისინი ქაოსურადაა განლაგებული (სურ. 2.2.7 ა). ამის გამო ყველა მათგანის ქმედება ერთმანეთს აკომპენსირებს და სხეული მთლიანობაში მაგნიტურ თვისებას არ ავლენს. როდესაც რკინის ან ფოლადის სხეულს მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ, ველი აიძულებს ელემენტარულ მაგნიტებს შემობრუნდნენ და ერთმანეთის მიყოლებით მოწესრიგებულად განლაგდნენ (სურ. 2.2.7 ბ). მაგნიტის შიგნით მეზობლად მდებარე ელემენტარული მაგნიტების საპირისპირო პოლუსების მოქმედება ერთმანეთს აბათილებს, ამიტომ მაგნიტური პოლუსები მხოლოდ კიდეებში იქმნება.

ა)



ბ)



სურ. 2.2.7

ა)



ბ)

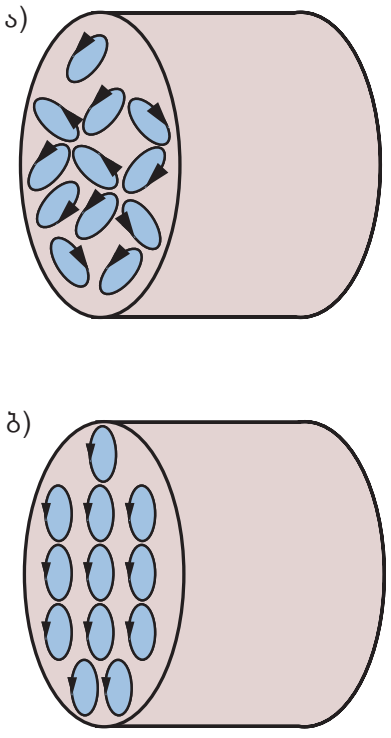


სურ. 2.2.6

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შესაძლებლობა გექნებათ, დააკვირდეთ მაგნიტისა და მაგნიტური ისრის ურთიერთქმედებას:

მოგვიანებით, დენის მაგნიტურ მოქმედებაზე დაყრდნობით, ანდრე მარი ამპერმა მაგნიტური მუხტების არსებობა უარყო. მან ივარაუდა, რომ ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების შიგნით არსებობს **წრიული ელემენტარული დენები.** როდესაც მათი ცირკულაციის (წრიული ბრუნვის) სიბრტყეები სხეულში ქაოსურადაა განლაგებული, დენების მაგნიტური მოქმედებები ერთმანეთს აკომპენსირებს და სხეული მაგნიტურ თვისებებს არ ავლენს (სურ. 2.2.8 ა). დამაგნიტებულ სხეულში კი ელემენტარული ელექტრული დენების ცირკულაციის სიბრტყეები გარკვეულის წესით ისეა განლაგებული, რომ მათი მაგნიტური მოქმედებები იკრიბება (სურ. 2.2.8 ბ). წრიული დენის ცირკულაციის სიბრტყის ერთი მხარე ჩრდილოეთ პოლუსს შეესაბამება, მეორე მხარე კი – სამხრეთ პოლუსს. სწორედ ამიტომ შეუძლებელია მაგნიტის სამხრეთ და ჩრდილოეთ პოლუსების განცალკევება, ისევე, როგორც სიბრტყის ერთი მხარისა მეორისაგან.

XX საუკუნეში შეიქმნა ატომის თეორია, რომლის მიხედვით ატომის ცენტრში დადებითად დამუხტული ბირთვია, მის გარშემო კი უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები მოძრაობენ. სწორედ ელექტრონების მოძრაობაა წრიული ელექტრული დენი, რომელიც ცირკულირებს ატომში. სხეულის დამაგნიტებისას ამ წრიული დენების სიბრტყეები ისე განლაგდება, რომ მათ მიერ შექმნილი მაგნიტური ველები ერთმანეთს აძლიერებს. აღმოჩნდა, რომ ელექტრონს მასისა და მუხტის გარდა აქვს კიდევ ერთი თვისება, რომელსაც სპინს უწოდებენ. ელექტრონს აქვს თვისება, შექმნას სპინთან დაკავშირებული მაგნიტური ველიც, რომელსაც თავისი წვლილი შეაქვს ატომის მიერ შექმნილ მაგნიტურ ველში.



სურ. 2.2.8

ახალი ტერმინები:

მაგნიტური ველი;

წრიული დენები.

უპასუხეთ კითხვებს

1. რა შემთხვევაში მიიზიდება ორი პარალელური დენიანი გამტარი?
2. რატომ ვერ გამოვიყენებთ მაგნიტური ველის შესასწავლად დენის მცირე ელემენტს?
3. რატომ უნდა იყოს მაგნიტური ველის შესასწავლი ჩარჩო მცირე ზომის?
4. წრფივ დენიან გამტარში დენის მიმართულების შეცვლა რატომ იწვევს დენიანი ჩარჩოს 180°-ით მობრუნებას (სურ. 2.2.3)?
5. რა ივარაუდა ამპერმა სხეულის მაგნიტური თვისების ბუნებაზე?
6. ატომის თეორიის თანახმად რას წარმოადგენს ელემენტარული ელექტრული დენი?
7. დროთა განმავლობაში რატომ სუსტდება სხეულის ნარჩენი დამაგნიტება?

რა ვისწავლეთ

- **ელექტრული დენი მის გარემომცველ სივრცეში ქმნის მაგნიტურ ველს;**
- **მაგნიტური ველი არის მატერიის ფორმა, რომლის საშუალებითაც ურთიერთქმედებენ მოძრავი დამუხტული ნაწილაკები; მოძრავ მუხტებს შორის გვაქვს როგორც ელექტრული, ასევე მაგნიტური ურთიერთქმედება.**
- **მაგნიტური ველი იქმნება ელექტრული დენით (მოძრავი მუხტებით) და ვლინდება დენზე (მოძრავ მუხტებზე) მოქმედებით;**
- **დამაგნიტებულ სხეულში ელემენტარული ელექტრული დენების ცირკულაციის სიბრტყეები მოწესრიგებულადაა განლაგებული და მათი მაგნიტური მოქმედებები იკრიბება.**

საშინაო აქტივობა

უპასუხეთ კითხვებს:

1. ერსტედის ცდები აჩვენებენ, რომ ერთმანეთის პარალელური სწორი დენიანი გამტარები ერთმანეთზე ურთიერთქმედებენ. რას უწოდებენ იმ შუალედურ რგოლს, რომლითაც ეს ურთიერთქმედება ხორციელდება?
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.
3. ლითონის დაუმუხტავ ღეროში უამრავი პროტონი და ელექტრონია, მათ შორის თავისუფალი ელექტრონებიც. შექმნის თუ არა მოძრავი ღერო თავის გარშემო მაგნიტურ ველს? პასუხი დაასაბუთეთ.
4. თუ ზოლოვან მაგნიტს შუაში გავჭრით, განცალკევდებიან თუ არა მისი პოლუსები ერთმანეთისგან?
5. როგორ შეიძლება დამაგნიტებული რკინის განმაგნიტება?
6. მაგნიტური ველის გამოსაკვლევად რატომ ამჯობინებენ მრავალხვიანი დენიანი ჩარჩოს გამოყენებას?
7. ყოველთვის შემობრუნდება თუ არა დენიანი ჩარჩო სწორ დენიან გამტართან მიახლოებისას? პასუხი დაასაბუთეთ.
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.

2.3. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი. მაგნიტური ინდუქციის წირები

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** მაგნიტური ველის დახასიათებას, რაოდენობრივად და რიცხობრივად;
- **შეძლებთ:** მაგნიტური ველის გამოსახვას;
- **შეძლებთ:** მაგნიტურ ურთიერთქმედებასთან დაკავშირებული ამოცანების ამოხსნას.

როგორც წინა პარაგრაფებიდან ვისწავლეთ, ელექტრულ ველს ახასიათებენ ვექტორული სიდიდით, რომელსაც ელექტრული ველის დაძაბულობა ეწოდება. ველის მოცემულ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობა გვიჩვენებს ამ წერტილში მოთავსებულ ერთეულოვან დადებით მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებასა და მოდულს. **რა ფიზიკური სიდიდით დავახასიათოთ მაგნიტური ველი?** ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებთ.

2.3.1. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება

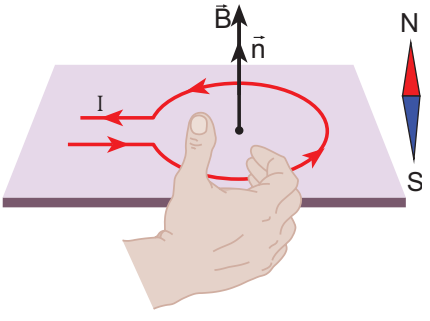
მაგნიტური ველის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდე ელექტრული ველის დაძაბულობის ანალოგიურად შემოვიღოთ.

მაგნიტურ ველში მოთავსებულ მაგნიტურ ისარზე, ასევე მოქნილ სადენებზე დაკიდებულ მცირე ზომის დენიან ჩარჩოზე, მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედებს მაბრუნებელი მომენტი. სწორედ ამიტომ მაგნიტური ველის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდე ვექტორული უნდა იყოს.

მაგნიტური ველის მახასიათებელ სიდიდეს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს უწოდებენ. ამ სიდიდეს $\vec{B}$-თი აღნიშნავენ.

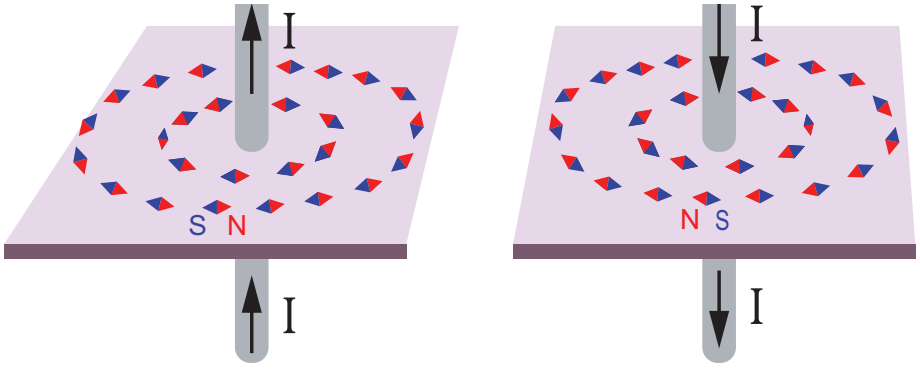
მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას ადგენენ მაგნიტურ ველში მოთავსებული მაგნიტური ისრის ან დენიანი ჩარჩოს ორიენტაციით.

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებად მიღებულია მაგნიტურ ველში მოთავსებული, ველით ორიენტირებული მაგნიტური ისრის მიმართულება S-დან N-სკენ (მაგნიტურ ისარს უნდა ჰქონდეს თავისუფალი ბრუნვის შესაძლებლობა). ამ მიმართულების დადგენა შესაძლებელია დენიანი ჩარჩოს საშუალებითაც **„მარჯვენა ხელის წესით“:** თუ მარჯვენა ხელის მოხრილი ოთხი თითი მიუთითებს ჩარჩოში დენის მიმართულებას, მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერა თითი გვიჩვენებს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას. ამ მიმართულებას დენიანი ჩარჩოს სიბრტყისადმი გავლებული დადებითი ნორმალის (სურათზე $\vec{n}$ ვექტორი) მიმართულებას უწოდებენ (სურ. 2.3.1).



სურ. 2.3.1

წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური ისარი დადგება იმ წრეწირის მხების გასწვრივ, რომლის სიბრტყე გამტარის მართობულია, ხოლო ცენტრი გამტარის ღერძზე მდებარეობს (სურ. 2.3.2).



სურ. 2.3.2

2.3.2. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდული

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულის დადგენა შეიძლება მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან ჩარჩოზე მაორიენტებელი მოქმედებით.

მცირე ზომის ერთი ხვიისაგან დამზადებული ჩარჩო ვერტიკალური დენიანი გამტარიდან მოშორებით, ან მაგნიტურ პოლუსებს შორის, შუაში მოვათავსოთ. ამ შემთხვევაში შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ ჩარჩოთი შემოსაზღვრული ზედაპირის ფარგლებში მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია.

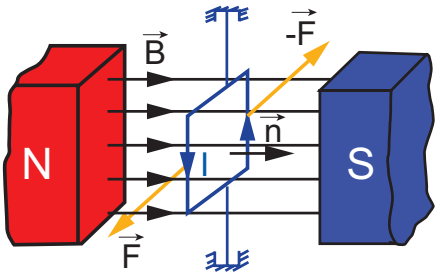
მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია ნიშნავს, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი სივრცის ყველა წერტილში ერთნაირია.

დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედებს ძალთა მაბრუნებელი მომენტი. ის დამოკიდებულია მაგნიტურ ველზე, ჩარჩოს ზომებზე, ფორმაზე, მაგნიტურ ველში მის მდებარეობაზე, ორიენტაციაზე და მასში გამავალ დენის ძალაზე.

მაგნიტური ისრის ან მცირე ზომის დენიანი ჩარჩოს მეშვეობით დადგენილია მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება მაგნიტის ორ პოლუსს შორის (იხ. სურ. 2.2.4). როდესაც ჩარჩოში დენის ძალა უცვლელია, მაგნიტური ველის მხრიდან ჩარჩოზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტი ინდუქციის ვექტორის მიმართ მის ორიენტაციაზეა დამოკიდებული:

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ აღწეროთ წრფივი დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ძალწირები:

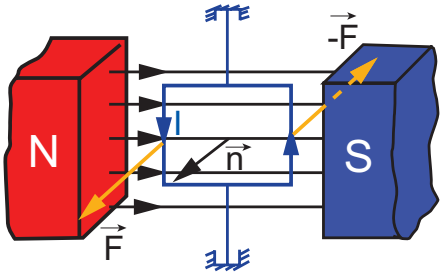
როდესაც ჩარჩოს სიბრტყე მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობულია, მასზე მოქმედი ძალთა მომენტი ნულის ტოლია და ეს ძალები მხოლოდ ჭიმავს ჩარჩოს (სურ. 2.3.3); დენიან ჩარჩოზე მოქმედი ძალთა მომენტი მაქსიმალურია მაშინ, როდესაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი მიმართულია ჩარჩოს სიბრტყის გასწვრივ (სურ. 2.3.4).



სურ. 2.3.3

ცდებით ასევე დადგინდა, რომ **დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალების მაქსიმალური მომენტი ჩარჩოს ფართობისა და მასში გამავალი დენის ძალის პროპორციულია:**

$$M_{max} \sim IS.$$



სურ. 2.3.4

ეს შედეგი შეიძლება გამოვიყენოთ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულის განსაზღვრისათვის ველის იმ წერტილში, სადაც ჩარჩოა მოთავსებული. მართლაც, შეფარდება M_{max}/IS არ არის დამოკიდებული ჩარჩოს ფართობსა და მასში დენის ძალაზე და ამიტომ სივრცის მოცემულ წერტილში ველის მახასიათებელი სიდიდეა. მაგნიტური ინდუქციის ერთეული შეიძლება ისე შეირჩეს, რომ პროპორციულობის კოეფიციენტი ერთის ტოლი იყოს.

SI-ში მაგნიტური ინდუქციის ერთეულად მიღებულია **1 ტესლა (1 ტლ),** ცნობილი სერბი ფიზიკოსის ნიკოლა ტესლას პატივსაცემად. **1 ტესლა იმ ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელშიც მოთავსებულ 1 მ² ფართობის მქონე ჩარჩოზე, მასში 1 ა დენის გავლისას, მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედებს 1 ნ·მ მაქსიმალური ძალთა მომენტი.**

ამ შემთხვევაში შეიძლება დავწეროთ:

$$B = \frac{M_{max}}{IS},$$

საიდანაც, $1\ \text{ტლ} = 1\frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}}{\text{ა} \cdot \text{მ}^2} = 1\frac{\text{ნ}}{\text{ა} \cdot \text{მ}}$.

თუ სივრცის მოცემულ წერტილში მაგნიტურ ველს ქმნის რამდენიმე დენიანი გამტარი (მაგნიტი), ამ წერტილში მათ მიერ შექმნილი ველების მაგნიტური ინდუქციები გეომეტრიულად იკრიბება, ანუ ელექტრული ველის მსგავსად, მაგნიტური ველისთვისაც მართებულია ზედდების პრინციპი:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \cdots + \vec{B}_n.$$

ახალი ტერმინები:

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი;

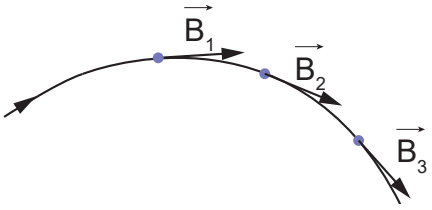
ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი;

მაგნიტური ინდუქციის წირები;

გრიგალური ველი.

2.3.3. მაგნიტური ინდუქციის წირები

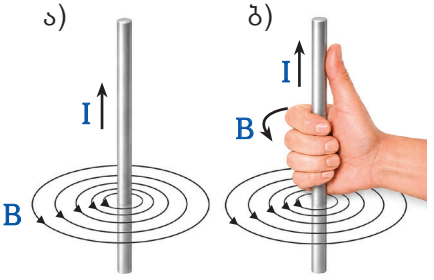
სივრცეში მაგნიტური ველის განაწილების თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად (ელექტრული ველის ანალოგიურად) შემოაქვთ მაგნიტური ინდუქციის წირები.



სურ. 2.3.5

მაგნიტური ინდუქციის წირები ისეთი წარმოსახვითი წირებია, რომელთა ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ამ წერტილში გავლებული მხების გასწვრივაა მიმართული (სურ. 2.3.5). მაგნიტური ინდუქციის წირის მიმართულება მიგვანიშნებს, თუ რომელ მხარესაა მიმართული მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი წირის მოცემულ წერტილში.

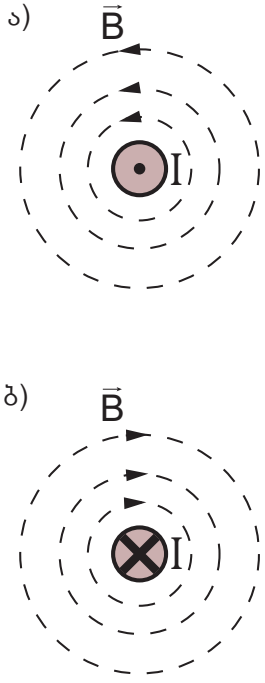
ავაგოთ მაგნიტური ინდუქციის წირები სხვადასხვა შემთხვევისათვის. დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირები დენიანი გამტარის მართობულ სიბრტყეში მდებარე კონცენტრული წრეწირებია, რომელთა ცენტრები გამტარზე მდებარეობს (სურ. 2.3.6 ა). ელექტრული დაძაბულობის წირების მსგავსად, **მაგნიტური ინდუქციის წირებს ისე ავლებენ, რომ მათი სიხშირე მოცემულ ადგილზე $\vec{B}$ ვექტორის მოდულს ახასიათებდეს.** სურ. ა)-ზე კონცენტრული წრეწირების სიხშირე მატულობს ცენტრთან. ეს ნიშნავს, რომ მაგნიტური ინდუქციის მოდული გამტართან მეტია, ვიდრე მისგან მოშორებით.



სურ. 2.3.6

მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულების დადგენა შესაძლებელია მარჯვენა ხელის კიდევ ერთი წესით: **თუ მარჯვენა ხელის 90°-ით გადახრილი ცერა თითი წრფივ გამტარში დენის მიმართულებას მიუთითებს, მაშინ მოხრილი ოთხი თითი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის წირების მიმართულებას გვიჩვენებს** (სურ. 2.3.6 ბ).

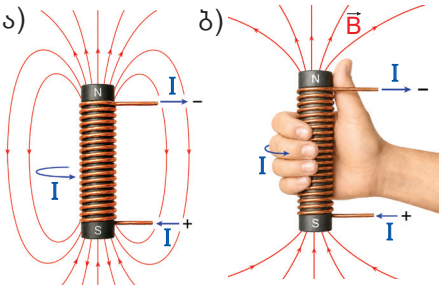
ხშირად ნახაზზე წრფივი გამტარის კვეთას გამოსახავენ. სურ. 2.3.7 ა-სა და 2.3.7 ბ-ზე ნაჩვენებია წრფივი დენიანი გამტარი მაგნიტური ინდუქციის წირებით. პირველ სურათზე დენი მიმართულია ნახაზის სიბრტყიდან ჩვენკენ, მეორე სურათზე კი – ჩვენგან ნახაზის სიბრტყისკენ.



სურ. 2.3.7

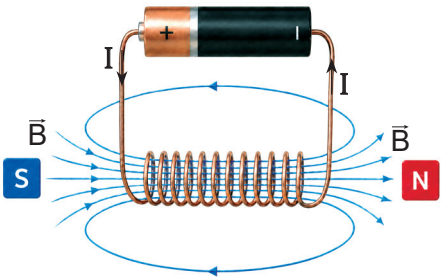
ცდებით დადგენილია, რომ დენიანი კოჭა (სოლენოიდი) წარმოქმნის მაგნიტურ ველს, რომლის ინდუქციის წირების სურათი გამოსახულია სურ. 2.3.8 ა-ზე. დენიანი კოჭა ქმნის ისეთივე მაგნიტურ ველს, როგორსაც ზოლოვანი მაგნიტი. სურათზე მოცემულ შემთხვევაში სოლენოიდის დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან შეერთებული ბოლო იქნება ჩრდილოეთ პოლუსი, ხოლო დადებითთან შეერთებული – სამხრეთ პოლუსი.

ძალწირების მიმართულება აქაც მარჯვენა ხელის წესით დგინდება: **თუ მარჯვენა ხელის მოხრილი ოთხი თითი კოჭას ხვიებში დენის მიმართულებას მიუთითებს, მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერა თითი კოჭაში მაგნიტური ველის წირების მიმართულებას გვიჩვენებს** (სურ. 2.3.8 ბ). ეს წესი უკვე გამოვიყენეთ დენიანი ჩარჩოს მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულების დასადგენად.



სურ. 2.3.8

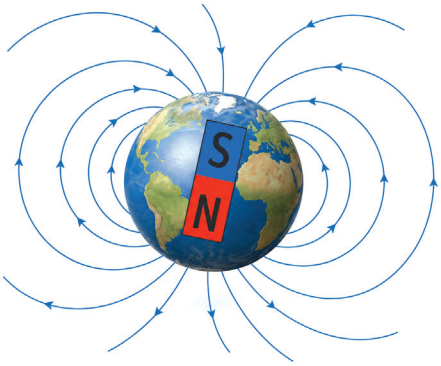
როდესაც სოლენოიდის სიგრძე გაცილებით დიდია მის დიამეტრზე, მაშინ სოლენოიდის შიგნით ინდუქციის წირები ერთმანეთის პარალელური და თანაბარი სიხშირისაა (სურ. 2.3.9), ე.ი. ყველა წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ერთნაირია. მაშასადამე, ასეთი სოლენოიდის შიგნით მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია.



სურ. 2.3.9

სურ. 2.3.10-ზე ნაჩვენებია დედამიწის მაგნიტური ველის წირები, რომლებიც სოლენოიდის წირების ანალოგიურია.

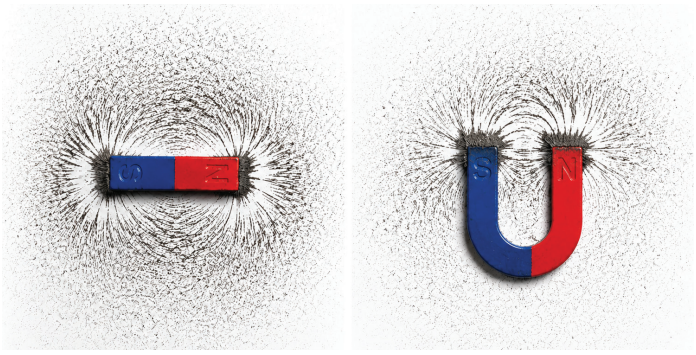
მაგნიტური წირების სურათი შეიძლება ხილული გავხადოთ, თუ გამოვიყენებთ რკინის ნაქლიბს. მაგნიტურ ველში მოთავსებული ნაქლიბის თითოეული ნაწილაკი დამაგნიტდება და ისე იქცევა, როგორც პატარა მაგნიტური ისარი. შედეგად, ნაქლიბი მაგნიტური წირების გასწვრივ განლაგდება. სურ. 2.3.11-ზე ნაქლიბის გამოყენებით ხილული წირების მიღების ორი შემთხვევაა გამოსახული.



სურ. 2.3.10

მაგნიტური ინდუქციის წირების მნიშვნელოვანი თვისება ისაა, რომ მათ არ აქვთ არც დასაწყისი, არც ბოლო. ისინი ყოველთვის შეკრული წირებია, განსხვავებით ელექტროსტატიკური ველის წირებისაგან.

ველს, რომლის ძალწირები შეკრულია, **გრიგალურ ველს** უწოდებენ. **მაგნიტური ველი გრიგალურია.** მაგნიტური ველის გრიგალურობა მისი ფუნდამენტური თვისებაა.



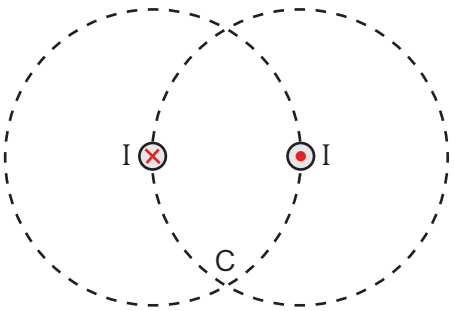
სურ. 2.3.11

ვირტუალურ ლაბორატორიაში შეგიძლიათ გაზომოთ მაგნიტური ველის ინდუქცია:

საკლასო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

1. 100 ხვიისაგან შედგენილი კვადრატული ფორმის გამტარი ჩარჩო მოთავსებულია 0,5 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ისე, რომ ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი 0,02 ნ · მ-ია. იპოვეთ ჩარჩოს გვერდის სიგრძე, თუ ჩარჩოში დენის ძალა 1ა-ია.
2. ერთმანეთისგან R მანძილით დაშორებულ ორ პარალელურ წრფივ გამტარში გადის საპირისპირო მიმართულების და ერთნაირი მნიშვნელობის I დენი (ზედხედის სურათი – მარცხენა გამტარში დენი ნახაზის სიბრტყის მართობულად ჩადის, მეორეში კი ამოდის) (სურ. 2.3.12). გამტარების მართობულ სიბრტყეში, გამტარებიდან R მანძილით დაშორებულ C წერტილში დახაზეთ თითოეული დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი და დაადგინეთ ჯამური მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული და მიმართულება, თუ ცნობილია, რომ თითოეული დენი ამ წერტილში ერთნაირი მოდულის B მაგნიტურ ინდუქციას ქმნის.



სურ. 2.3.12

უპასუხეთ კითხვებს

1. რომელი ცდები მიუთითებს იმაზე, რომ მაგნიტური ინდუქცია ვექტორული სიდიდე უნდა იყოს?
2. რისი პროპორციულია დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური ძალთა მომენტი?
3. რატომ გამოდგება $\frac{M_{max}}{IS}$ შეფარდება მაგნიტური ველის მახასიათებელ სიდიდედ?
4. რა არის მაგნიტური ველების ზედდების პრინციპი?
5. რას წარმოადგენს წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირები?
6. რა შემთხვევაში იქნება დენიანი სოლენოიდის შიგნით ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი?
7. ემთხვევა თუ არა დასახელებით, დედამიწის გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს?
8. რისი შედეგია, რომ მაგნიტური ველის ძალწირები შეკრულია?

რა ვისწავლეთ

- **მაგნიტური ველის მახასიათებელ სიდიდეს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს უწოდებენ და $\vec{B}$-თი აღნიშნავენ;**
- **მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებად მიღებულია მაგნიტურ ველში მოთავსებული, თავისუფალი ბრუნვის შესაძლებლობის მქონე, ველით ორიენტირებული მაგნიტური ისრის მიმართულება S-დან N-სკენ;**
- **მაგნიტური ინდუქციის მოდული მოცემულ წერტილში ტოლია ამ წერტილში მოთავსებულ დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური**

ძალთა მომენტის შეფარდებისა ჩარჩოს ფართობისა და მასში გამავალი დენის ძალის ნამრავლთან: $B = \frac{M_{max}}{IS}$;

- 1 ტესლა იმ ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელშიც მოთავსებულ 1 მ^2 ფართობის მქონე ჩარჩოზე, მასში 1 ა დენის გავლისას, მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედებს 1 ნ·მ მაქსიმალური ძალთა მომენტი;
- მაგნიტური ინდუქციის წირები ისეთი წარმოსახვითი წირებია, რომელთა ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ამ წერტილში გავლებული მხების გასწვრივაა მიმართული;
- მაგნიტური ინდუქციის წირებს ისე ავლებენ, რომ მათი სიხშირე მოცემულ ადგილზე $\vec{B}$ ვექტორის მოდულს ახასიათებს;
- თუ მარჯვენა ხელის 90°-ით გაშლილი ცერა თითი წრფივ გამტარში დენის მიმართულებას მიუთითებს, მაშინ მოხრილი ოთხი თითი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის წირების მიმართულებას გვიჩვენებს;
- თუ მარჯვენა ხელის მოხრილი ოთხი თითი კოჭაში დენის მიმართულებას მიუთითებს, მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერა თითი კოჭაში მაგნიტური ველის წირების მიმართულებას გვიჩვენებს;
- მაგნიტური ველი გრიგალურია.

როგორ იხსნება ამოცანები

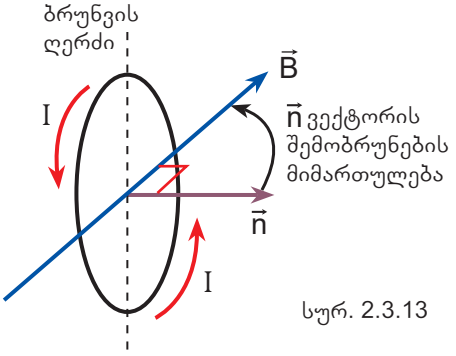
ამოცანა

ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში 3 სმ რადიუსის მქონე დენიან ჩარჩოზე ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი 0,002 ნ·მ-ია. რისი ტოლია მაგნიტური ველის ინდუქცია, თუ ჩარჩოში დენის ძალა 1 ა-ია.

ამოხსნა.

მოც.: $R = 3$ სმ $= 0{,}03$ მ;
$M_{max} = 0{,}002$ ნ·მ;
$I = 1$ ა.

უ.ვ.: B



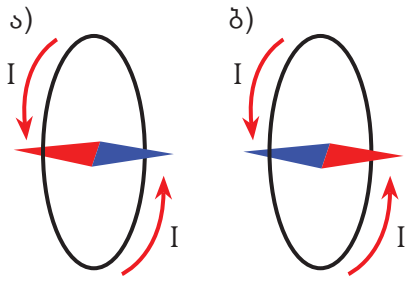
სურ. 2.3.13

- განმარტების თანახმად, $B = \frac{M_{max}}{IS}$, რომელშიც $S = \pi R^2$ ჩარჩოს ფართობია, M_{max} – კი დენიან ჩარჩოზე ველის მხრიდან მოქმედი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი.
- მაბრუნებელი მომენტი მაშინ იქნება მაქსიმალური, როდესაც ჩარჩოს $\vec{n}$ ნორმალი მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორთან 90°-იან კუთხეს ქმნის (სურ. 2.3.13).
- შესაბამისად: $B = \frac{0{,}002}{1 \cdot 3{,}14 \cdot (0.03)^2} = 0.7$ ტლ.

პასუხი: $B = 0.7$ ტლ.

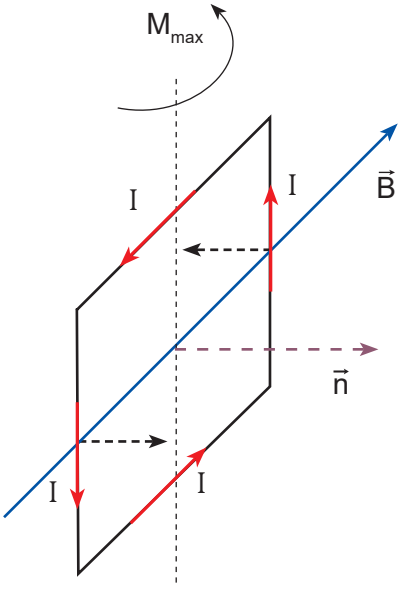
ამოხსენით ამოცანები:

1. სურ. 2.3.14-ზე ნაჩვენები ორი შემთხვევიდან რომელი მათგანი შეესაბამება მაგნიტური ისრის მართებულ ორიენტაციას?



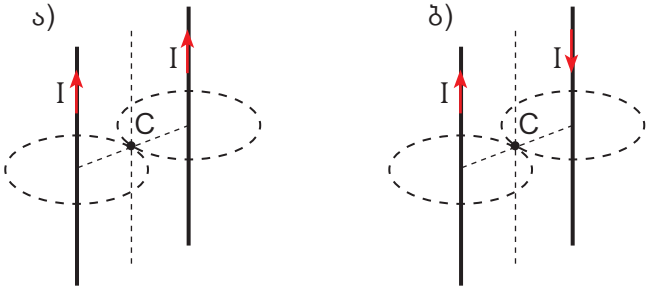
სურ. 2.3.14

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.
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?
4. 2 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია 5 სმ სიგრძის და 6 სმ სიგანის მქონე მართკუთხა გამტარი ჩარჩო ისე, რომ ჩარჩოს $\vec{n}$ ნორმალი მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორთან 90^0-იან კუთხეს ქმნის (სურ. 2.3.15). რისი ტოლია ჩარჩოში დენის ძალა, თუ ამ დროს ჩარჩოზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტი 0,0018 ნ·მ-ია ?



სურ. 2.3.15

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?
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?
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?
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.



სურ. 2.3.16

პრაქტიკული სამუშაო – კომპასი და დედამიწის მაგნიტური ველი

სამუშაოს მიზანი: დავამზადოთ კომპასი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება განვსაზღვროთ ჰორიზონტის მხარეები.

საჭირო მასალები:
- საკერავი ნემსი (ნემსთან შეხებისას გამოიჩინეთ სიფრთხილე).
- მუდმივი მაგნიტი (მაგალითად, მაცივრის კარის მაგნიტი).
- თეფში ან ფართო ჯამი წყლით.
- „ტივტივა“: ხის საცობის (კორპის) თხელი ნაჭერი, ან უბრალოდ ხის მშრალი ფოთოლი.
- ტელეფონი, ნამდვილი კომპასის აპლიკაციით – შედეგის გადასამოწმებლად.

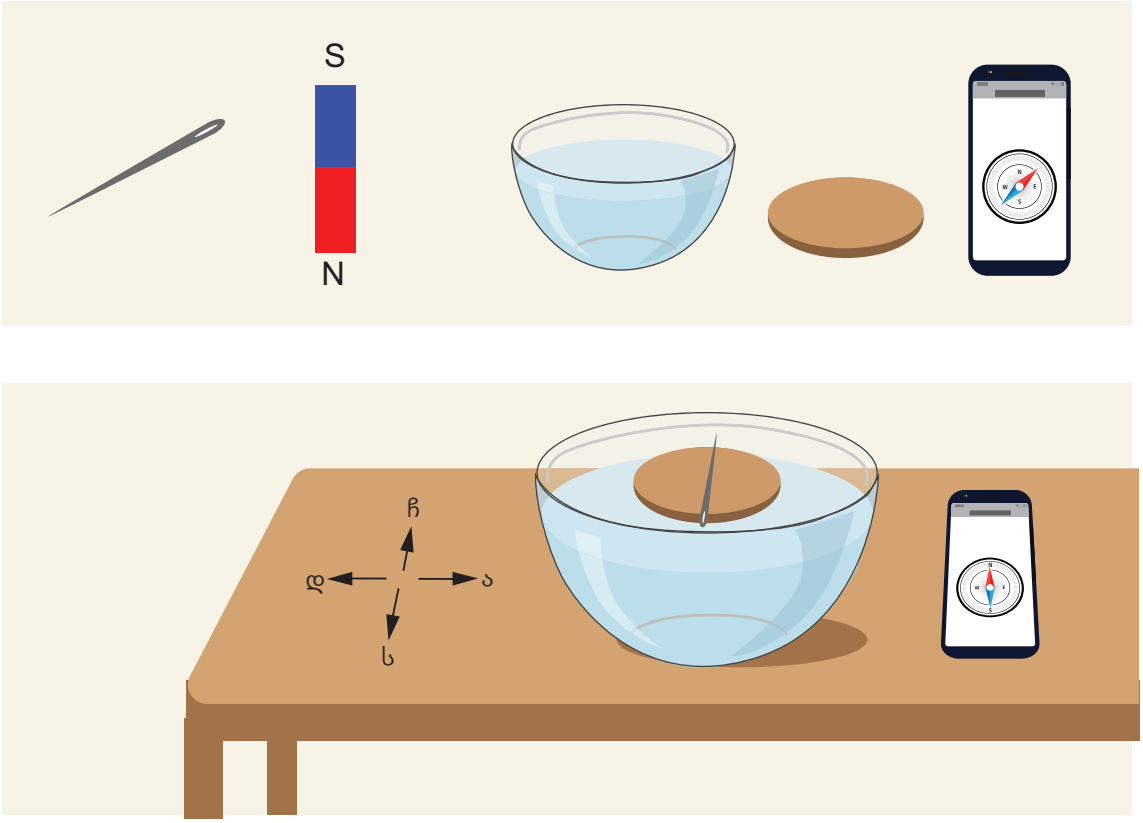
სამუშაოს მსვლელობა:



ნაბიჯი 1: ნემსის დამაგნიტება: აიღეთ ნემსი და წვერით მაგნიტის სამხრეთ პოლუსს გადაუსვით 30-40-ჯერ.

ნაბიჯი 2: კომპასის აწყობა: წყლიან თეფშში ფრთხილად ჩაუშვით „ტივტივა„ (ფოთოლი ან კორპის ნაჭერი), ხოლო მასზე ზემოდან ფრთხილად დადეთ დამაგნიტებული ნემსი (ჰორიზონტალურად).

ნაბიჯი 3: დაკვირვება: დაელოდეთ, სანამ წყალი მოძრაობას და ნემსი ტრიალს შეწყვეტს. ჩაინიშნეთ, რა მიმართულება დაიკავა ნემსის წვერმა. სმარტფონის კომპასით გადაამოწმეთ, ემთხვევა თუ არა ნემსის წვერის მიმართულება ჩრდილოეთს.



სურ. 2.3.17

მოამზადეთ მოკლე პრეზენტაცია, ჩანაწერი რვეულში ან გადაიღეთ 1-წუთიანი ვიდეო, სადაც უპასუხებთ შემდეგ კითხვებს:

1. როგორ დამაგნიტდა ნემსი მაგნიტზე მრავალჯერადი გადასმისას?
2. რატომ არის აუცილებელი ნემსის წყალზე ტივტივი? რა ძალას ვამცირებთ ამით, რაც ნემსს დედამიწის პოლუსის მიმართულებით შემობრუნების საშუალებას არ აძლევს?
3. რა მოხდება, თუ წყალთან ახლოს სხვა მაგნიტს მიიტანთ?

2.4. მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარსა და მოძრავ მუხტზე

სამეცნიერო და ტექნოლოგიური პროგრესისთვის უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ელექტროძრავას გამოგონებას. ელექტროძრავას საშუალებით მოძრაობს ელექტრომობილი, მუშაობს ისრიანი საათი, სარეცხი მანქანა და ა.შ. სწორედ ელექტროძრავაში გარდაიქმნება ელექტროენერგია მექანიკურ ენერგიად. **რა ძალა აიძულებს ელექტროძრავას ღერძს, რომ იბრუნოს?** ჩვენ უკვე გავეცანით საზომ ხელსაწყოებს, ამპერმეტრს და ვოლტმეტრს. **რატომ გადაიხრება ელექტროგამზომი ხელსაწყოს ისარი მასში დენის გავლისას?** ამ პარაგრაფში შევისწავლოთ ძალა, რომელიც ამ და სხვა მსგავსი მოვლენების მიზეზია.

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **ისწავლით:** როგორ და რა ძალით მოქმედებს მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე;
- **ისწავლით:** როგორ და რა ძალით მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე;
- **შეძლებთ:** გაარკვიოთ მრავალი ელექტროხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი;
- **შეძლებთ:** ახსნათ როგორ არის შესაძლებელი მაღალი სიჩქარით მოძრავი მუხტების მოძრაობის მართვა.

2.4.1. ამპერის ძალა

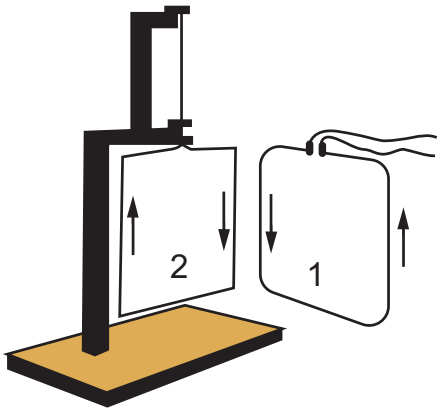
როგორც წინა პარაგრაფებიდან იცით, ერთგვაროვან მაგნიტურ ველს დენიან ჩარჩოზე მხოლოდ მაბრუნებელი მოქმედება შეუძლია. ეს ნიშნავს, რომ ჩარჩოს სხვადასხვა ნაწილზე მოდებული ძალების ჯამი ნულის ტოლია, მაგრამ ნულისგან განსხვავებულია ამ ძალთა ჯამური მაბრუნებელი მომენტი. რისი ტოლია მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა და რა თვისებები აქვს მას? ცდები გვიჩვენებს, რომ მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა არც ცენტრულია (რადგან ის ბრუნვით მოძრაობას იწვევს) და არც კონსერვატიულია (ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე მისი მუშაობა ნულისგან განსხვავებულია).

განვსაზღვროთ ძალა, რომლითაც მუდმივი მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე მოქმედებს. ამისათვის კი საჭიროა დავადგინოთ კანონი დენის ცალკეულ ელემენტზე მოქმედი ძალისათვის. მხოლოდ ასეთ კანონს შეიძლება ჰქონდეს ზოგადი მნიშვნელობა.

კანონი შეიძლება დადგინდეს მხოლოდ ცდით, მაგრამ მუდმივი დენი ყოველთვის ჩაკეტილია, ამიტომ დენის ელემენტის (დენიანი გამტარის მცირე ზომის მონაკვეთი) შექმნა და, შესაბამისად, მასზე ცდის ჩატარება შეუძლებელია. ასეთ შემთხვევაში რჩება ერთი გზა – დენის ელემენტზე მოქმედი ძალისათვის შევარჩიოთ კანონი, რომელიც ნებისმიერი ჩაკეტილი წრედისათვის მოგვცემს ცდის შედეგებთან თანხვედრას.

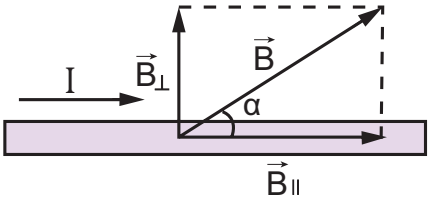
ეს ამოცანა გადაჭრა ამპერმა. მან დაადგინა დენების ურთიერთქმედების კანონი და აღწერა მაგნიტური ურთიერთქმედება.

ამპერის ერთ-ერთი ცდისათვის შექმნილი ხელსაწყო სურ. 2.4.1-ზეა გამოსახული. ჩარჩო (1) დამაგრებულია უძრავად, ჩარჩო (2)-ზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტის გასაზომად კი გამოყენებულია გრეხითი სასწორი. ცდის მიმდინარეობისას ამპერმა დაასკვნა, რომ პარალელური დენიანი გამტარები, რომლებშიც ერთი მიმართულების დენები გადის ერთმანეთს მიიზიდავს, საპირისპირო მიმართულების დენების შემთხვევაში კი – განიზიდავს. ურთიერთმართობული დენიანი გამტარები ერთმანეთზე არ მოქმედებს. ამასთან, დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა პირდაპირპროპორციულია მასში გამავალი დენის ძალის ($F \sim I$), გამტარის სიგრძის ($F \sim \ell$), მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულის ($F \sim B$) და დამოკიდებულია მაგნიტური ინდუქციის ვექტორსა და დენის მიმართულებას შორის კუთხეზე.



სურ. 2.4.1

ვთქვათ, მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი დენის მიმართულებასთან რაიმე α კუთხეს ქმნის. $\vec{B}$ ვექტორი წარმოვადგინოთ ორი ისეთი ვექტორის ჯამის სახით, რომელთაგან ერთი გამტარის გასწვრივ იქნება მიმართული ($\vec{B}_{\parallel}$ – პარალელური კომპონენტი), მეორე კი – მის მართობულად ($\vec{B}_{\perp}$ – მართობული კომპონენტი) (სურ. 2.4.2). ცდები აჩვენებს, რომ $\vec{B}_{\parallel}$ კომპონენტი გამტარზე არ მოქმედებს, მოქმედებს მხოლოდ $\vec{B}_{\perp}$, რომლის მოდული ტოლია:



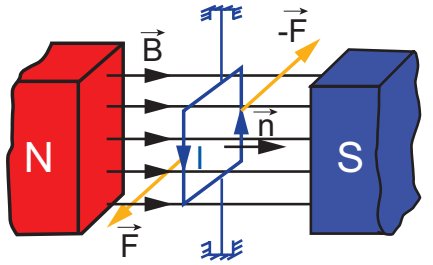
სურ. 2.4.2

$$B_{\perp} = B\sin\alpha.$$

თუ წინა შედეგებსაც გავითვალისწინებთ, მივიღებთ: $F \sim BI\ell \sin\alpha$.

ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე მოქმედებს, **ამპერის ძალას** უწოდებენ.

გაიხსენეთ, რომ მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი ჩარჩო იწყებს ბრუნვას (სურ. 2.4.3). ამის მიზეზი ჩარჩოს გვერდებზე მოქმედი ამპერის ძალებია. სწორედ ამ პრინციპზე მუშაობს ელექტროძრავაც, რომელიც ელექტროენერგიას მექანიკურში გარდაქმნის (იხ. QR-კოდი).



სურ. 2.4.3

იმისათვის, რომ ამპერის ძალის ფორმულამ მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან ჩარჩოზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტის სწორი გამოსახულება მოგვცეს, პროპორციულობის კოეფიციენტი ერთის ტოლი უნდა იყოს, ამიტომ ამპერის ძალის მოდული ასეთი სახით ჩაიწერება:

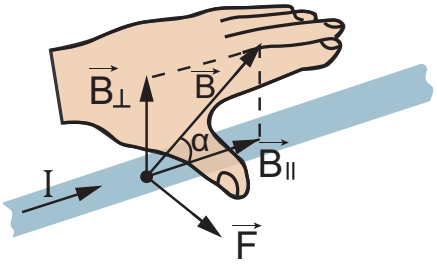
$$F_{ა} = BI\ell \sin\alpha.$$

ამპერის ღვაწლის აღსანიშნავად, მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის აღმწერი კანონი **ამპერის** სახელს ატარებს.

QR-კოდზე შეგიძლიათ იხილოთ ელექტროძრავას მუშაობის პრინციპი:

ამპერის ძალის მიმართულების დასადგენად გამოიყენება მარცხენა ხელის წესი:

თუ მარცხენა ხელს ისე დავიჭერთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის დენისადმი მართობული კომპონენტი ხელის გულში მის მართობულად შედიოდეს, ოთხი გაშლილი თითი კი დენის მიმართულებას გვიჩვენებდეს, მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერა თითი ამპერის ძალის მიმართულებას გვიჩვენებს (სურ. 2.4.4).



სურ. 2.4.4

ამპერის კანონი შეიძლება თვისობრივად შემოწმდეს სურ. 2.4.5-ზე გამოსახული დანადგარით. ამ დანადგარის საშუალებით შესაძლებელია: რეოსტატის გამოყენებით ვცვალოთ დენის ძალა გამტარში; კიდევ ერთი ასეთივე მაგნიტის დამატებით ვცვალოთ გამტარის სიგრძე, რომელიც მაგნიტურ ველშია მოთავსებული; სხვადასხვა მაგნიტების გამოყენებით ვცვალოთ მაგნიტური ველის ინდუქცია; შესაძლებელია ვცვალოთ გამტარის დახრის კუთხეც.

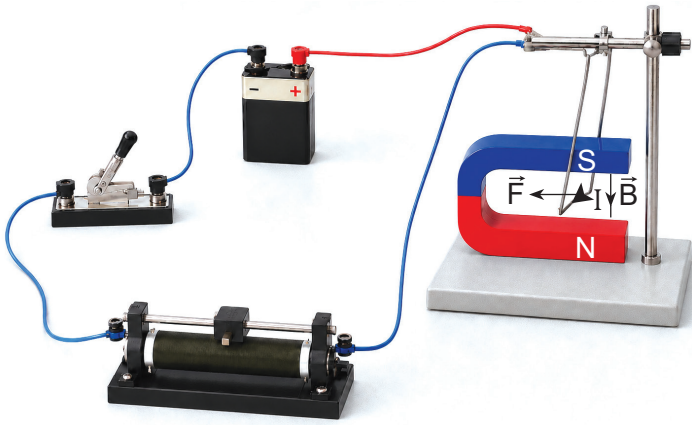
თითოეულ შემთხვევაში ამპერის კანონზე დაყრდნობით შეიძლება გამტარზე მოქმედი ძალის გამოთვლა და შემდეგ ცდის შედეგთან შედარება.

ახალი ტერმინები:

ამპერის ძალა;

ამპერის კანონი;

ლორენცის ძალა.

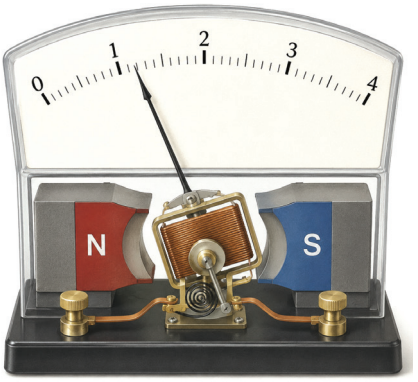


სურ. 2.4.5

2.4.2. ლორენცის ძალა

როგორც იცით, ელექტრული დენი დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობაა. სწორედ ამიტომ დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მოქმედება შედეგია მაგნიტური ველის მოქმედებისა გამტარში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე.

ვთქვათ, $\vec{B}$ ინდუქციის მაგნიტურ ველში $\vec{v}$ სიჩქარით მოძრაობს q მუხტის მქონე ნაწილაკი. ინდუქ-

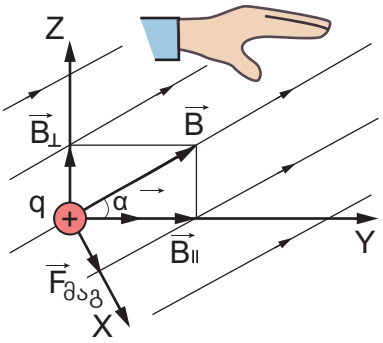


ამპერმეტრში ისარი დაკავშირებულია ჩარჩოსთან, რომელშიც გადის გასაზომი დენი. დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მაბრუნებელი მოქმედება იწვევს ისრის გადახრას.

ციის ვექტორსა და ნაწილაკის სიჩქარეს შორის კუთხე α-ს ტოლია. მაშინ მაგნიტური ველის მხრიდან ამ ნაწილაკზე მოქმედი ძალა გამოისახება ფორმულით:

$$F_{მაგ} = |q|vB \sin\alpha.$$

ამ ძალის მიმართულების დასადგენად უნდა გამოვიყენოთ მარცხენა ხელის წესი: **თუ მარცხენა ხელს ისე დავიჭერთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მუხტის სიჩქარისადმი მართობული კომპონენტი ხელის გულში მართობულად შედიოდეს, ოთხი თითი მიმართული იყოს დადებითი მუხტის მოძრაობის მიმართულებით (უარყოფითი მუხტის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ), მაშინ 90°-ით გადახრილი ცერა თითი მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას გვიჩვენებს (სურ. 2.4.6).**



სურ. 2.4.6

თუ q მუხტზე ერთდროულად მოქმედებს ელექტრული ($F_{ელ} = q\vec{E}$) და მაგნიტური ველი, მაშინ მასზე მოქმედი ჯამური ძალა ტოლი იქნება:

$$\vec{F}_{ლ} = \vec{F}_{ელ} + \vec{F}_{მაგ}.$$

ეს ფორმულა თავის შრომებში ამ სახით პირველად გამოიყენა ცნობილმა ნიდერლანდელმა ფიზიკოსმა ჰენდრიკ ლორენცმა (სურ. 2.4.7). მის პატივსაცემად ამ ძალას ლორენცის ძალას უწოდებენ. რადგან მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალა ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ამიტომ ის მუშაობას არ ასრულებს. ამიტომ, მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალა არ ცვლის ნაწილაკის კინეტიკურ ენერგიას და შესაბამისად, სიჩქარის მოდულს. ის მხოლოდ ნაწილაკის სიჩქარის მიმართულებას ცვლის.

როდესაც მუხტზე მხოლოდ მაგნიტური ველი მოქმედებს, ლორენცის ძალა: $F_{ლ} = |q|vB \sin\alpha$.

$\vec{F}_{მაგ}$, $\vec{B}_\perp$ და $\vec{v}$ ვექტორები ყოველთვის ერთმანეთის მართობულია.



სურ. 2.4.7 ჰენდრიკ ლორენცი (1853–1928)

$\vec{F}_{ელ}$ – ელექტრული ველის მხრიდან მუხტზე მოქმედი ძალა (ელექტრული ძალა).

$\vec{F}_{მაგ}$ – მაგნიტური ველის მხრიდან მუხტზე მოქმედი ძალა (მაგნიტური ძალა).

საკლასო აქტივობა

ამოხსენით ამოცანები:

1. ჰორიზონტალურად მიმართულ B = 0,8 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირების მართობულად, ორ ძაფზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში დაკიდებულია m = 40 გ მასის და L = 1 მ სიგრძის სპილენძის სწორი მავთული. მოქნილი, მსუბუქი მიმყვანი სადენებით მავთულში გაატარეს I = 2 ა დენი. მინიმუმ რა დაჭიმულობას უნდა უძლებდეს თითოეული ძაფი, რომ მავთულში ამ დენის გატარებისას არ გაწყდეს? (ძაფები ვერტიკალურ მდგომარეობაშია).
2. ერთი და იმავე კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონი და α ნაწილაკი შეიჭრა ერთი და იმავე ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირების მართობულად (α ნაწილაკი ჰელიუმის ატომის ბირთვია, რომლის მასა $m_\alpha = 4m_p$, მუხტი კი $q_\alpha = 2q_p = 2e$). რომელ მათგანზე იმოქმედებს მაგნიტური ველი მეტი ძალით? რამდენჯერ მეტია ერთი ძალა მეორეზე?

უპასუხეთ კითხვებს

1. რა განსხვავებაა მაგნიტური ველის მხრიდან მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალისა და ელექტრული ძალის ბუნებას შორის?
2. როგორ უნდა მოვათავსოთ დენიანი გამტარი მაგნიტურ ველში, რომ მასზე მოქმედი ამპერის ძალის მოდული მაქსიმალური იყოს? ნულის ტოლი იყოს?
3. რა შემთხვევაში იმოქმედებს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ მუხტზე მაქსიმალური ლორენცის ძალა?
4. რა შემთხვევაში არ იმოქმედებს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ მუხტზე ლორენცის ძალა?
5. ერთმანეთის მიმართ როგორ უნდა მოძრაობდნენ სხვადასხვანიშნიანი დამუხტული ნაწილაკები მაგნიტურ ველში, რომ მათზე ერთი და იმავე მიმართულების ლორენცის ძალამ იმოქმედოს?

რა ვისწავლეთ

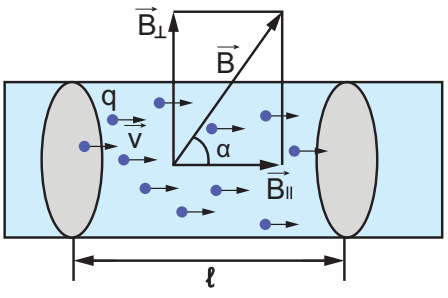
- **მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედ ძალას, ამპერის ძალას უწოდებენ;**
- **ამპერის ძალის მოდული გამოითვლება ფორმულით: $F_ა = BIℓ\sin\alpha$;**
- **თუ მარცხენა ხელს ისე დავიჭერთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობული კომპონენტი ხელის გულში მართობულად შედიოდეს, ოთხი გაშლილი თითი კი დენის მიმართულებას გვიჩვენებდეს, მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერა თითი ამპერის ძალის მიმართულებას გვიჩვენებს;**
- **ჯამურ ძალას, რომლითაც მაგნიტური და ელექტრული ველები მოქმედებს მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე, ლორენცის ძალას უწოდებენ;**
- **ლორენცის ძალის მოდული გამოითვლება ფორმულით: $F_ლ = |q|vB\sin\alpha$;**
- **თუ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მუხტის სიჩქარისადმი მართობული კომპონენტი მარცხენა ხელის გულში მართობულად შედის, ხოლო, ოთხი თითი მიმართულია დადებითი მუხტის მოძრაობის მიმართულებით (უარყოფითი მუხტის შემთხვევაში, მისი მოძრაობის საწინააღმდეგოდ), მაშინ 90°-ით გადახრილი ცერა თითი მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას გვიჩვენებს.**

კიდევ რა შეიძლება ვიცოდეთ

მაგნიტური ძალის გამოსათვლელი ფორმულის მიღება შესაძლებელია ამპერის კანონიდან. განვიხილოთ წრფივი დენიანი გამტარის მონაკვეთი (სურ. 2.4.8). გამტარის მონაკვეთის ℓ სიგრძე და განივკვეთის S ფართობი იმდენად მცირე ავიღოთ, რომ ამ მონაკვეთის ფარგლებში შეგვეძლოს მაგნიტური ველი ერთგვაროვნად მივიჩნიოთ.

გამტარში გამავალი I დენის ძალა დამოკიდებულია მოწესრიგებულად მოძრავი ნაწილაკების q მუხტზე, მათ n კონცენტრაციაზე, მიმართული მოძრაობის v სიჩქარეზე და გამოისახება ფორმულით:

$$I = qnvS. \qquad (1)$$



სურ. 2.4.8

მეორეს მხრივ, მაგნიტური ველის მხრიდან დენიანი გამტარის არჩეულ მონაკვეთზე მოქმედი ამპერის ძალის მოდული ტოლია:

$$F_ა = BIℓ \sin\alpha. \qquad (2)$$

თუ ამ ფორმულაში დენის ძალის (1) გამოსახულებას ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$F_ა = |q|nvSℓB \sin\alpha,$$

რომელშიც ნამრავლი $N = nSℓ$ არჩეულ მოცულობაში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობაა. ცხადია, თითოეულ დამუხტულ ნაწილაკზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ლორენცის ძალის მოდული ტოლი იქნება:

$$F_ლ = \frac{F_ა}{N} = |q|vB \sin\alpha,$$

რომელშიც α მაგნიტური ინდუქციის ვექტორსა და ნაწილაკის სიჩქარეს შორის კუთხეა.

როგორ იხსნება ამოცანები

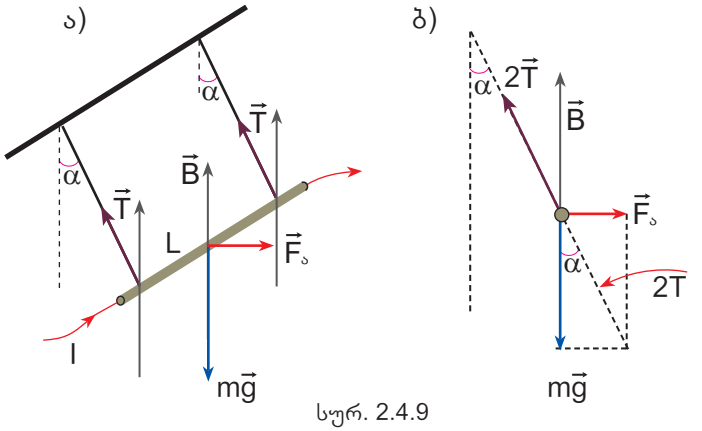
ამოცანა 1.

1. $B = 0{,}8$ ტლ ინდუქციის ვერტიკალურად ზევით მიმართულ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ორ ძაფზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში დაკიდეს $m = 100$ გ მასის და $L = 50$ სმ სიგრძის სპილენძის სწორი მავთული. როდესაც მოქნილი, მსუბუქი მიმყვანი სადენებით მავთულში დენი გაატარეს, იგი ისე გადაიხარა, რომ ძაფებმა ვერტიკალთან 45^0-იანი კუთხე შექმნეს. რა მნიშვნელობის დენი გაატარეს მავთულში?

ამოხსნა

მოც.: $B = 0{,}8$ ტლ;
$m = 100$ გ $= 0{,}1$ კგ;
$L = 50$ სმ $= 0{,}5$ მ;
$\alpha = 45^0$.

უ.ვ.: I



სურ. 2.4.9

• შევადგინოთ ამოცანის პირობის შესაბამისი ნახაზი (სურ. 2.4.9 ა). ჰორიზონტალურ მავთულზე მისი ღერძის მართობულად მოქმედებს: ორი ძაფის დაჭიმულობის $\vec{T} + \vec{T} = 2\vec{T}$, სიმძიმის $m\vec{g}$ და ამპერის $\vec{F}_ა$ ძალები. მავთული წონასწორობაშია, ე.ი. $2\vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_ა = 0$ (სურ. 2.4.9 ბ).

• ამ ვექტორებით შექმნილი მართკუთხა სამკუთხედისათვის გამოვიყენოთ ტრიგონომეტრიული კავშირი: $\mathrm{tg}\alpha = \frac{F_ა}{mg}$.

- რადგან მავთული მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულია, ამიტომ $F_ა = BIℓ$.
- ვიცით, რომ $tg45^0 = 1$. შესაბამისად: $BIℓ = mg$ აქედან $I = \frac{mg}{Bℓ} = \frac{0,1 \cdot 10}{0,8 \cdot 0,5} = 2,5$ (ა).

პასუხი: დენის ძალა 2,5 ა-ია.

ამოცანა 2.

$\vec{v}$ სიჩქარით მოძრავი m მასისა და e მუხტის მქონე პროტონი შეიჭრა ნახევარსივრცეში შექმნილი $\vec{B}$ ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის საზღვრისა და წირების მართობულად, წრეწირის ნახევარი შემოწერა და ველიდან გამოვიდა.

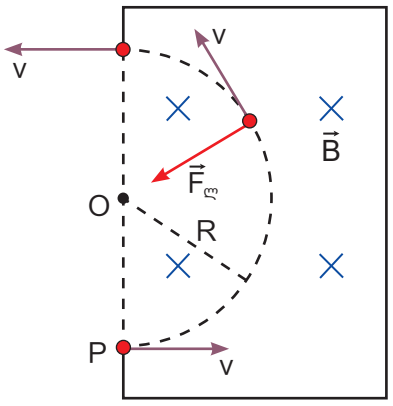
ა) დავადგინოთ პროტონის მოძრაობის ტრაექტორიის მახასიათებლები.

ბ) რა დროის განმავლობაში იმოძრავებს პროტონი მაგნიტურ ველში.

ამოხსნა

მოც.: v;
m;
$q_p = e$;
B;
$\alpha(\vec{v}; \vec{B}) = 90^0$.

უ.ვ.: R, T, t



სურ. 2.4.10

ა)
- შევადგინოთ ნახაზი (სურ. 2.4.10): მაგნიტური ველი პროტონზე იმოქმედებს ლორენცის ძალით, რომლის მოდული $F_ლ = q_p vB\sin\alpha = evB$.
- როგორც ვიცით, მაგნიტური ძალა ყოველთვის მუხტის სიჩქარის მართობულია, რის გამოც იგი მას სიჩქარის მოდულს ვერ უცვლის.
- ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ძალა აუცილებლად იწვევს სიჩქარის (სიჩქარე ვექტორია!) ცვლილებას.
- შესაბამისად, მაგნიტური ძალა მხოლოდ მუხტის სიჩქარის ვექტორის მიმართულებას ცვლის.
- დამუხტული ნაწილაკი ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის გავლენით მუდმივი მოდულის სიჩქარით **მოძრაობს წრეწირზე** (როდესაც სიჩქარის ვექტორი მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულია).
- მაგნიტური ძალა ამ დროს ნაწილაკს ანიჭებს ცენტრისკენულ აჩქარებას: $F_ლ = m \cdot a_ც$.
- გავიხსენოთ, რომ $a_ც = \frac{v^2}{R}$. შესაბამისად, $evB = m \cdot \frac{v^2}{R}$.
- შესაბამისად, ბრუნვის რადიუსი: $R = \frac{mv}{eB}$.
- შეგვიძლია განვაზოგადოთ: **როდესაც ერთგვაროვან B ინდუქციის მაგნიტურ ველში წირების მართობულად v სიჩქარით შეიჭრება m მასის და q მუხტის ნაწილაკი, იგი იბრუნებს $R = \frac{mv}{|q|B}$ რადიუსის წრეწირის უბანზე.**

ბ)
- პროტონი შემოწერს ნახევარწრეწირს, რომლის გავლას მოანდომებს $t = \frac{\pi R}{v} = \frac{\pi m}{eB}$ დროს.

პასუხი: $t = \frac{\pi m}{eB}$.

ამოხსენით ამოცანები:

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?
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?
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?
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.
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 30^0-იანი კუთხე შექმნეს. რა ძალით დაიჭიმა ამ დროს თითოეული ძაფი? (ორივე ძაფი მავთულის მართობულია).
6. 10^7 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ელექტრონი შეიჭრა 0,8 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წირებისადმი 30^0-იანი კუთხით. იპოვეთ მაგნიტური ველის მხრიდან ელექტრონზე მოქმედი ძალა.
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?
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.

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.

10*. სივრცეში ერთდროულად შექმნილია $\vec{E}$ დაძაბულობის და $\vec{B}$ ინდუქციის ურთიერთმართობული, ერთგვაროვანი ელექტრული და მაგნიტური ველები. ამ სივრცეში წრფივად და თანაბრად მოძრაობს ელექტრონი, მინიმალური შესაძლო $\vec{v}$ სიჩქარით. შეადგინეთ $\vec{v}$, $\vec{B}$ და $\vec{E}$ ვექტორების ურთიერთგანლაგების შესაბამისი ნახაზი და იპოვეთ ამ სიჩქარის მოდული (ელექტრონზე მოქმედი სიმძიმის ძალა უგულებელყავით).

2.5. დედამიწის მაგნიტური ველი. კომპასი. პოლარული ციალი

როგორ ორიენტირებენ ცხოველები, ფრინველები და თევზები მიგრაციისას? რა იცავს დედამიწას კოსმოსური გამოსხივებისაგან? რა არის ულამაზესი მოვლენის, პოლარული ციალის მიზეზი (სურ. 2.5.1)? თქვენთვის ცნობილია, რომ დედამიწას გააჩნია საკუთარი მაგნიტური ველი. **როგორ წარმოიქმნება დედამიწის მაგნიტური ველი?** ჩამოთვლილ შეკითხვებზე პასუხის გასაცემად გაეცანით პარაგრაფს.



სურ. 2.5.1

რას ვისწავლით, რაში გამოვიყენებთ

- **გაეცნობით:** როგორ გვიცავს დედამიწის მაგნიტური ველი კოსმოსური სხივებისგან;
- **გაიაზრებთ:** როგორ მუშაობს კომპასი;
- **გაეცნობით:** როგორ წარმოიქმნება დედამიწის მაგნიტური ველი;
- **შეძლებთ:** ახსნათ დედამიწის მაგნიტური ველით გამოწვეული მოვლენები.

2.5.1. დედამიწის მაგნიტური ველი

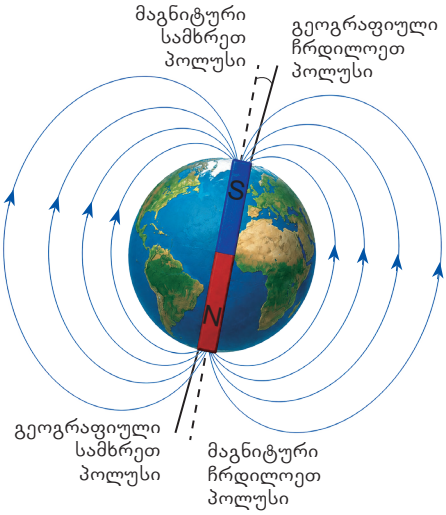
დედამიწის ბირთვი შედგება ორი ნაწილისგან: მყარი შიდა ბირთვისა და თხევადი გარეთა ბირთვისგან. გარეთა ბირთვი ძირითადად **გამდნარი რკინისა და ნიკელის** ნარევია. რკინა და ნიკელი ელექტროგამტარებია. დედამიწის შიდა ბირთვიდან წამოსული სიმხურვალის გამო თხევად რკინაში მუდმივად გვაქვს კონვექციური ნაკადი. ეს კონვექციური ნაკადები და დედამიწის ბრუნვა განსხვავებულად აამოძრავებს თავისუფალ ელექტრონებს და იონებს. შედარებით მსუბუქი თავისუფალი ელექტრონები ბევრად უფრო სწრაფად გადაადგილდებიან და „უსწრებენ“ მძიმე იონებს. სწორედ სიჩქარეთა ეს სხვაობა წარმოქმნის ელექტრულ დენს. გარე ბირთვში გენერირდება ძლიერი ელექტრული დენი, რაც თავის მხრივ წარმოქმნის მაგნიტურ ველს.

გამარტივებულად, დედამიწა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც დიდი ზოლოვანი მაგნიტი. მისი მაგნიტური პოლუსები განისაზღვრება, როგორც პირობითი წერტილები (არც ისე დიდი არეები), რო-



პოლარული ციალი პლანეტა იუპიტერზე (ფოტოილუსტრაცია)

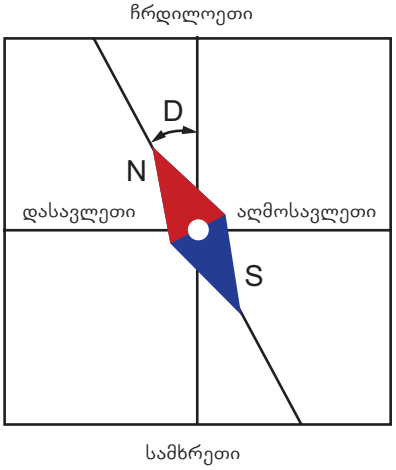
მელშიც მაგნიტური ველის ძალწირები დედამიწის ზედაპირის მართობულია. დედამიწის ჩრდილოეთ მაგნიტური პოლუსი მდებარეობს სამხრეთ გეოგრაფიულ პოლუსთან ახლოს, ხოლო სამხრეთ მაგნიტური პოლუსი ჩრდილოეთ გეოგრაფიული პოლუსის ახლოს. რადგან დედამიწის გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს არ ემთხვევა, ამიტომ მაგნიტური ისარი მხოლოდ დაახლოებით გვიჩვენებს ჩრდილოეთის მიმართულებას (სურ. 2.5.2).



რით დავახასიათოთ ეს განსხვავება? ამისათვის შემოაქვთ მაგნიტური მერიდიანის ცნება. მაგნიტური მერიდიანი არის წარმოსახვითი წირი დედამიწის ზედაპირზე, რომელიც გადის მოცემულ წერტილზე და აერთებს დედამიწის ჩრდილოეთ და სამხრეთ მაგნიტურ პოლუსებს.

კუთხეს, რომელიც დედამიწის მოცემულ წერტილში იქმნება გეოგრაფიულ და მაგნიტურ მერიდიანს შორის, **მაგნიტური დეკლინაცია** ეწოდება. მას D ასოთი აღნიშნავენ.

მაგნიტური დეკლინაცია არსებობს დასავლეთის ან აღმოსავლეთის, იმის მიხედვით, თუ საით გადაიხრება მაგნიტური ისარი გეოგრაფიული მერიდიანიდან (სურ. 2.5.3). იმისთვის, რომ ზუსტად განვსაზღვროთ გეოგრაფიული ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსები, ტოპოგრაფიულ რუკებზე ყოველთვის მოცემულია დედამიწის მოცემულ წერტილში დეკლინაციის სიდიდე.



სურ. 2.5.3

ჯერ კიდევ კოლუმბმა აღმოაჩინა, რომ დედამიწის სხვადასხვა წერტილში დეკლინაცია განსხვავებულია. გარდა ამისა, მოცემულ წერტილში დეკლინაციის სიდიდე წლიდან წლამდე საკმაოდ ნელა, მაგრამ იცვლება. ეს შედეგია იმისა, რომ დედამიწის მაგნიტური პოლუსების მდებარეობა დროის განმავლობაში იცვლება, ამასთან, ჩრდილო და სამხრეთ მაგნიტური პოლუსების მოძრაობის სიჩქარეები განსხვავებულია. 2025 წლის მსოფლიო მაგნიტური მოდელის (WMM2025) მონაცემებით, დედამიწის მაგნიტური პოლუსების კოორდინატები შემდეგია: ჩრდილოეთ მაგნიტური პოლუსი: 86,38°N (ჩრდილოეთ განედი), 164,06°E (აღმოსავლეთ გრძედი), სამხრეთ მაგნიტური პოლუსი: 63,851°S (სამხრეთ განედი), 135,078°E (აღმოსავლეთ გრძედი). აღსანიშნავია, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის პოლარობა იცვლება (პოლუსები ერთმანეთს უცვლიან ადგილს). დედამიწის მაგნიტური ველის პოლარობა ბოლოს დაახლოებით 780 000 წლის წინ შეიცვალა.

2.5.2. კომპასი

მაგნიტურ ველში მაგნიტური ისრის ორიენტაციის მოვლენა გამოიყენება ხელსაწყოში, რომელსაც კომპასი ეწოდება (სურ. 2.5.4). მას ფართოდ იყენებენ ნავიგაციაში, ლაშქრობებში, ალპინიზმში და სხვა. ადგილმდებარეობის დასაზუსტებლად, კომპასი გამოიყენება რუკასთან ერთად.

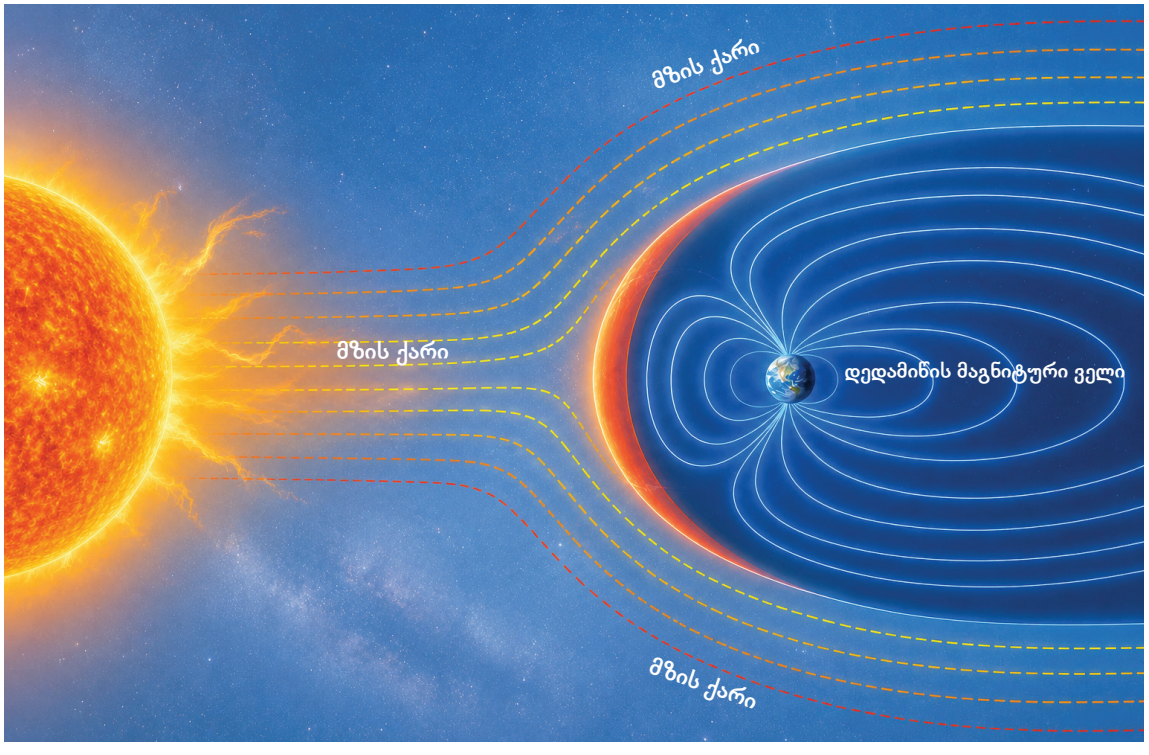
მიგრაციისას სწორედ დედამიწის მაგნიტური ველის დახმარებით ორიენტირებენ სივრცეში ცხოველები, ფრინველები და თევზები თავიანთ ორგანიზმში არსებული მაგნიტორეცეპტორებით.



სურ. 2.5.4

2.5.3. პოლარული ციალი

მზიდან (კოსმოსური სივრციდან) დედამიწისკენ ძალიან დიდი სიჩქარით მოძრაობენ დამუხტული ნაწილაკები. დედამიწის მაგნიტური ველი მოქმედებს როგორც დამცავი სარტყელი – ცვლის დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის ტრაექტორიას და ამით დედამიწის ზედაპირის უმეტეს ნაწილს მაღალი ენერგიის ნაწილაკების მოხვედრისაგან იცავს. მაღალი სიჩქარის მქონე ნაწილაკებს დედამიწის მაგნიტური ველი ძირითადად გაფანტავს (სურ. 2.5.5). შედარებით დაბალი ენერგიის მქონე ნაწილაკები ხვდებიან

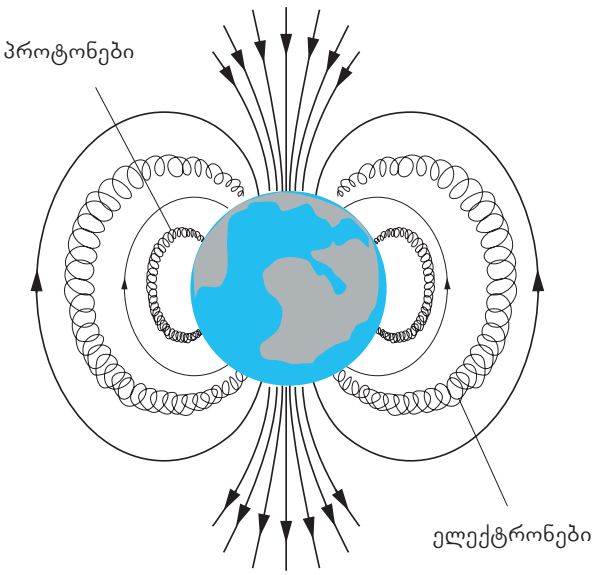


სურ. 2.5.5

„მაგნიტურ ხაფანგებში“, რომლებსაც ქმნის დედამიწის მაგნიტური ველი. ეს ნაწილაკები იწყებენ პოლუსებს შორის ხრახნწირებზე მოძრაობას და ამ მანძილს დაახლოებით 1 წმ-ში გადიან. პოლუსებთან დამუხრუჭების, აგრეთვე ატმოსფეროს სხვა მოლეკულებთან დაჯახების გამო იქმნება ელექტრომაგნიტური გამოსხივება (რადიაცია), რომელიც ხშირად პოლარული ციალის სახით დაიმზირება.

„მაგნიტური ხაფანგები“ ქმნიან დედამიწის რადიაციულ სარტყელებს – იმ არეებს ატმოსფეროში, სადაც დამუხტული ნაწილაკების კონცენტრაციის მატება შეინიშნება.

განასხვავებენ შიდა რადიაციულ სარტყელს (2400÷6000კმ სიმაღლეზე), რომელიც ძირითადად პროტონებისაგან შედგება, და გარე რადიაციულ სარტყელს (12000÷20000 კმ სიმაღლეზე), რომელიც ძირითადად ელექტრონებისაგან შედგება (სურ. 2.5.6).



სურ. 2.5.6

დედამიწის ბევრ ადგილას არსებობს რკინის მადნის დიდი საბადოები, რომლებიც ბუნებრივ მაგნიტებს წარმოადგენენ. თუ ეს საბადოები საკმარისად დიდია და დედამიწის ზედაპირიდან მცირე სიღრმეზე მდებარეობს, მაშინ ასეთ არეებში კომპასის ისარი გადაიხრება მაგნიტური პოლუსის მიმართულებიდან. ასეთ ადგილებს **მაგნიტურ ანომალიებს** უწოდებენ. ცნობილია ბრაზილიის, კანადის, აღმოსავლეთ ციმბირის, კურსკის და სხვა მაგნიტური ანომალიები. დედამიწის მაგნიტურ ველზე მიმდინარეობს მუდმივი დაკვირვება.

ახალი ტერმინები:

მაგნიტური დეკლინაცია;
მაგნიტური ანომალიები;
რადიაციული სარტყელი;
პოლარული ციალი.

დამატებითი ამოცანები

1. გვაქვს 1 მკკ, 3მკკ, 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?

2. 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?

3. 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?

4. 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?

5. 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 $q_2 = 4$ მკ.

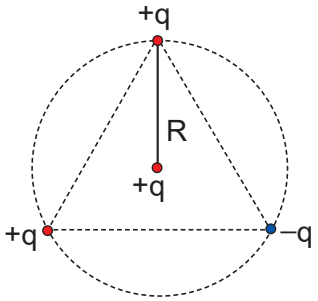
6. სამი წერტილოვანი q მუხტი მოთავსებულია ერთი და იმავე წრფის A, B და C წერტილებში ისე, რომ AB = BC. A და B წერტილებში მყოფი მუხტების **ერთმანეთთან** ურთიერთქმედების ძალა F-ის ტოლია. რისი ტოლია:

ა) B წერტილში მოთავსებულ მუხტზე დანარჩენი ორი მუხტის მხრიდან მოქმედი ჯამური ელექტრული ძალა;

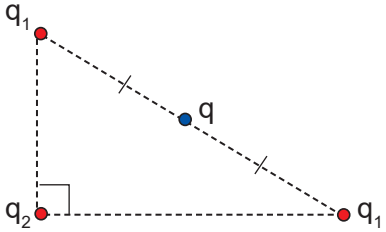
ბ) C წერტილში მოთავსებულ მუხტზე დანარჩენი ორი მუხტის მხრიდან მოქმედი ჯამური ელექტრული ძალა.

7*. 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?

8*. 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?

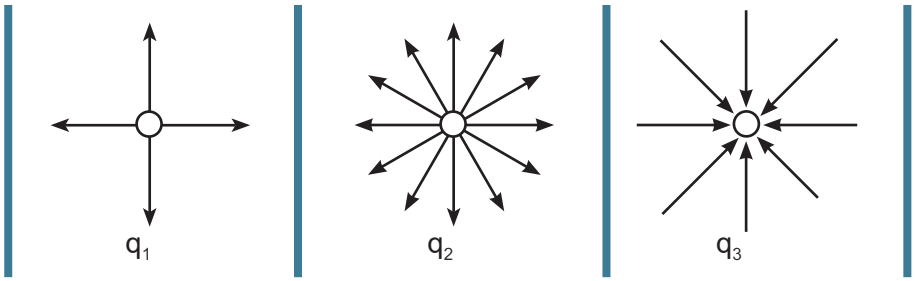


სურ. 1



სურ. 2

9. სურ. 3-ზე ნაჩვენებია სამი განცალკევებული წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის წირები. დაალაგე ბურთულების მუხტების მოდულები ზრდის მიხედვით.



სურ. 3

10. 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?

11. 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?

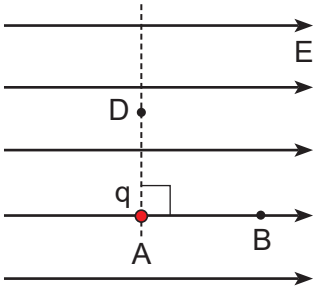
12. E = 450 ნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის A წერტილში ჩაამაგრეს q = 8 ნკ წერტილოვანი მუხტი (სურ. 4).

ა) რისი ტოლი იქნება ჯამური ველის დაძაბულობა B წერტილში, თუ AB = 50 სმ.

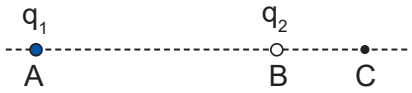
ბ) მოძებნეთ ისეთი C წერტილი, რომელშიც ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია. განსაზღვრეთ AC მონაკვეთის სიგრძე.

გ) რისი ტოლი იქნება ჯამური ველის დაძაბულობა D წერტილში, თუ AD = $20\sqrt{3}$ სმ.

13. 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.



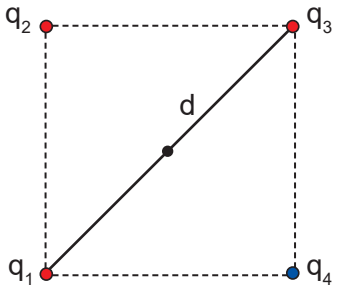
სურ. 4



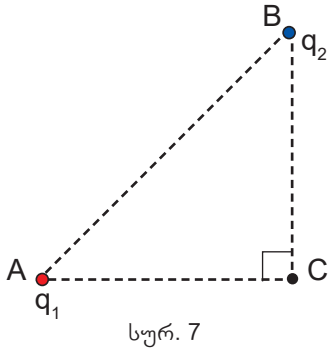
სურ. 5

14. 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?

15*. 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).



სურ. 6



სურ. 7

16. E = 400 ვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ძალწირის მიმართულებით, ერთმანეთის მომდევნოდ განლაგებულ A, B და C წერტილებიდან, B წერტილში ველის პოტენციალი φ_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.

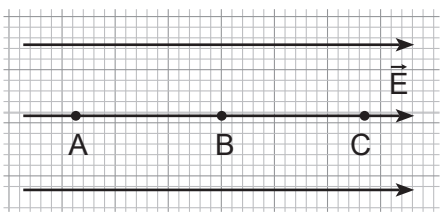
17*. m = 200 გ მასის და q = 800 მკკ მუხტის მქონე მცირე ზომის თავდაპირველად უძრავი ბურთულა $\vec{F}$ ცვლადი ძალის მოქმედებით გადაიტანეს A-დან B წერტილში ისე (სურ. 9), რომ B წერტილში ნულოვან დონეზე მისი სიჩქარე v = 4 მ/წმ გახდა და $\vec{F}$ ძალამაც შეწყვიტა მოქმედება. გადატანა ხდებოდა E = 5000 ნ/კ დაძაბულობის ჰორიზონტალურად მიმართულ ერთგვაროვან ველში. სურათზე მითითებულია $\vec{F}$ ძალის სავარაუდო მიმართულება დროის ერთ-ერთ მომენტში. გაითვალისწინეთ, რომ AC = 80 სმ, BC = 60 სმ და უპასუხეთ კითხვებს (g = 10მ/წმ^2):

ა) რისი ტოლია ველის პოტენციალები A და B წერტილებში?

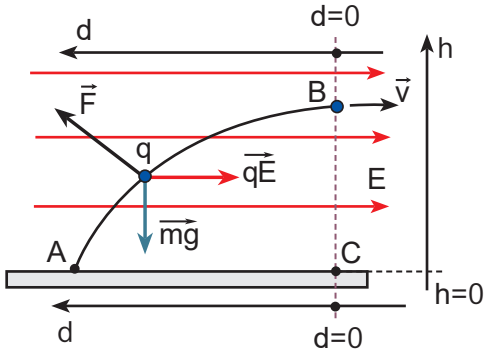
ბ) რისი ტოლია q მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიები A და B წერტილებში და, შესაბამისად, ამ ენერგიის ცვლილება მუხტის A-დან B წერტილში გადატანისას?

გ) რა მუშაობა შეასრულა ბურთულაზე მოქმედმა სიმძიმის ძალამ? რა მუშაობა შეასრულა F ძალამ?

დ) რა აჩქარებით გააგრძელებს მოძრაობას ბურთულა B წერტილის გავლის შემდეგ?



სურ. 8



სურ. 9

18. 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?

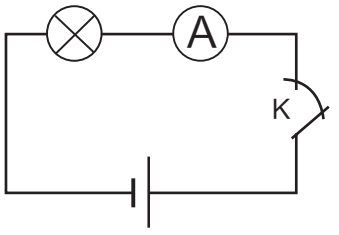
19. ნათურაზე 18 ვ ძაბვის მოდებისას, მასში 400 მა დენი გადის. რა ძაბვა უნდა მოვდოთ ნათურაზე, რომ მასში დენი 200 მა-ით გაიზარდოს?

20. 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?

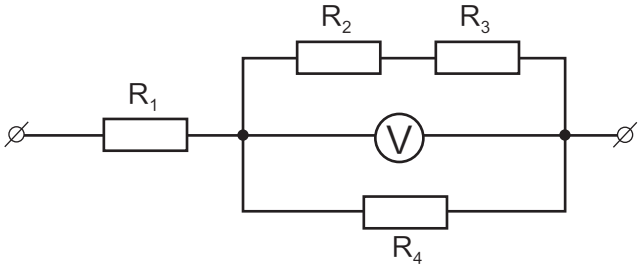
21. სურ. 11-ზე იდეალური ვოლტმეტრის ჩვენება 12 ვ-ია. R_1 = 2 ომი; R_2 = 3 ომი; R_3 = 9 ომი და R_4 = 6 ომი. იპოვეთ:

ა) დენის ძალა R_2-ში.

ბ) ძაბვა მომჭერებს შორის.



სურ. 10

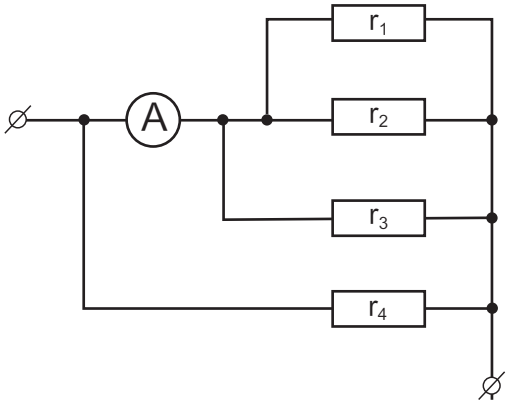


სურ. 11

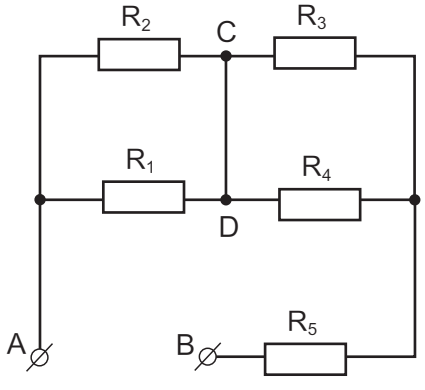
22. მოცემული გვაქვს საკმარისი რაოდენობის 25 ომიანი რეზისტორი. რეზისტორების რა მინიმალური რაოდენობითაა შესაძლებელი ავაწყოთ წრედი, რომლის წინაღობა 15 ომის ტოლი იქნება? დახაზეთ ეს წრედი.

23. 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.

24*. 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.

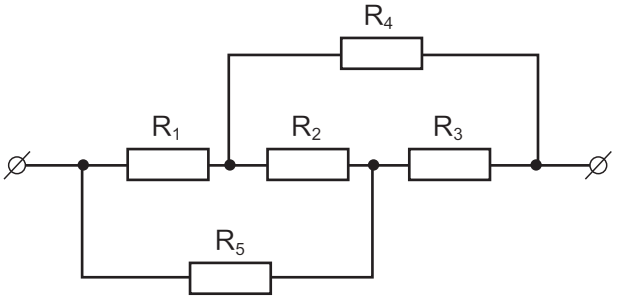


სურ. 12



სურ. 13

25*. 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.



სურ. 14

26. 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?

27. ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებს შორის ემ ძალის 75%-ს შეადგენს. რისი ტოლია წყაროს შიგა წინაღობა, თუ გარე წინაღობა 15 ომია?

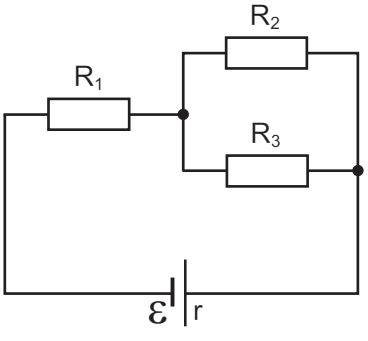
28. სურ. 15-ზე გამოსახულ წრედში დენის წყაროს ემ ძალა 10 ვ-ია, შიგა წინაღობა კი – 2 ომი. რისი ტოლია დენის ძალის მნიშვნელობები თითოეულ რეზისტორში, თუ R_1 = 12 ომი, R_2 = 15 ომი და R_3 = 10 ომი.

29. 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).

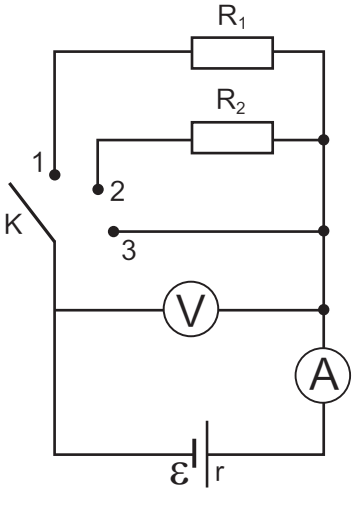
ა) გამოთვალეთ დენის წყაროს ემ ძალა და შიგა წინაღობა.

ბ) გამოთვალეთ R_1 და R_2 წინაღობების მნიშვნელობები.

გ) რისი ტოლი იქნება ვოლტმეტრის და ამპერმეტრის ჩვენება, თუ ჩამრთველს 3 პოზიციაში ჩავრთავთ?

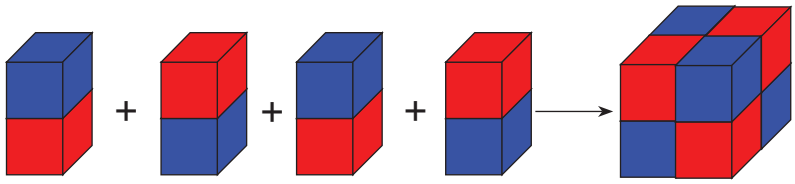


სურ. 15



სურ. 16

30. რამდენი პოლუსი აქვს ოთხი მაგნიტისგან შექმნილ სისტემას (სურ. 17)?



სურ. 17

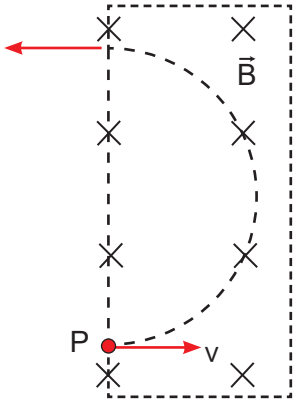
31. 0,5 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია 20 ხვიისგან შედგენილი ბრტყელი მართკუთხა ჩარჩო 4 სმ და 5 სმ სიგრძის გვერდებით. ჩარჩოში ატარებენ 1 ა დენს. რისი ტოლია მაგნიტური ველის მხრიდან ჩარჩოზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტი, როცა კუთხე ჩარჩოს ნორმალსა და ინდუქციის ვექტორს შორის ა) 0^0-ია; ბ) 60^0-ია; გ) 90^0-ია.

32. 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?

33. $1{,}9 \cdot 10^{-15}$ 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.



სურ. 18

ცხრილები

ატომის შემადგენელი ნაწილაკების მასა და მუხტი

	მასა, კგ	მუხტი, კ
ელექტრონი (e)	$9{,}109 \cdot 10^{-31}$	$-1{,}6 \cdot 10^{-19}$
პროტონი (p)	$1{,}673 \cdot 10^{-27}$	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$
ნეიტრონი (n)	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$	0

ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი წინაღობა, $\frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$ (10^{-6} ომი · მ), (t = 20°C)					
ვერცხლი	0,016	რკინა	0,10	ვერცხლისწყალი	0,96
სპილენძი	0,017	ტყვია	0,21	ნიქრომი	1,1
ოქრო	0,024	ნიკელინი	0,40	გრაფიტი	13
ალუმინი	0,028	მანგანინი	0,43	ფაიფური	10^{19}
ვოლფრამი	0,055	კონსტანტანი	0,50	ებონიტი	10^{20}

ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე

ნივთიერება	ρ, **კგ/მ**^{3}	ρ, **გ/სმ**^{3}	**ნივთიერება**	ρ, **კგ/მ**^{3}	ρ, **გ/სმ**^{3}
მყარი ნივთიერება, 20 °C **(გარდა ყინულისა)**					
ოსმიუმი	22 600	22,6	მარმარილო	2 700	2,7
ირიდიუმი	22 400	22,4	ფანჯრის მინა	2 500	2,5
პლატინა	21 500	21,5	ფაიფური	2 300	2,3
ოქრო	19 300	19,3	ბეტონი	2 300	2,3
ტყვია	11 300	11,3	სუფრის მარილი	2 200	2,2
ვერცხლი	10 500	10,5	აგური	1 800	1,8
სპილენძი	8 900	8,9	პოლიეთილენი	920	0,92
ფოლადი, რკინა	7 800	7,8	პარაფინი	900	0,9
კალა	7 300	7,3	ყინული	900	0,9
თუთია	7 100	7,1	მუხა (მშრალი)	700	0,7
თუჯი	7 000	7	ფიჭვი (მშრალი)	400	0,4
ალუმინი	2 700	2,7	კორპი	240	0,24
თხევადი ნივთიერება, 20 °C					
ვერცხლისწყალი	13 600	13,6	ნავთი	800	0,8
გოგირდმჟავა	1 800	1,8	სპირტი	800	0,8
გლიცერინი	1 200	1,2	ნავთობი	800	0,8
ზღვის წყალი	1 030	1,03	აცეტონი	790	0,79
წყალი	1 000	1	ბენზინი	710	0,71
მზესუმზირის ზეთი	930	0,93	თხევადი კალა (400 °C)	6 800	6,8
მანქანის ზეთი	900	0,9	თხევადი ჟანგბადი (–194° C)	860	0,86

საგნობრივი საძიებელი

ამპერის კანონი 140
ამპერის ძალა 140
ამპერმეტრი 66
ანიონი 108
ანოდი 108
ბუნებრივი მაგნიტი 117
გავლენით დაელექტრება 28
გალვანური ელემენტი 100
გარე წინაღობა 97
გარე წრედი 97
გრეხითი სასწორი 34
გრიგალური ველი 133
დაძაბულობის წირები 46
დენის მაგნიტური მოქმედება 62
დენის მუშაობა 67
დენის სითბური მოქმედება 61
დენის ქიმიური მოქმედება 62
დენის ძალა 65
დენის წყარო 96
დიპოლი 107
დროებითი დამაგნიტება 117
ელექტრობა 14
ელექტროლიზი 109
ელექტროლიტი 106
ელექტროლიტური დისოციაცია 108
ელექტრომამოძრავებელი ძალა 97
ელექტრომეტრი 15
ელექტრონი 19
ელექტრონული გამტარობა 106
ელექტროსკოპი 15
ელექტროსტატიკური ველი 40
ელექტროქიმიური ეკვივალენტი 107
ელექტრულად ჩაკეტილი სისტემა 29
ელექტრული განზიდვა 13
ელექტრული დენი 58
ელექტრული ველი 41
ელექტრული ველის დაძაბულობა 42
ელექტრული მიზიდვა 13
ელექტრული მუხტი 14
ელექტრული სქემა 61
ელექტრული წრედი 59
ერთგვაროვანი ველი 47
ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი 130
ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი 77
ვოლტმეტრი 69
ზედდების პრინციპი 43
თავისუფალი მუხტები 58
იონი 20
იონური გამტარობა 109
კათიონი 108
კათოდი 108
კუთრი წინაღობა 81
კულონის კანონი 35
კულონური ძალა 35
ლორენცის ძალა 142
მაგნიტის ნეიტრალური ზონა 118
მაგნიტური ანომალიები 150
მაგნიტური დეკლინაცია 148
მაგნიტური ველი 123
მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი 129
მაგნიტური ინდუქციის წირები 132
მაგნიტური ისარი 119
მაგნიტური ძალა 121
მარცხენა ხელის წესი 141
მარჯვენა ხელის წესი 129
მიმდევრობითი შეერთება 87
მოკლე ჩართვა 99
მუხტების გადანაწილება 28
მუხტის პოტენციალური ენერგია 51
მუხტის შენახვა 29
ნარჩენი დამაგნიტება 118
ნეიტრონი 20
ომის კანონი სრული წრედისთვის 97
ომის კანონი წრედის უბნისთვის 79
ომმეტრი 78
პარალელური შეერთება 89
პლანეტარული მოდელი 20
პოლარული ციალი 149
პოტენციალთა სხვაობა 53
პოტენციალი 52
პროტონი 20
რადიაციული სარტყელი 150
რეზისტორი 82
რეოსტატი 84
სამხრეთ პოლუსი 119
სასინჯი მუხტი 41
სრული წრედი 97
ტრიბოელექტრული მწკრივი 16
ფარადეის კანონები 112
ფარადეის მუდმივა 112
შიგა წინაღობა 97
შიგა წრედი 97
ჩრდილოეთ პოლუსი 119
ცენტრული ძალა 36
ძაბვა 53
ძალწირები 46
წერტილოვანი მუხტი 34
წინაღობა 78
წრიული დენები 127
ხელოვნური მაგნიტი 117

პასუხები

თემა 1
თავი I

1.2 2) დადებითი; 3) ა) არ იცვლება, ბ) არ იცვლება; 4) 8 ელექტრონი; 5) 18 ელექტრონი; 6) 10 პროტონი; 7) –400 ნკ; 8) $6 \cdot 10^{14}$; 9) $2{,}73 \cdot 10^{-15}$ კგ-ით მოიმატა; 10) +800 ნკ.

1.3 1) ა) $125 \cdot 10^{13}$, ბ) 250, გ) შეუძლებელია; 2) 800 ნკ; 3*) ა) 750 მკკ და 750 მკკ, ბ) $9375 \cdot 10^{11}$ ცალი ელექტრონი გადავიდა პირველი ბურთულადან მეორეზე; 4) –100 მკკ თითოეულმა მათგანმა; 5) –3q; 6**) ა) $(2^n - 1)q/2^n$, ბ) n = 7; 7*) $q \to 3q \to -6q \to 2q$.

1.4 1) ორივე მათგანი ერთმანეთს მიიზიდავს 11,25 ნ ძალით; 2) –8 მკკ; 3) 3 მ. 4) გაიზრდება 16-ჯერ; 5*) 20 სმ; 6**) x = R; 30 ნ; 7**) $\frac{|q_1|}{|q_2|} > 3 + 2\sqrt{2} \approx 5{,}83$.

1.5 1) ა) 1,5 ნ, ბ) 3000 ნ/კ; 2) 1,2 მ; 3) 2000 ნ/კ; 4*) 2250 ნ/კ; 5*) $4 \cdot 10^{11}$; 5 მ/წმ^2.

1.6 1) 4 მკკ; 2) –80 ნკ; 3*) 7200 ნ/კ, მიმართულია 600 ნკ-სკენ; 4*) 30 სმ; 5) 9000 ნ/კ.

1.7 1) ა) 600 ვ, ბ) 10 მკკ; 2) $E_B > E_A > E_C$ და $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$; 3) $15 \cdot 10^{-5}$ ჯ. 4) 5 სმ; 5) 30 ვ; 6) ა) 7,5 მჯ, –4 მჯ, –1 მჯ, 0ჯ; ბ) მე-4-ზე მარცხნივ 0,2 ნ; 7) –0,16 ჯ, 0 ჯ; 8) 0,54 ჯ; 9*) $v/\sqrt{2}$; 10*) ა) $728 \cdot 10^{-20}$ ჯ, ბ) $4 \cdot 10^6$ მ/წმ, გ) 91 ნწმ.

1.9 1) 0,8 ა; 2) 90 კ; 3) 40 წმ; 4) 1,5 ა; 5*) 0,3 კ; 6) სურ. 1.9.18 და სურ. 1.9.22.

1.10 1) 0,2 ა; 2) 200 ვ; 3) 3000 ომი; 4) 27 ვ; 5) 20%-ით ნაკლებია;
6) $R_7 = R_8 < R_6 < R_1 = R_5 = R_4 < R_3 < R_2$; 7) $5 \cdot 10^{19}$; 8) შემცირდება 4-ჯერ;
9) ა) 57 ომი, ბ) 0,5 ა; 10*) მეორეს k^4-ჯერ მეტი წინაღობა აქვს.

1.11 1) 85 კომი; 2) 6,25 კომი; 3) 36-ჯერ შემცირდება; 4) 4 შემთხვევა; (1; 2; 4,5; 9) ომი; 5) 2,5R; 6) R; 7) ა) 75 ომი, ბ) 2 ვ; 8) 6 კომი; 9) 30 ომი; 20 ომი; 60 ომი; 10) 1800 ომი; 200 ომი. 11) ა) 12 ომი, ბ) 150 ვტ; 12) ა) 1, 2; ბ) 1, 2, 3; გ) 1, 2, 3; დ) 2, 3; ე) როცა ორივე ჩართულია.

1.12 1) ა) 0,5 ა, ბ) 0,5 ა, გ) 11 ვ; 2) 10 ვ; 3) 10 ომი; 4) 280 ომი; 5) 48 ვ; 6) 4r; 7) 12R; 8) 36 ვ; 9*) 25 ვ; 10*) შემცირდება 300 მა-ით, შეიცვლება მიმართულება.

1.13 1) ა; 2) დ; 3) ე; 4) $9 \cdot 10^{24}$; 5) კათოდზე; 7) მეორეს ჩვენება მეტია; 8) არა.

თავი II

2.1 1) ა; 2) გ, ვ, მ, ნ, ო, პ; 3) სამხრეთი; 4) ა) დაიძვრება; ბ) არ დაიძვრება.

2.2 2) ა, ბ, დ. 3) არა; 4) არა; 5) გაცხელებით; დარტყმით; 7) არა.

2.3 1) ბ; 2) 2 ტლ; 3) 0,002 ნ · მ; 4) 0,3 ა; 5) 6 სმ; 6) 0,03 ნ · მ;
7*) პირველ შემთხვევაში π/2-ჯერ; 8) ა) 0, ბ) 0,4 ტლ.

2.4 1) 0,2 ნ; 2) 1,25 ტლ; 3) 30^0; 4) 0,1 ნ; 5) 0,36 ნ; 6) $6{,}4 \cdot 10^{-13}$ ნ; 7) $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ;
8) $4 \cdot 10^5$ მ/წმ; 9*) $R_\alpha = R_p$; 10*) v = E/B.

დამატებითი ამოცანები

1) −12 მკკ; 2) ა) მიიზიდავენ $7{,}2 \cdot 10^{-3}$ ნ; ბ) განიზიდავენ $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ ნ; 3) უნდა გავზარდოთ 20%-ით; 4) 1800 ნკ; 5) 20 მკკ; 6) ა) 0; ბ) 1,25F; 7) $F = 2k\frac{q^2}{R^2}$; 8*) 2,7 ნ; 9) $|q_1|, |q_3|, |q_2|$; 10) ა) 300 ნ/კ, ბ) 240 მნ; 11) 720 ნ/კ; 12) ა) 738 ნ/კ, ბ) AC = 40 სმ; გ) 750 ნ/კ; 13) 1მკკ; 14) 1440 ნ/კ, q_4-სკენ; 15) 5F/6q; 16) ბ) $\varphi_A = 200$ვ, $\varphi_C = -40$ ვ; გ) 120 ვ; დ) −0,12 ჯ; ე) ≈ $9 \cdot 10^6$ მ/წმ = 9000კმ/წმ; 17*) ა) φ_A = 4000 ვ, φ_B= 0 ვ; ბ) W_A = 3,2 ჯ; W_B = 0 ჯ, ΔW = −3,2 ჯ; გ) A_{mg} = −1,2 ჯ, A_F = −0,4 ჯ; დ) $a = 10\sqrt{5}$ მ/წმ^2; 18) ა) 1 მკწმ, ბ) არ შეიცვლება; 19) 27 ვ; 20) მეორეს 3^4-ჯერ მეტი წინაღობა აქვს; 21) ა) 1ა; ბ) 18 ვ; 22) 4 ცალი; 23) 540 მა; 24*) 0,3 ა, D-დან C-სკენ; 25) 8 კომი; 26) ა) 2,4 ვ, ბ) 3,24 კჯ; 27) 5 ომი; 28) 500 მა; 200 მა; 300 მა; 29) ა) 20 ვ, 10 ომი; ბ) 90 ომი, 40 ომი; გ) 0 ვ, 2 ა; 30) 8; 31) ა) 0, ბ) ≈ 17 მნ · მ, გ) 20 მნ · მ; 32) 20 გ; 33) ა) $6 \cdot 10^{-14}$ ნ, ბ) ≈6,25 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.



9 789941 889240

26.08.10.1.1