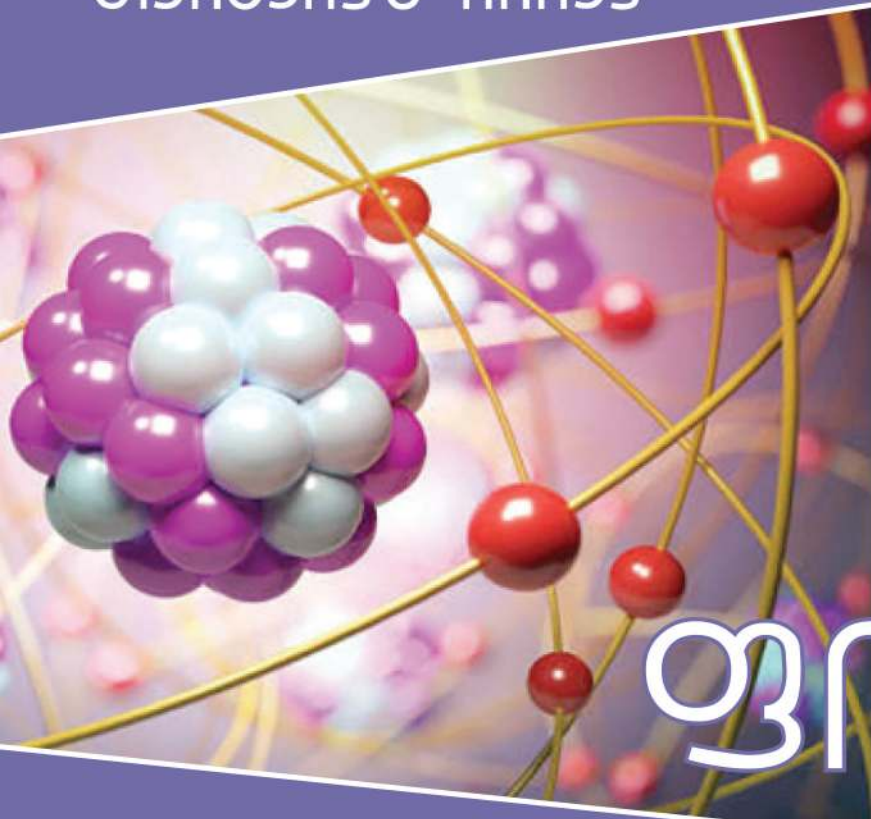


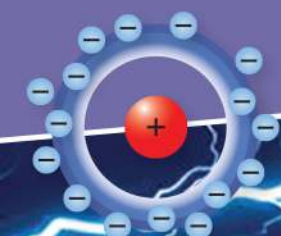
ԽՆԴԵՆՏ ԴՆԹՈՒԽՈՆ
ԸՇՈՐԱ ԲՈՒՇԱՆ
ԺՈՂՈՅԻՆՆ ԲՈՒՇԱՆ



10
ԳՐԱՆՈՒՆ

ԹՈՒՆՆԱՅԸՆՈՒՆ ՆՈՒՆՈՒ

ՅՈՒՅՅՈՒՆ ՆՈՒՆՈՒ



ფიზიკა

10

მოსწავლის წიგნი

პირველი სემესტრი

სარჩევი

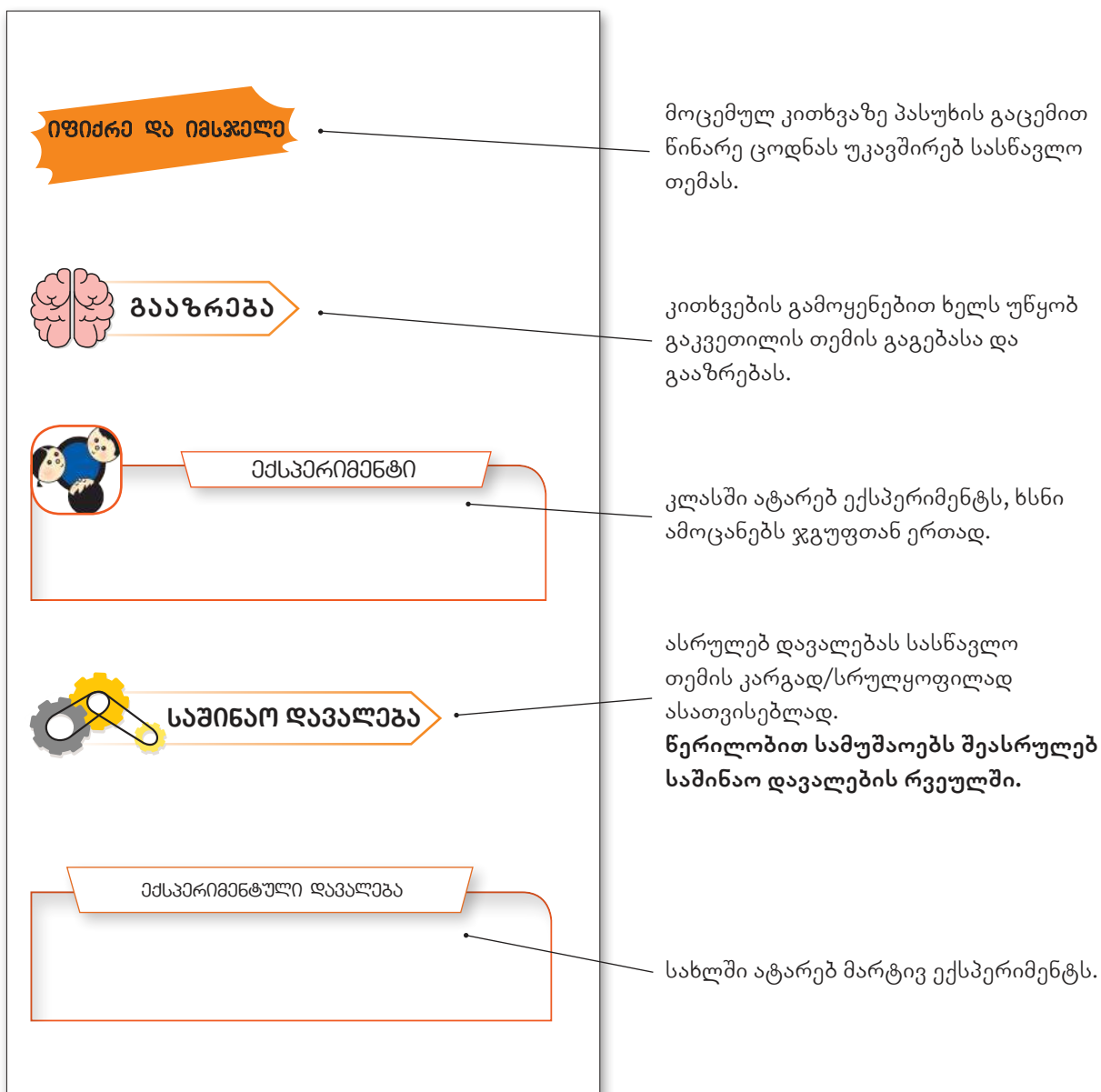
თავი 1. შესავალი. ფიზიკა და მატერიალური სამყარო

1.1. ფიზიკა, მეცნიერება ბუნების შესახებ	6
1.2. ფიზიკა და სხვა მეცნიერებები	8
1.3. ფიზიკა და ტექნიკის პროგრესი	10
1.4. ბუნების ძალები	14

თავი 2. ელექტროსტატიკა

2.1. ელექტრული მუხტი.....	18
2.2. სხეულების დამუხტვის ექსპერიმენტული კვლევა.....	20
2.3. სხეულების დამუხტვა. მუხტის მუდმივობის კანონი	22
2.4. ელექტრული ველი	26
2.5. დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევა	28
2.6. კულონის კანონი.....	30
2.7. ამოცანების ამოხსნა	33
2.8. შემაჯამებელი გაკვეთილი	38
2.9. ელექტრული ველის დაძაბულობა.....	42
2.10. ელექტრული ველის ძალწირები.....	44
2.11. ამოხსენი ამოცანები	47
2.12. გამტარები ელექტრულ ველში	48
2.13. დიელექტრიკები ელექტრულ ველში	51
2.14. ელექტრული ძალის მუშაობა.....	54
2.15. ელექტრული ველის პოტენციალი	57
2.16. დამუხტული სხეულების ენერგიისა და პოტენციალის ექსპერიმენტული კვლევა.....	59
2.17. პოტენციალთა სხვაობა. ეკვიპოტენციალური ზედაპირები	60
2.18. ამოცანების ამოხსნა	63
2.19. შემაჯამებელი გაკვეთილი	65
2.20. ელექტროტევადობა. კონდენსატორი	67
2.21. ელექტროტევადობის ექსპერიმენტული კვლევა.....	69
2.22. ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა	70
2.23. ელექტრული ველის ენერგია	72
2.24. კონდენსატორების შეერთება	74
2.25. ამოცანების ამოხსნა	76
2.26. შემაჯამებელი გაკვეთილი	79
მეორე თავის მოკლე დასკვნები	82
მცირე განმარტებითი ლექსიკონი.....	84
საგნობრივი საძიებელი	85
საშინაო დავალების პასუხები	87

წიგნზე მუშაობის პირობითი ნიშნები



თავი 1. ფიზიკა და მატერიალური სამყარო



შემაჯავალი:

- მატერიას. მატერიის სახეებს;
- ფიზიკის მნიშვნელობასა და კავშირს სხვა მეცნიერებებთან;
- ფიზიკის მიღწევებს;
- ბუნების ძალების კლასიფიკაციას.

შემაჯავალი და დაეუფლები:

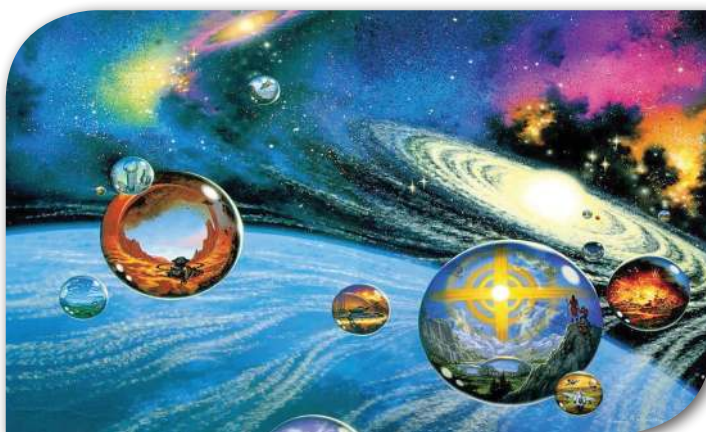
- მსჯელობას მატერიის სახეების, ფიზიკური თვისებებისა და მათი ცვლილების მიზეზების გასააზრებლად;
- მსჯელობას ფიზიკის, როგორც მატერიალური სამყაროს შემსწავლელი მეცნიერების შესახებ;
- მსჯელობას ბუნებაში მიმდინარე ფიზიკური მოვლენების კვლევის მეთოდების შესახებ;
- მსჯელობას ფიზიკის მნიშვნელობაზე სხვადასხვა მეცნიერულ მიღწევებში;
- მსჯელობას ბუნების ძალების შესახებ.

1.1. ფიზიკა, მეცნიერება ბუნების შესახებ

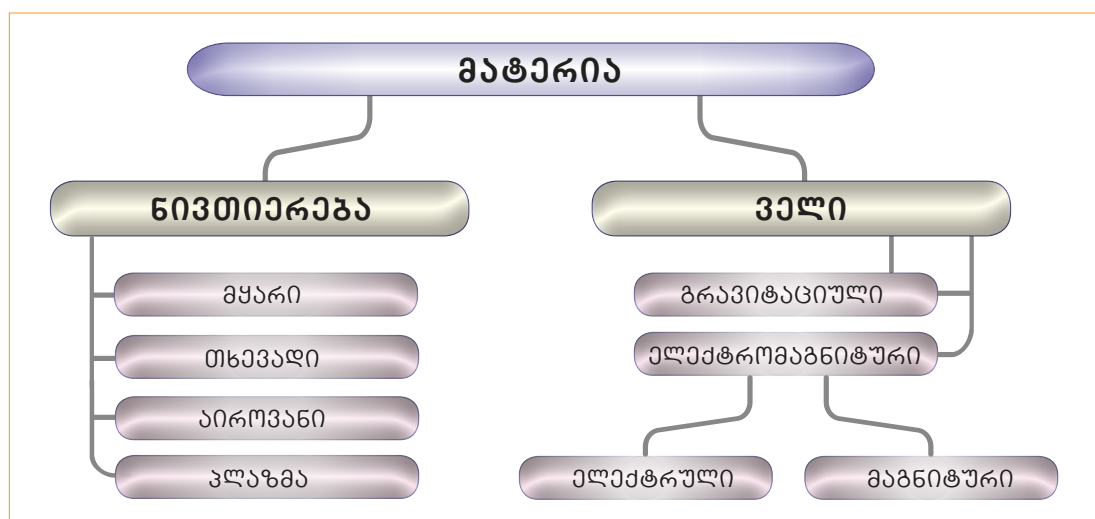
იფიქრე და იმსჯელე

რა არის მატერია?

სურ. 1



ყველაფერი, რაც სამყაროში რეალურად არსებობს, მატერიაა. მატერიას, რომლისგანაც შედგება ფიზიკური სხეული, **ნივთიერება** ეწოდება. ნივთიერებაა: ჰაერი, წყალი, მინა, ლითონები და სხვ. მაგრამ ბუნებაში არ შეიძლება ყველაფერს ეწოდოს ნივთიერება. მაგალითად, სინათლე, რადიოტალღები, ელექტრული და მაგნიტური ველი არ წარმოადგენენ ნივთიერებას. ეს არის მატერიის არსებობის სხვა ფორმა. მას **ველი** ეწოდება. ე.ი მატერია არსებობს ნივთიერებისა და ველის სახით.



ფიზიკა არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის გარემომცველი მატერიალური სამყაროს უმარტივეს და ფუნდამენტურ მოვლენებსა და კანონებს.

სამყაროს მრავალსაუკუნოვანმა შესწავლამ მეცნიერები მიიყვანა დასკვნამდე, რომ მატერია არ არსებობს მოძრაობის გარეშე – მოძრაობა მატერიის ძირითადი თვისებაა. სამყარო მოძრავი მატერიაა. ბუნებაში ნებისმიერი მოძრაობა ფიზიკის კანონებით აიხსნება.

ფიზიკის შესწავლის ობიექტია როგორც მიკრო, ასევე მაკრო და მეგასამყარო.

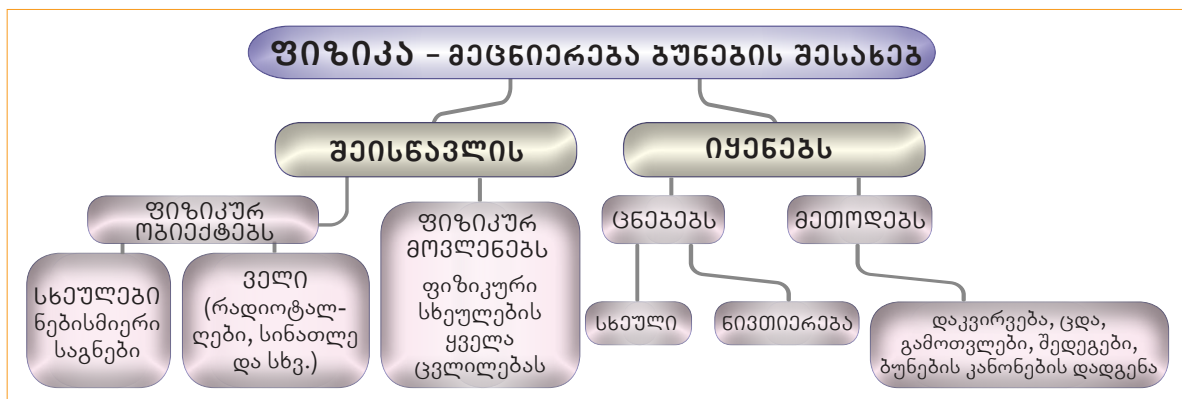


საუკუნეების განმავლობაში კაცობრიობამ ბუნებაზე დაკვირვების შედეგად დიდი ცოდნა და გამოცდილება დააგროვა. ამიტომ ბუნებაში მიმდინარე მოვლენების შემსწავლელი მეცნიერება — ფიზიკა დაიყო სხვადასხვა ნაწილებად: მექანიკა, ელექტრობა, ოპტიკა, თერმოდინამიკა, მაგნეტიზმი, რხევები და ტალღები, ატომის ფიზიკა. ფიზიკის თითოეული ნაწილი შეისწავლის მატერიალურ სამყაროს.



ბაზრება

- სქემის გამოყენებით იმსჯელე ფიზიკის, როგორც საბუნებისმეტყველო მეცნიერების შესახებ: ა. რატომ არის ფიზიკა საბუნებისმეტყველო მეცნიერება? ბ. რა ნაწილებისგან შედგება ფიზიკა? გ. რა არის ფიზიკის კვლევის საგანი (ობიექტი)? დ. რა არის მატერია? ე. კვლევის რომელ მეთოდებს იყენებს ფიზიკა?



- იმსჯელე კვლევის ეტაპებზე, რომლებსაც იყენებენ საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები.



საშინაო დავალება

მოამზადე პრეზენტაცია თემაზე: „ფიზიკა — მეცნიერება ბუნების შესახებ“.

1.2. ფიზიკა და სხვა მეცნიერებები

იფიქრა და იმსჯელე

რისთვის სჭირდება ფიზიკის ცოდნა სხვადასხვა პროფესიის ადამიანებს?

სურ. 2



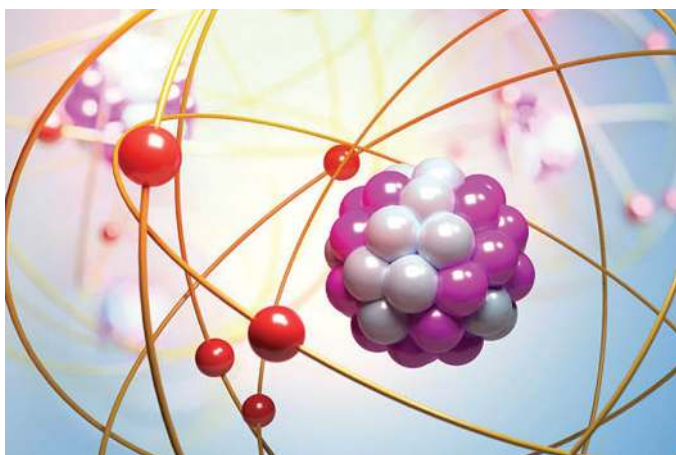
ფიზიკას საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა შორის წამყვანი ადგილი უჭირავს, რადგან ყველა ეს მეცნიერება ეყრდნობა ფიზიკის კანონებს. თუმცა, გარდა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებისა, ფიზიკის კანონებსა და მიღწევებს იყენებს მეცნიერების სხვა დარგებიც.



ფიზიკა, ქიმია და ბიოლოგია ბუნებაში მიმდინარე ბევრ ერთსა და იმავე პროცესს მრავალმხრივი მიდგომით ხსნის. ფიზიკის კანონების ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს ორგანიზმებში ბიოლოგიური პროცესების შესწავლისას. მაგალითად, სინათლისა და ბგერის შესახებ თეორიების ცოდნის გარეშე შეუძლებელია ადამიანის ორგანოების (ყური, თვალი) მუშაობის პრინციპის ახსნა. ფიზიკური ცნებები, მაგ., სითბო, ტემპერატურა, ტენიანობა ის საერთო ცნებებია, რომლებსაც ბიოლოგიაც მუდმივად იყენებს.

ბოლო ათწლეულებში ფიზიკისა და ბიოლოგიის კავშირი იმდენად გაფართოვდა, რომ შეიქმნა ახალი მეცნიერებები: ბიოფიზიკა, აგროფიზიკა და ბიონიკა.

ფიზიკას ასევე მჭიდრო კავშირი აქვს ქიმიასთან, რაც მატერიის ერთ-ერთი სახის — ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების მოლეკულებისა და ატომების შესწავლისას ვლინდება (სურ. 3).



სურ. 3

ფიზიკამ, როგორც მეცნიერებამ, დიდი როლი ითამაშა მსოფლიო ცივილიზაციის განვითარებაში. მან შეცვალა ადამიანების ფუნდამენტური წარმოდგენები სივრცეზე, დროსა და სამყაროს მოწყობაზე.

ფიზიკის წარმატებებმა საშუალება მისცა სხვა დარგის სპეციალისტებს ფუნდამენტური აღმოჩენები გაეკეთებინათ.

ფიზიკის ცოდნა ადამიანებს ეხმარება, რომ სწორი წარმოდგენები შეიქმნან გარემომცველ სამყაროზე.

ფიზიკის შესწავლის შედეგად ადამიანს უვითარდება ლოგიკური აზროვნების, ანალიზისა და დასკვნების გამოტანის უნარი.

მათემატიკა არის ენა, რომელსაც იყენებს ყველა ზუსტი მეცნიერება. ფიზიკის ყველა კანონი გამოისახება მათემატიკური ფორმულებით. ასევე პლანეტების, ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების მოძრაობის კანონებს მათემატიკური ფორმულებით აღწერენ.

ფიზიკის განვითარებაში დიდი ადგილი უჭირავს ასტრონომიულ კვლევებს, ფიზიკის გარეშე წარმოუდგენელია სამყაროს სრულფასოვანი შესწავლა.

ინფორმატიკის გამოყენებით შესაძლებელია სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენების მოდელირება, ასევე ვირტუალური ცდების ჩატარება და სხვ.

ფიზიკის ცოდნა ადამიანებს სჭირდება როგორც ყოფა-ცხოვრებაში, ასევე — მომავალი პროფესიის არჩევისას. ამ ცოდნის გარეშე შეუძლებელია გახდეს გარკვეული სფეროს წარმატებული სპეციალისტი.

თუმცა ყველა სფეროს სპეციალისტისათვის აუცილებელი არ არის ფიზიკის ყველა კანონის საფუძვლიანი ცოდნა. მთავარია, იცოდეთ ფიზიკის ძირითადი, ფუნდამენტური კანონები!



გაანზრება

1. იმსჯელე ბუნებაში მიმდინარე მოვლენების შესახებ, რომლებსაც შეისწავლის ფიზიკის თითოეული ნაწილი. დაუკავშირე ფიზიკური მოვლენები შესაბამის სურათებს (სურ. 4).

- | | | |
|----------------|---------------|------------|
| 1. ელექტრული; | 2. ოპტიკური; | 3. სითბური |
| 4. მექანიკური; | 5. მაგნიტური; | 6. ატომური |

	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ
1						
2						
3						
4						
5						
6						



საშინაო დავალება

მომამზადე პრეზენტაცია თემაზე: „რატომ უნდა ვისწავლოთ ფიზიკა“.



ა



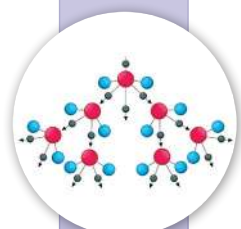
ბ



გ



დ



ე



ვ

1.3. ფიზიკა და ტექნიკის პროგრესი

იზიარა და იმსჯელე

რისთვის ქმნიან
ადამიანები ტექნიკას?



სურ. 5



სურ. 6



სურ. 7



სურ. 8

ფიზიკასა და ტექნიკას შორის მჭიდრო კავშირია. ტექნიკის შექმნისა და განვითარების ძირითადი მეცნიერული საფუძველი არის ფიზიკა. თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება წარმოდგენილია ტექნოლოგიების გარეშე, რომლებიც ფიზიკის ცოდნის საფუძველზე იქმნება. თუმცა, ტექნიკის განვითარებაც ხელს უწყობს ფიზიკის განვითარებას.

თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილი ლაბორატორიები სამყაროს სრულყოფილად შესწავლის შესაძლებლობას იძლევა. მასშტაბური სამეცნიერო ექსპერიმენტული კვლევები მოითხოვს სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერთა ჯგუფების გაერთიანებას. ამიტომ ფიზიკოსები ერთობლივად ატარებენ ექსპერიმენტებს. ცალკეულ ლაბორატორიებში, ან კვლევით ინსტიტუტებში, გენიოსების მიერ ჩატარებული კვლევები დიდი პრობლემების გადასაჭრელად საკმარისი აღარაა. რაც უფრო მასშტაბურია ექსპერიმენტი, მით უფრო დიდი აღმოჩენები ელოდება ადამიანებს!

1954 წელს საფრანგეთისა და შვეიცარიის საზღვარზე დაარსდა მსოფლიოში ყველაზე დიდი ლაბორატორია „ცერნი“ — CERN — ბირთვული კვლევების ევროპული ორგანიზაცია (სურ. 6).

ამ ლაბორატორიაში მსოფლიოს ყველა ქვეყნიდან მეცნიერები იკვლევნ მატერიის შემადგენელ ელემენტალურ ნაწილაკებს და მათ შორის ურთიერთქმედების კანონზომიერებებს. ეს კანონზომიერებები განსაზღვრავენ სხვადასხვა სხეულის „ქცევას“ დედამიწასა და კოსმოსში.

ცერნის ლაბორატორიაში განთავსებულია ადრონული კოლაიდერი (ამაჩქარებელი) (სურ. 7), რომელიც მიწის ქვეშ 100 მეტრის სიღრმეზეა. მას წრიული ფორმა აქვს (სურ. 8). გვირაბის სიგრძე 27 კილომეტრია. გვირაბში მოთავსებულია ოთხი ძირითადი სხვადასხვა ტიპის ექსპერიმენტული დეტექტორი (ინფორმაციის აღმრიცხველი). დეტექტორების საშუალებით იკვლევნ როგორც მატერიის შემადგენელ ნაწილაკებს, ასევე სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების კანონზომიერებებს.

კვლევის ძირითადი მიზანია, დაადგინონ, თუ როგორი იყო სამყარო 14 მილიარდი წლის წინ, მისი წარმოქმნის პირველ მიკროწამებში, როგორ შეიქმნა პირველი ელემენტარული ნაწილაკი,

ატომი, მოლეკულა, შემდგომ კი ვარსკვლავები, პლანეტები და გალაქტიკები, რა არის შავი ხვრელი, ანტიმატერია და სამყაროში არსებული სხვა საინტერესო ობიექტები. განვითარების რა გზა გაიარა სამყარომ და რა მოვლენები მოხდებოდა მომავალში.

ცერნის ექსპერიმენტებში სხვადასხვა დროს მონაწილეობდნენ ქართველი ფიზიკოსები. ამჟამად ისინი ცერნში მონაწილეობენ ორ ცენტრალურ ექსპერიმენტში: ატლასსა და სიემესში (ATLAS, CMS), რომელთა საშუალებით 2012 წელს აღმოაჩინეს თეორიულად ნაწინასწარმეტყველები ნაწილაკი, ჰიგსის ბოზონი. ამ ნაწილაკის არსებობა ივარაუდეს ბრიტანელმა ფიზიკოსმა პიტერ ჰიგსმა და ბელგიელმა ფიზიკოსმა ფრანსუა ენგლერმა, რისთვისაც მათ ნობელის პრემია მიენიჭათ.

ცერნის ლაბორატორიაში, გარდა კონკრეტული სამეცნიერო კვლევებისა, იქმნება ახალი ციფრული ტექნოლოგიები. მაგ., აქ შეიქმნა ინტერნეტი, WWW-სისტემა, რომელსაც ფიზიკოსები იყენებდნენ მსოფლიოში სხვა მეცნიერებთან დასაკავშირებლად. შემდგომ იგი უსასყიდლოდ გადაეცა მსოფლიოს საყოველთაო გამოყენებისთვის. ცერნის ლაბორატორიაში ასევე შეიქმნა DVD-სისტემის, ტომოგრაფიის, სამკურნალო და სადიაგნოსტიკო აპარატურების ტექნოლოგიები.

ციფრული ტექნოლოგიები ადამიანის ყოფის განუყოფელი ნაწილი ხდება. ლილაკიანი მობილური ტელეფონი ჩაანაცვლა თანამედროვე სენსორულმა ტელეფონმა, რომლებმაც ადამიანებს შესაძლებლობა მისცა შეიყვანონ ინფორმაცია ეკრანთან მსუბუქი შეხებით.

ციფრულმა ტექნოლოგიებმა განსაკუთრებული მნიშვნელობა შეიძინა ონლაინ სწავლების პროცესში. მაგ., ონლაინ ჟურნალების, ვირტუალური ლაბორატორიებისა და ელექტრონული სახელმძღვანელოების გამოყენებითა და სხვ.

მაღე საქართველოში, ქუთაისის ადრონული თერაპიის ცენტრში, განთავსდება ორი ციკლოტრონი (ციკლოტრონი — ნაწილაკების ამაჩქარებლის ერთ-ერთი ტიპი) (სურ. 9).

ერთი ციკლოტრონი სრულად დაეთმო სამეცნიერო კვლევებს ფიზიკის დარგში. მეორე კი გამოიყენება ურთულესი ონკოლოგიური დაავადებების სამკურნალოდ. პროტონების სხივებს შეუძლიათ სიმსივნური წარმონაქმნების ატომურ დონეზე დაშლა. ეს უახლესი ტექნოლოგიაა, რომელიც ათიათასობით ადამიანის სიცოცხლეს გადაარჩენს. განსაკუთრებით ეფექტურია ის ბავშვების მკურნალობისას! ელექტრონებით დასხივებასთან შედარებით ამ მეთოდის უპირატესობა იმაშია, რომ ის ფაქტობრივად არ აზიანებს ჯანმრთელ უჯრედებს.



სურ. 9



გაანჯრება

იმსჯელე ფიზიკის მნიშვნელობაზე ტექნიკის განვითარებაში: ა. როგორ იყენებენ სასწავლო პროცესებში ციფრულ ტექნიკას; ბ. სად და როგორ იყენებენ ადამიანები რობოტებს.



საშინაო დავალება

- ჩამონათვალიდან შეარჩიე თემა, მოიძიე ინფორმაცია და მოამზადე პრეზენტაცია: ა. ცერნი — სამყაროს კვლევის ლაბორატორია; ბ. ფიზიკა და ციფრული ტექნიკა; გ. ფიზიკური ხელსაწყოების როლი დმანისის არქეოლოგიურ კვლევებში (ზეზვა და მზიას ასაკის დადგენა). დ. ფიზიკური ხელსაწყოები, რომლებიც ადგენენ ფრესკებისა და ნახატების ასაკსა და მათი დაზიანების ხარისხს; ე. ფიზიკის მიღწევების გამოყენება კოსმოსის კვლევაში; ვ. სად და როგორ იყენებენ ადამიანები რობოტებს; ზ. როგორ გამოიყენება ფიზიკა სამედიცინო ტექნიკის შექმნის, დიაგნოზის დასმისა და მკურნალობის პროცესებში.



სურ. 10

● ფიზიკა და ასტროფიზიკა

ასტროფიზიკა არის მეცნიერება, რომელიც იყენებს ფიზიკის მეთოდებსა და პრინციპებს ასტრონომიული ობიექტების შესწავლის მიზნით.

ფიზიკოსებისა და ასტროფიზიკოსების აზრით, ჩვენთვის ცნობილი მატერია (ნივთიერებისა და ველის სახით) ერთიანი სამყაროს მასის მხოლოდ 5%-ს შეადგენს. სამყაროს მასის დაახლოებით 95% ჩვენთვის უცნობი ბუნებისაა, აქედან 25% უცნობი მატერიაა. მას „ბნელი მატერია“ უწოდეს, რადგანაც ვლინდება მხოლოდ „გრავიტაციული ეფექტით.“ დანარჩენ 70%-ს შეადგენს ბნელი ენერგია.

დიდი აფეთქების თეორიის თანახმად, სამყარო წარმოიშვა წარმოდგენილად მკვრივი და ცხელი მატერიის სპონტანური აფეთქების შედეგად, რომელიც კონცენტრირებული იყო ძალიან მცირე ზომის მოცულობაში. ამ ე.წ. წერტილმა აფეთქებისას ძალიან დიდი ენერგია გამოტყორცნა.

დიდი აფეთქების თეორიის თანახმად, გალაქტიკები, ვარსკვლავები და პლანეტები ამ დიდი აფეთქების ნამსხვრევებისგან ჩამოყალიბდა (სურ. 10).

თანამედროვე ინგლისელი ფიზიკოსის **სტივენ ჰოკინგის** სამეცნიერო მოღვაწეობის სფერო იყო დიდი აფეთქების ფიზიკური საფუძვლების ახსნა და შავი ხვრელების შიგნით სივრცისა და დროის მნიშვნელოვანი დეფორმაციის გამოკვლევა. ფიზიკოს როჯერ პენროუზთან ერთად მან დაასკვნა, რომ აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორიის მიხედვით დრო და სივრცე შეიქმნა დიდი აფეთქებისას. ამ შედეგებმა მოითხოვა ფარდობითობის თეორიისა და კვანტური მექანიკის სინთეზი. ჰოკინგი იმედოვნებდა, რომ ფიზიკის ამ ორი დიდი თეორიის გაერთიანებით შესაძლებელი იქნება განხორციელდეს XX საუკუნის ფიზიკოსთა მისწრაფება - შეიქმნას ბუნების ძალების დიდი გაერთიანების თეორია.

ფიზიკის მიღწევები კოსმოსის ათვისებაში სხვადასხვა მიმართულებით გამოიყენება. მაგალითად, კინოხელოვნებაში. მხატვრული ფილმის „გამოძახების“ გადასაღებად კოსმოსში 2021 წლის ბოლოს კინორეჟისორი და მსახიობი გაფრინდა. გადაღებები საერთაშორისო კოსმოსურ სადგურში 12 დღე მიმდინარეობდა.

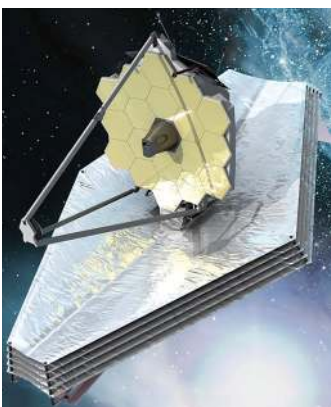
2021 წლის ბოლოს კოსმოსში გაუშვეს ტელესკოპი ჯეიმს ვებერი (სურ. 11). ეს არის ორბიტალური ინფრანითელი ობსერვატორია, რომელიც შეავსებს და გააფართოებს კოსმოსური ტელესკოპის Hubble-ს აღმოჩენებს. იგი გამოირჩევა უკეთესი მგრძნობელობით და 24 საათის განმავლობაში მიაწვდის დედამიწაზე ინფორმაციას. მის მიერ გადმოცემული ინფორმაცია შეავსებს ცერნის ცენტრში მოპოვებულ მეცნიერულ აღმოჩენებს სამყაროს შექმნის შესახებ.

● ფიზიკა და მედიცინა

თანამედროვე სამედიცინო აპარატურის შექმნის ტექნოლოგია ფიზიკის მიღწევებს ეყრდნობა. ამ ტექნოლოგიური მიღწევების



სტივენ უილიამ ჰოკინგი
(1942 -2018)



სურ. 11

შედეგად შეიქმნა: სისხლის სიჩქარისა და მიმართულების გამზომი; სისხლძარღვთა სხვადასხვა პრობლემის აღმოჩენი; ნაყოფის გულსცემაზე დასაკვირვებელი აპარატურა.

ადამიანის გარკვეული ორგანოები, გული, ფილტვები, სისხლის მიმოქცევის სისტემა, მუშაობისას გამოსცემენ გარკვეულ აკუსტიკურ ტალღებს. ამ ტალღების აღქმისათვის გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყო — **სტეტოსკოპი** (სურ. 12).

კომპიუტერული ტომოგრაფიის აპარატში იყენებენ რენტგენის გამოსხივებასა და ფოტოდეტექტორებს. გამომსხივებელსა და დეტექტორს შეუძლიათ პაციენტის გარშემო ბრუნვა. ბრუნვისას ხდება უამრავი სურათის გადაღება, რომლებსაც შემდეგ კომპიუტერი ციფრულად ამუშავებს და ქმნის 3D გამოსახულებას მაღალი გარჩევისუნარიანობით.

მაგნიტო-რეზონანსული ტომოგრაფია (MRT) — სამედიცინო დიაგნოსტიკაში ბირთვული მაგნიტური რეზონანსი გამოიყენება სხეულის ანატომიასა და ფიზიოლოგიურ პროცესებზე დასაკვირვებლად.

პოზიტრონულ-ემისიური ტომოგრაფია (T) იყენებს γ – გამოსხივებას, რომელიც უფრო მაღალი სიხშირისა და ენერგიისაა, ვიდრე რენტგენის სხივები.

● ფიზიკა და იურისპრუდენცია

ფიზიკა დიდ დახმარებას უწევს იურისტებს. ექსპერტ-კრიმინალისტები დანაშაულის გამოსავლენად ხშირად ფიზიკის კვლევის მეთოდებს იყენებენ. ამ მიზნით შექმნილია თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილი სპეციალური ლაბორატორიები. მაგ., დამნაშავის თვალით უხილავი კვალის აღმოსაჩენად გამოიყენება სპეციალური მონეობილობის მიკროსკოპი.

● ფიზიკა და მეტეოროლოგია

მეტეოროლოგია მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის დედამიწის ატმოსფეროს და მასში მიმდინარე პროცესებს. ზოგიერთ ქვეყანაში მას „ატმოსფეროს ფიზიკასაც“ უწოდებენ.

ადამიანები უძველესი დროიდან აკვირდებოდნენ ამინდს, რომლის პროგნოზირება აუცილებელია როგორც ყოფა-ცხოვრებაში, ასევე სოფლის მეურნეობაში. დროთა განმავლობაში ამ სფეროში დაგროვილი ცოდნისა და ტექნიკის განვითარების შედეგად შეიქმნა მეცნიერება — მეტეოროლოგია.

ამინდის ზუსტად პროგნოზირებისათვის გამოიყენება კოსმოსური მეტეოროლოგიური სადგურები (სურ. 13). კოსმოსური მეტეოროლოგიური თანამგზავრებიდან შესაძლებელია დაკვირვება დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურასა და თოვლისა და ყინულის საფარზე. ასევე ეს სადგურები მუდმივად გადმოსცემენ ატმოსფეროში ღრუბლების მდებარეობასა და მათ მოძრაობას სატელევიზიო გადაცემის სახით. მიღებული შედეგები მუშავდება დედამიწაზე სპეციალურ სადგურებში მეტეოროლოგების მიერ.

ქარის სიჩქარეს ძველად ადამიანები თვითნაკეთი ხელსაწყოებით ზომავდნენ. ამჟამად მეტეოროლოგები ქარის სიჩქარეს ზომავენ ხელსაწყოთი — ანემომეტრით (სურ. 14).



სურ. 12



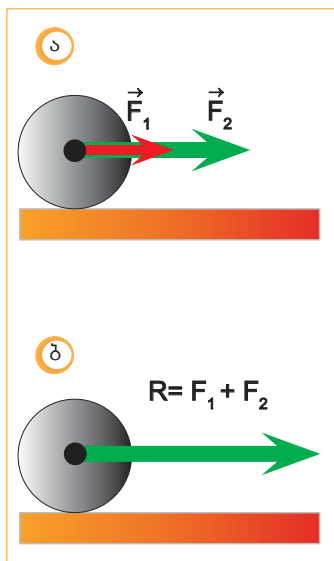
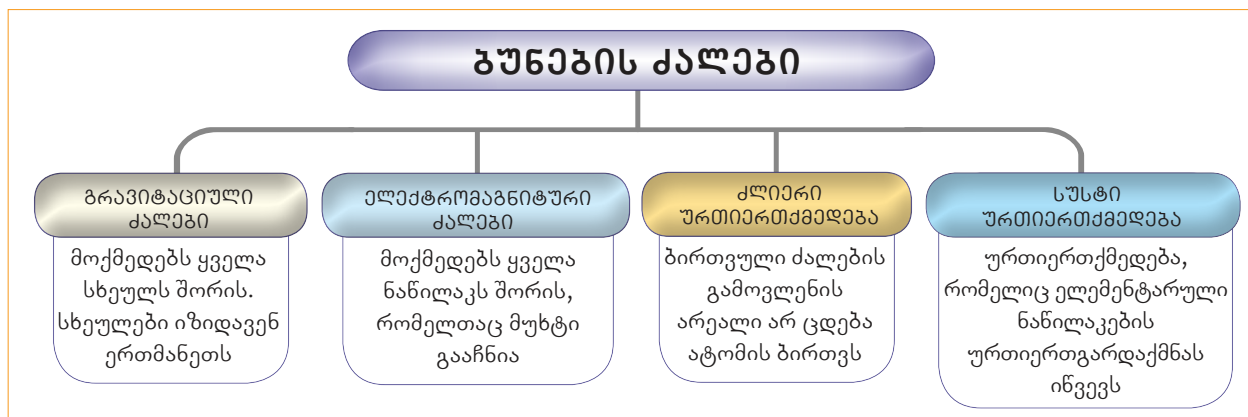
სურ. 13



სურ. 14

მეცნიერების მიერ ჩატარებული მრავალი ექსპერიმენტული კვლევით დადგინდა, რომ მატერიის ერთ-ერთი სახე, ნივთიერება შეიცავს განუყოფელ, უმცირეს ნაწილაკებს, რომლებსაც ელემენტარული ნაწილაკები უწოდეს. ელემენტარული ნაწილაკებია: პროტონები, ნეიტრონები, ელექტრონები, კვარკები და სხვ. ასეთი დღეისათვის თითქმის 500 ნაწილაკია.

ელემენტარულ ნაწილაკებს აქვთ უმცირესი მასა, რის გამოც, მსოფლიო მიზიდულობის კანონის თანახმად, ახასიათებთ ურთიერთქმედება, რომელიც მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. ელემენტარული ნაწილაკების უმრავლესობა, გარდა გრავიტაციული ძალისა, ურთიერთქმედებენ ისეთი ძალით, რომელიც ასევე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია და ბევრად აღემატება გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალას. ნაწილაკებს, რომელთაც ახასიათებთ ასეთი ურთიერთქმედების უნარი, ამბობენ, რომ მათ აქვთ ელექტრული მუხტი, ხოლო თვით ურთიერთქმედებას დამუხტულ ნაწილაკებს შორის ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებას უწოდებენ. ელემენტარული ნაწილაკები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ აგრეთვე სუსტი და ძლიერი ძალებით.



სურ. 15

● ძალა.

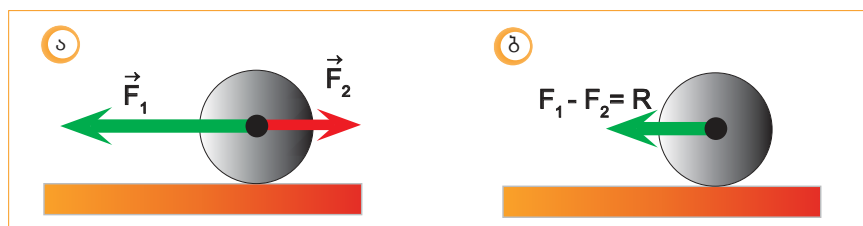
ძალის მოქმედების შედეგად სხეულები იცვლიან სიჩქარეს ან დეფორმირდებიან.

ძალა ვექტორული სიდიდეა. იგი სამი არსებითი ნიშნით ხასიათდება:

1. მოდების წერტილით; 2. მიმართულებით; 3. მოდულით.

სხეულზე შეიძლება ერთდროულად რამდენიმე ძალა მოქმედებდეს. თუმცა ამ ძალების მოქმედებისას ისეთივე შედეგი შეიძლება გამოიწვიოს ერთმა ძალამ (სურ. 15, 16).

ძალას, რომელიც სხეულზე ისევე მოქმედებს, როგორც რამდენიმე ძალა ერთად, ძალთა ტოლქმედი ეწოდება.



სურ. 16

● ნიუტონის პირველი კანონი.

თუ სხეულზე ძალები არ მოქმედებს ან მასზე მოქმედი ძალები კომპენსირებულია, სხეული ინარჩუნებს უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას (სურ. 17).

სხეულებზე შეიძლება მოქმედებდეს ძალები, რომლებიც აკომპენსირებენ ერთმანეთს $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$, სხეული შეიძლება იყოს უძრავი ან მოძრაობდეს წრფივად და თანაბრად.

დინამიკის კანონები სამართლიანია ათვლის ინერციული სისტემებისთვის, ანუ სისტემების, რომელთა მიმართ სხეულები ინარჩუნებენ უძრაობის ან წრფივი, თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას, თუ მათზე სხვა სხეულების მოქმედება კომპენსირებულია.

● ნიუტონის მეორე კანონი.

სხეულზე მოქმედი ძალა ამ სხეულს ანიჭებს აჩქარებას, რომელიც პირდაპირპროპორციულია სხეულზე მოქმედი ძალის და უკუპროპორციულია სხეულის მასის (სურ. 18).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad \text{აქედან} \quad \vec{F} = m\vec{a}$$

ძალის ერთეულია ნიუტონი. $1 \text{ N} = 1 \text{ კგ} \cdot \text{მ/წმ}^2 (\text{SI})$.

1 N არის ძალა, რომელიც 1 კგ მასის სხეულს ანიჭებს 1 მ/წმ^2 აჩქარებას.

● ნიუტონის მესამე კანონი.

ძალები, რომლითაც ორი სხეული ერთმანეთზე მოქმედებს, სიდიდით ტოლია და ერთი წრფის გასწვრივ ურთიერთსაპირისპიროდაა მიმართული.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

მნიშვნელოვანია, რომ ქმედებისა და უკუქმედების ძალები სხვადასხვა სხეულზეა მოდებული და ამიტომ არ აკომპენსირებენ ისინი ერთმანეთს. ეს ძალები ერთნაირი ბუნებისაა.

● მსოფლიო მიზიდულობის კანონი.

ნებისმიერი ორი სხეული ურთიერთმიზიდება ძალით, რომლის მოდული პირდაპირპროპორციულია ამ სხეულების მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

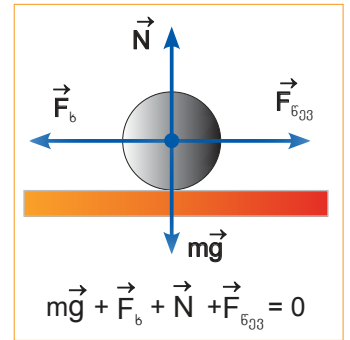
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

სადაც m_1 და m_2 სხეულის მასებია, r — მათ ცენტრებს შორის მანძილი, (სურ. 19). ძალა მიმართულია სხეულების შემაერთებული წრფის გასწვრივ.

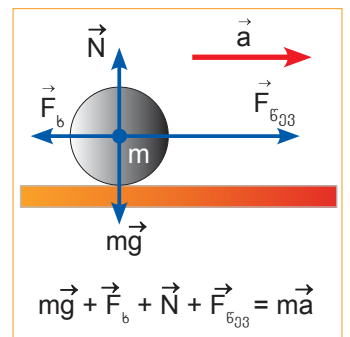
მსოფლიო მიზიდულობის კანონი სამართლიანია მატერიალური წერტილებისა და ერთგვაროვანი სფერული ფორმის სხეულებისათვის.

G-ს მსოფლიო მიზიდულობის, ანუ გრავიტაციული მუდმივა ეწოდება.

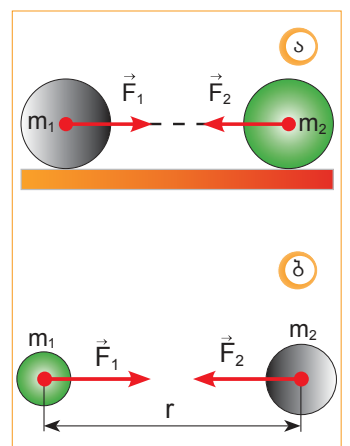
$$G = \frac{F r^2}{m_1 m_2}, \quad G = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{მ}^2}{\text{კგ}^2}.$$



სურ. 17



სურ. 18

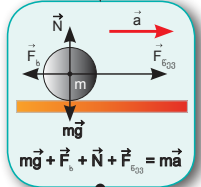
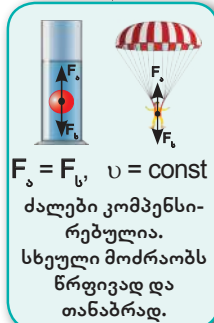
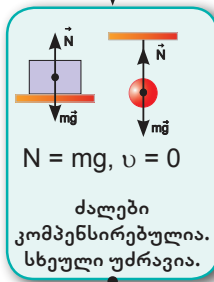


სურ. 19



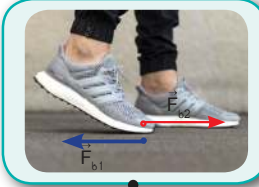
ბაზრება

გაიხსენე და იმსჯელე სხეულთა ურთიერთქმედების შესახებ. აზრობრივად დაასრულე სქემა.



$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ სხვადასხვა სხეულზე მოდებული ერთნაირი ბუნების ძალებია



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

ნივთიერი წერტილებისთვის

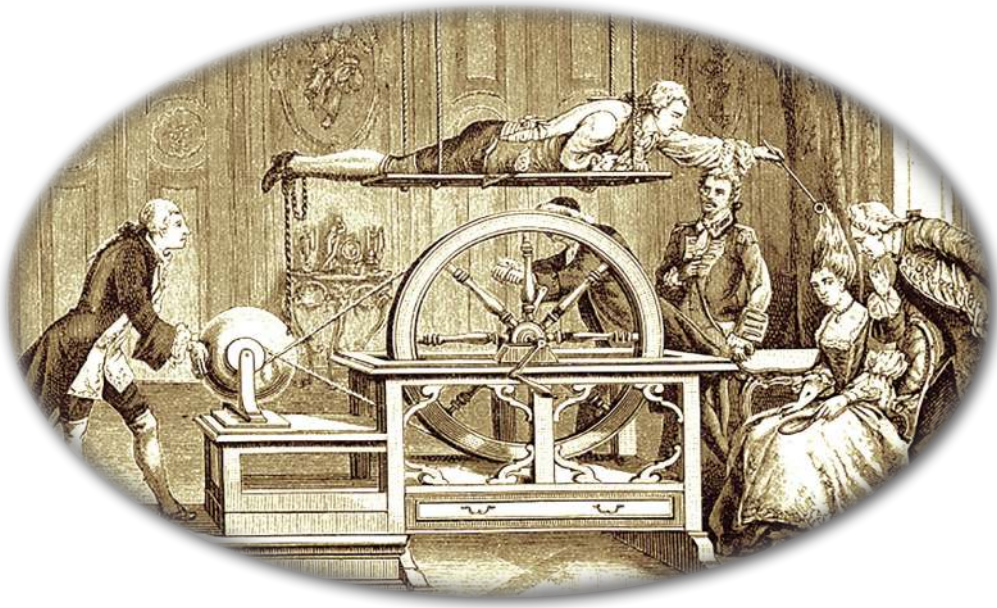
ინერციული ათვის სისტემები

$$\vec{F}_{\text{ტოლქ}} = 0, \vec{v} = \text{const}$$

სისტემა, რომელიც მოძრაობს ინერციული ათვის სისტემების მიმართ წრფივად და თანაბრად

შორეული ვარსკვლავები. მზე და დედამიწა გარკვეული მიახლოებით

თავი 2. ელექტროსტატიკა



შეისწავლი:

- ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედებას; კულონის კანონს;
- ელექტრული ველის დაძაბულობას; სუპერპოზიციის პრინციპს;
- დიელექტრიკებს და გამტარებს ელექტრულ ველში; ელექტროსტატიკურ ინდუქციას;
- დიელექტრიკულ შეღწევადობას; დიელექტრიკის პოლარიზაციას;
- ელექტრული ველის მუშაობას; მუხტების ურთიერთქმედების პოტენციალურ ენერგიას;
- ელექტრული ველის პოტენციალს; პოტენციალთა სხვაობას.

შეიღებ და დაეუფლები:

- მსჯელობას ელემენტარული მუხტისა და მუხტის შენახვის კანონის გასაანალიზებლად;
- ელექტრულ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ექსპერიმენტულ კვლევას;
- მსჯელობას მუხტის მიერ ელექტროსტატიკური ველის წარმოქმნისა და ველის მახასიათებელი პარამეტრების (დაძაბულობა, პოტენციალი) შესახებ;
- პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნას კულონის კანონზე, ველის დაძაბულობასა და პოტენციალზე;
- მსჯელობას ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობასა და კონდენსატორების პარალელური და მიმდევრობითი შეერთების შესახებ.

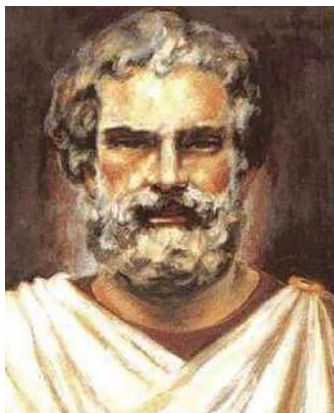
2.1. ელექტრული მუხტი

იზიძრა და იმსჯელო

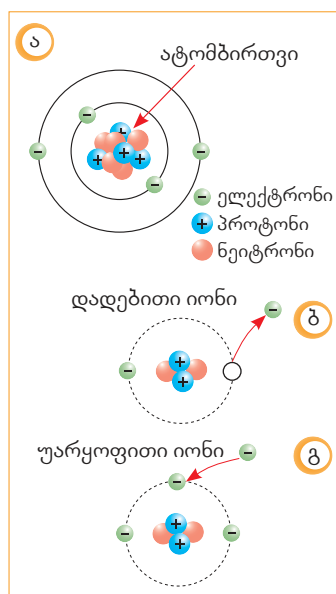
რატომ იზიდავს
ფურცლები
ერთმანეთს?



სურ. 1



თალეს მილეტელი
(624 ძვ.წ. — 546 ძვ. წ.)



სურ. 2

ბერძენმა ფილოსოფოსმა **თალეს მილეტელმა**, ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე აღმოაჩინა, რომ ქარვა შალზე ხახუნის შედეგად იზიდავდა მსუბუქ სხეულებს. შემდგომში აღმოჩნდა, რომ ხახუნის შედეგად არა მარტო ქარვა, არამედ სხვა სხეულებიც იძენდნენ მიზიდვის ან განზიდვის უნარს. ქარვას ბერძნულად **ელექტრონი** ჰქვია. ამიტომ ხახუნის შედეგად სხეულების მიერ **მიზიდვის ან განზიდვის** უნარის შეძენას **დაელექტროება** უწოდეს.

სხეული დაელექტროებულია ნიშნავს, რომ მას მინიჭებული აქვს ჭარბი ელექტრული მუხტი და აქვს უნარი მიიზიდოს ან განიზიდოს მეორე დამუხტული სხეული.

არსებობს ორგვარი ელექტრული მუხტი: **დადებითი და უარყოფითი**. ეს ცნებები პირველად ამერიკელმა საზოგადო მოღვაწემ და მეცნიერმა **ბენჯამინ ფრანკლინმა** შემოიტანა.

ნებისმიერი ნივთიერების ატომი შედგება დადებითად დამუხტული ბირთვისა და უარყოფითი მუხტის მქონე გარსისგან. გარსი შეიცავს გარკვეული რაოდენობის ელექტრონებს. ელექტრონის მუხტი უარყოფითია. ატომის ბირთვის შემადგენელ ნაწილაკს — პროტონს დადებითი მუხტი აქვს. მისი მუხტი მოდულით ელექტრონის მუხტის ტოლია. ატომის ბირთვი შეიცავს აგრეთვე ელექტრულად ნეიტრალურ ნაწილაკებს, ნეიტრონებს. ელექტრული მუხტი ცალკე, ნაწილაკის გარეშე არ არსებობს, ხოლო ნაწილაკი შეიძლება იყოს მუხტის გარეშე (მაგ., ნეიტრონი).

ატომი ელექტრულად ნეიტრალურია ნიშნავს, რომ ატომში ელექტრონებისა და პროტონების რაოდენობა ტოლია (სურ. 2 ა). თუ ატომი კარგავს ერთ ან რამდენიმე ელექტრონს, დადებითად იმუხტება (სურ. 2 ბ), ელექტრონების მიერთებისას კი — უარყოფითად (სურ. 2 გ).

დამუხტულ ატომს **იონი** ეწოდება.

მინის ღეროზე აბრეშუმის ქსოვილთან ხახუნის შედეგად გაჩენილ მუხტს პირობითად **დადებითი** უწოდეს (ამ დროს აბრეშუმის ქსოვილი იმავე სიდიდის უარყოფით მუხტს შეიძენს), ებონიტის ღეროზე შალის ქსოვილის ხახუნისას გაჩენილ მუხტს უწოდეს

უარყოფითი (ამ დროს შალის ქსოვილი იმავე სიდიდის დადებით მუხტს შეიცენს).

ერთნაირნიშნის მუხტები ერთმანეთს **განიზიდვს** (სურ. 3 ა, ბ), სხვადასხვანიშნის – **მიიზიდვს** (სურ. 3 გ).

სხეული, რომელზეც აღმოჩნდება უარყოფითი მუხტების სიჭარბე, იმუხტება უარყოფითად. სხეული, რომელზეც უარყოფითი მუხტების ნაკლებობაა, იმუხტება დადებითად.

დაუმუხტავ სხეულში დადებითი და უარყოფითი მუხტების ერთნაირი რაოდენობაა.

ელექტრული მუხტი სკალარული ფიზიკური სიდიდეა. მუხტი ახასიათებს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ინტენსიურობას (ძალას). ის აღინიშნება q — ასოთი. SI სისტემაში **ელექტრული მუხტის ერთეულია კულონი (კ).**

ბუნებაში უამრავი ელემენტარული ნაწილაკია, რომელთაც მუხტი გააჩნია. დამუხტული ელემენტარული ნაწილაკის უმცირესი მუხტი, ელემენტარული მუხტია $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ კ.

ელექტრონის მუხტი სიდიდით ელემენტარული მუხტის ტოლია, თუმცა ნიშანი უარყოფითი აქვს. იმავე სიდიდის დადებითი ნიშნის მუხტი გააჩნია პროტონს. უმცირესი ელემენტარული მუხტი განუყოფელია.

სხეულის ელექტრული მუხტი **დისკრეტულია**. ეს ნიშნავს, რომ დამუხტული სხეულის ელექტრული მუხტი ჯერადია უმცირესი ელემენტარული მუხტის.

თუ დამუხტული სხეული შეიცავს n რაოდენობის ელექტრონების სიჭარბეს ან ნაკლებობას, მაშინ დამუხტული სხეულის მუხტი იქნება:

$$q = \pm n \cdot e,$$

სადაც n ნატურალური რიცხვია.

ატომის მუხტი — $q = e(N_p - N_e)$, სადაც N_p — პროტონების რიცხვია, N_e — ელექტრონების. დამუხტული სხეულის ან ნაწილაკთა სისტემის მუხტი მასში შემავალი ნაწილაკების მუხტის ალგებრული ჯამის ტოლია. ამიტომ ამბობენ, რომ მუხტი ადითიური სიდიდეა (მუხტები იკრიბება).



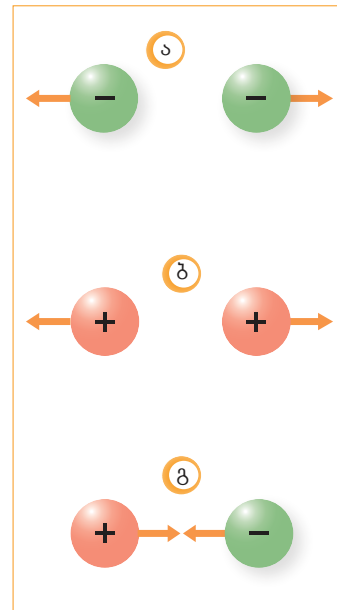
გაანზრება

1. იმსჯელე, რა ნიშნის მუხტი აქვს თითოეულ ბურთულას (სურ. 4)
2. იმსჯელე ატომის მუხტის შესახებ:
 - ა. $N_p = N_e$; ბ. $N_p > N_e$; გ. $N_p < N_e$

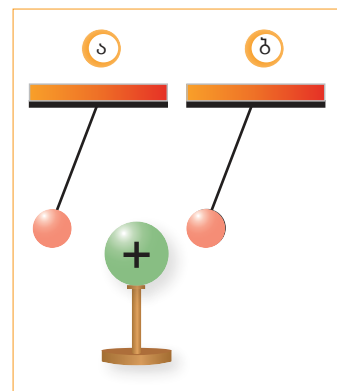


საშინაო დავალება

1. ლითონის ბურთულის მუხტია $q = -3,2 \cdot 10^{-9}$ კ. რამდენი ჭარბი ელექტრონია მასზე?
2. ლითონის ბურთულაზე $6,0 \cdot 10^{10}$ ჭარბი ელექტრონია. გამოთვალე ბურთულის მუხტი.
3. რამდენი ელექტრონი მოაკლდა მინის ღეროს ხახუნის შედეგად, თუ მისი მუხტია $q = 8 \cdot 10^{-8}$ კ?



სურ. 3



სურ. 4

2.2. სხეულების დამუხტვის ექსპერიმენტული კვლევა



I. მოცემული გაქვს: ალუმინის ცარიელი ქილა, ჰაერით გაბერილი ბუშტი.

მსვლელობა: ალუმინის ქილა მოათავსე მაგიდაზე. მიუახლოვე ბუშტი და ამოძრავე მარჯვნივ და მარცხნივ. დააკვირდი მოვლენას. გაახახუნე ბუშტი შალის ქსოვილზე და მიუახლოვე იგი ქილას 3-4 სმ-ის მანძილზე. ბუშტი ნელა აამოძრავე მარჯვნივ, შემდეგ კი — მარცხნივ.

აღწერე და შეადარე დამზერილი მოვლენები.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ აამოძრავდა ალუმინის ქილა?



II. მოცემული გაქვს: პლასტმასის თხელი სახაზავი, ქაღალდის ნაკუნები.

მსვლელობა: პლასტმასის თხელი, ელასტიკური სახაზავი მიუახლოვე ქაღალდის ნაკუნებს. დააკვირდი მოვლენას. პლასტმასის სახაზავი დაარტყი მაგიდის ზედაპირს რამდენჯერმე და კვლავ მიუახლოვე ქაღალდის ნაკუნებს, აღწერე დამზერილი მოვლენა.

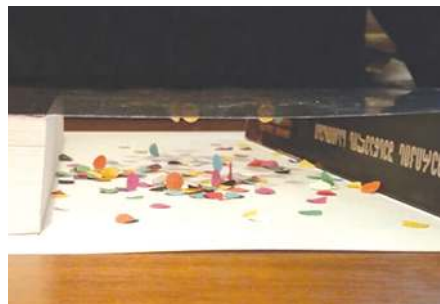
გამოიტანე დასკვნა: რატომ მიიზიდა პლასტმასის სახაზავმა ქაღალდის ნაკუნები? ცდა შეიძლება ჩატარდეს რეზინის შლანგით და თხელი ორგანული მინის სახაზავითაც.



III. მოცემული გაქვს: ორგანული მინის ფირფიტა, ორი წიგნი, რომელთა სისქე დაახლოებით 3 სმ-ია, ქაღალდის ფურცელი, მაკრატელი.

მსვლელობა: ფერადი ფურცლისაგან გამოჭერი შენთვის სასურველი ფიგურები. მოათავსე ორგანული მინის ფირფიტა წიგნებზე. დაყარე ფიგურები მინის ფირფიტის ქვეშ. დაჭმუჭნე ქაღალდის ფურცელი და რამდენჯერმე გაახახუნე ორგანული მინის ფირფიტაზე. აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ „აცეკვდნენ“ ფიგურები?



IV. მოცემული გაქვს: გაბერილი ბუშტი, შალის ნაჭერი.

მსვლელობა: მიუახლოვე ძაფზე დაკიდებული გაბერილი ბუშტები ერთმანეთს. გაახახუნე ბუშტები შალის ქსოვილზე და კვლავ მიუახლოვე ერთმანეთს. აღწერე და შეადარე დამზერილი მოვლენები ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ განიზიდა ბუშტებმა ერთმანეთი?

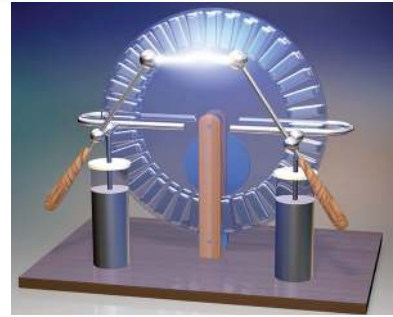


V. მოცემული გაქვს: ელექტროფორული მანქანა.

მსვლელობა: შეარჩიე მანძილი ელექტროფორული მანქანის ლითონის ბურთულებს შორის. დამუხტე ელექტროფორული მანქანა (დაატრიალე მისი სახელური).

დააკვირდი და აღწერე ელექტროფორული მანქანის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესი. შეაფასე წარმოშობილი ნაპერწკლის ინტენსიობა. რომელ ბუნებრივ მოვლენას შეადარებდი ელექტროფორული მანქანის განმუხტვის შედეგად წარმოშობილ ნაპერწკალს? გაზარდე ბურთულებს შორის მანძილი და კვლავ დამუხტე მანქანა, რაც დამუხტვის დროის ხანგრძლიობასა და ლითონის ბურთულებზე დაგროვილი მუხტის რაოდენობის ზრდას გამოიწვევს.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ იცვლება ნაპერწკლის ინტენსიობა ლითონის ბურთულებზე მუხტის რაოდენობის გაზრდის შედეგად? ექსპერიმენტი ჩაატარე მასწავლებელთან ერთად.



საშინაო დავალება

ექსპერიმენტული დავალება დაკვირვება დამუხტული სხეულის ურთიერთქმედებაზე

I. მოცემული გაქვს: გაბერილი ბუშტი, შალის ნაჭერი.

მსვლელობა: მიუახლოვე გაბერილი ბუშტი წყლის წვრილ ნაკადს. დააკვირდი მოვლენას. გაახახუნე ბუშტი შალის ქსოვილზე და კვლავ მიუახლოვე წყლის ნაკადს. აღწერე და შეადარე დამზერილი მოვლენები ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ მიიზიდა წყლის ნაკადი ბუშტმა?



სულთანების დამზადება

II. მოცემული გაქვს: ფოლგის გრაგნილი (ცელოფანი), სკოჩი, საქსოვი ხის ჩხირი (ან კოქტეილის საწრუპავი), პლასტილინი, მაკრატელი, პლასტმასის სახაზავი (ან სავარცხელი), მინის წკირი, შალისა და აბრეშუმის ქსოვილი.

მსვლელობა: დაჭერი ფოლგის ფურცლები (20სმ სიგრძის) წვრილ ზოლებად და გაყავი ორ ტოლ ნაწილად. მათ შორის მოათავსე ჩხირი და შუაში შემოახვიე სკოჩი. პლასტილინისგან გამოძერწე სადგამი და დაამაგრე ჩხირის თავისუფალი ბოლო. ანალოგიურად დაამზადე მეორე სულთანი, დამუხტე სახაზავი ხახუნით და მიუახლოვე ერთ-ერთ სულთანს. რატომ განიზიდა სულთანის ფურცლები? დამუხტე ორივე სულთანი დამუხტული ებონიტის ჯოხით. რატომ განიზიდა ფურცლებმა ერთმანეთი?

ივარაუდე, როგორ უნდა დამუხტო თითოეული სულთანი რომ ფურცლებმა მიიზიდონ ერთმანეთი. შენი ვარაუდი შეამოწმე ცდით.

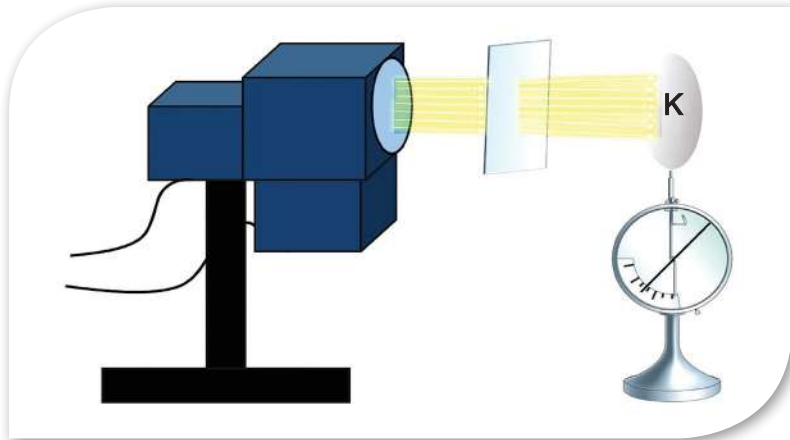
გამოიტანე დასკვნა: როდის მიიზიდავს სულთანის ფურცლები ერთმანეთს და როდის განიზიდავს.



2.3. სხეულების დამუხტვა. მუხტის მუდმივობის კანონი

იზიარა და იმსჯელა

როგორ იმუხტება
ლითონის K ფირფიტა?



სურ. 5



სურ. 6



სურ. 7

სხეულების დამუხტვის სხვადასხვა ხერხი არსებობს: დამუხტვა ხახუნით (ტრიბოელექტრობა), შეხებით, დარტყმით, გავლენით. ასევე, სხეულის დამუხტვა (დაელექტროება) შესაძლებელია სხეულის რადიოაქტიური დასხივებით ან სინათლით, ქიმიური ურთიერთქმედებით და სხვ.

- **ხახუნით დამუხტვა.** ხახუნით დამუხტვისას ორი სხვადასხვა სხეული მჭიდროდ ეხება ერთმანეთს. ატომის აღნაგობიდან გამომდინარე, ელექტრონების კავშირი ბირთვთან (კერძოდ, მის შემადგენელ პროტონებთან) ისეთია, რომ ხახუნისას ელექტრონებს შეუძლიათ გადასვლა ერთიდან მეორე სხეულზე. მათი განცალკევებისას სხეული, რომელმაც დაკარგა ელექტრონები, იმუხტება დადებითად. მეორე სხეული, რომელსაც გაუჩნდა უარყოფითი მუხტების სიჭარბე, იმუხტება უარყოფითად (სურ. 6). მაგ., სავარცხლის დამუხტვისას მშრალ თმაზე ხახუნით, ელექტრონები თმიდან სავარცხელზე გადადის და მუხტავს მას უარყოფითად, თმა კი დადებითად იმუხტება. ამიტომ მიიზიდავს სავარცხელი თმას, ხოლო თმის ღერები ერთმანეთს განიზიდავენ (სურ. 7).

ამგვარად, ხახუნით დამუხტვის პროცესში აუცილებლად ორი სხეული მონაწილეობს და მათ შორის მუხტები გადანაწილდება, რის შედეგად ელექტროვდება ორივე სხეული. ისინი იძენენ ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნის და მოდულით ტოლ მუხტებს.

- **დარტყმით დამუხტვა.** დარტყმით დამუხტვისას სხეულები იმუხტება იგივენაირად, როგორც ორი სხეულის ხახუნისას. მაგალითად, რეზინის მილის მყარ სხეულზე სწრაფად დარტყმის შედეგად ორივე სხეული საპირისპირო ნიშნით იმუხტება.

- **შეხებით დამუხტვა.** დაელექტროება შესაძლებელია დამუხტული სხეულის შეხებით დაუმუხტავ სხეულთან (სურ. 7).

დამუხტული სხეულის დაუმუხტავთან შეხებისას დაუმუხტავი სხეული იმუხტება იმავე ნიშნის მუხტით, როგორიც აქვს დამუხტ-

ტულ სხეულს. დამუხტული სხეული დაუმუხტავს გადასცემს მუხტს, რის შედეგადაც დამუხტული სხეულის მუხტი მცირდება, დაუმუხტავის იზრდება. თუ დადებითად დამუხტულ ებონიტის ღეროს შევახებთ სადგარზე მოთავსებულ ლითონის სფეროს, სფეროც დადებითად დაიმუხტება (სურ. 8).

● **გავლენით დამუხტვა.** ლითონის სფეროზე დადებითად დამუხტული ღეროს მიახლოებისას, სფეროზე, ღეროს მხარეს აღმოჩნდება უარყოფითი მუხტი, მეორე მხარეს კი სიდიდით მისი ტოლი დადებითი მუხტი (სურ. 9).

გავლენით დამუხტვას **ელექტროსტატიკურ ინდუქციასაც** უწოდებენ.

სხეულების დაელექტროებისას ერთი სხეულიდან მუხტი გადადის მეორე სხეულზე, თუმცა მუხტების საერთო რაოდენობის ალგებრული ჯამი არ იცვლება. ერთნაირი რაოდენობის სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული სხეულების კონტაქტისას დადებითი და უარყოფითი მუხტები ანეიტრალებენ ერთმანეთს, ანუ მათი მუხტების ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია. დაუმუხტავ, ანუ ელექტრულად ნეიტრალურ სხეულებში დადებითი და უარყოფითი მუხტების ტოლი რაოდენობაა. ამიტომ მათი ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია. ეს ბუნების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი, ფუნდამენტური კანონის გამოვლენაა, რომელსაც **მუხტის შენახვის (მუდმივობის) კანონს** უწოდებენ.

ჩაკეტილ (იზოლირებულ) სისტემაში, ანუ სისტემაში, რომელსაც გარედან არც გადაეცემა და არც წაერთმევა ელექტრული მუხტები, ჯამური ელექტრული მუხტი მუდმივია.

მუხტის შენახვის კანონი სამართლიანია ელემენტარული ნაწილაკებისთვისაც. სამყაროს ჯამური მუხტი ნულის ტოლია და არ იცვლება. ეს ნიშნავს რომ, თუ სადღაც ჩნდება დადებითი მუხტი, იქვე ჩნდება უარყოფითი ისე, რომ მათი ალგებრული ჯამი ისევ ნულის ტოლი იქნება.

თუ სხეულების ან ნაწილაკების მუხტის სიდიდეებს აღვნიშნავთ $q_1, q_2, \dots, q_n$, მაშინ:

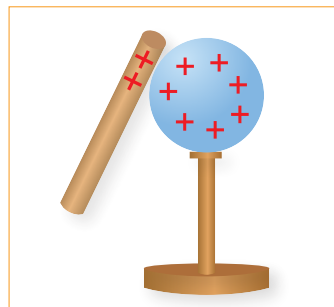
$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$$

q მუხტით დამუხტული ბურთულის (სურ. 10 ა) ისეთივე დაუმუხტავ ბურთულასთან შეხების შედეგად მუხტები გადანაწილდება (სურ. 10 ბ), ბურთულების ჯამური მუხტი კი რჩება უცვლელი. ბურთულების დაშორების შემდეგ (სურ. 10 გ) თითოეულ მათგანზე მუხტების თანაბარი რაოდენობა იქნება:

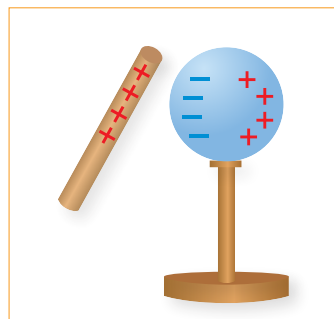
$$q'_n = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{n}$$

ფორმულა სამართლიანია n რაოდენობის ერთნაირი ბურთულებისთვის.

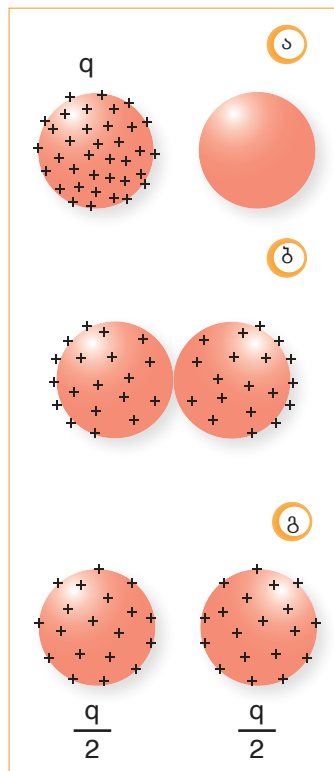
ელექტრობის ნაწილს, რომელშიც შეისწავლება უძრავი ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედების კანონზომიერებები, **ელექტროსტატიკა** ეწოდება.



სურ. 8



სურ. 9

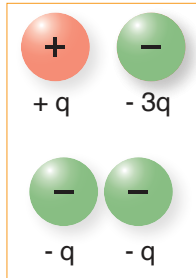


სურ. 10

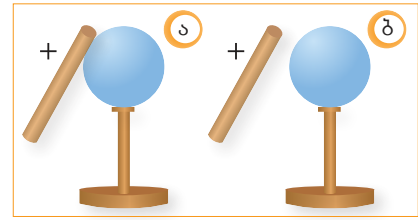


გააზრება

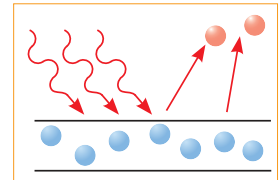
1. იმსჯელე, რა ნიშნის მუხტით იმუხტება თითოეული დაუმუხტავი სფერო (სურ. 11 ა, ბ)?
2. სურათზე გამოსახულია ლითონის ფირფიტიდან სინათლის მოქმედებით ელექტრონების ამოფრქვევის მოვლენა. იმსჯელე, რა ნიშნით დაიმუხტება ფირფიტა (სურ. 12)?



სურ. 13



სურ. 11



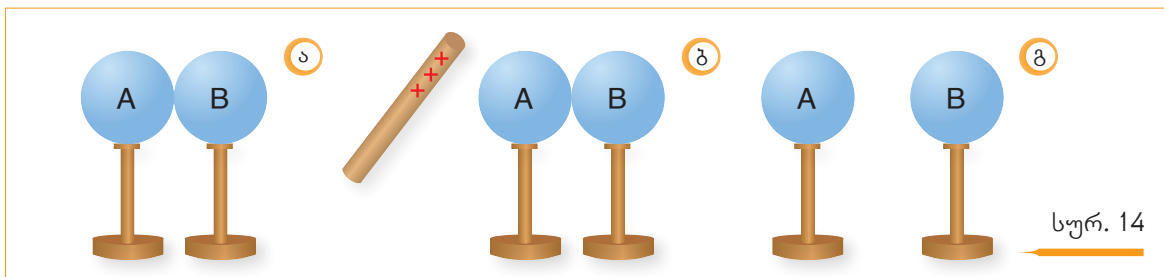
სურ. 12

3. ორი ერთნაირი ბურთულა, რომელთა მუხტებია $+q$ და $-3q$ შეახეს და შემდეგ დააშორეს ერთმანეთს. იმსჯელე მუხტის შენახვის კანონის გამოვლენის შესახებ (სურ. 13).
4. ორი ერთნაირი ზომის ლითონის ბურთულა, რომელთა მუხტებში, შესაბამისად, $-1,8 \cdot 10^{-5}$ კ და $+1 \cdot 10^{-5}$ კ-ია, შეახეს ერთმანეთს და შემდეგ კვლავ დააშორეს. გამოთვალე თითოეული ბურთულის მუხტი.



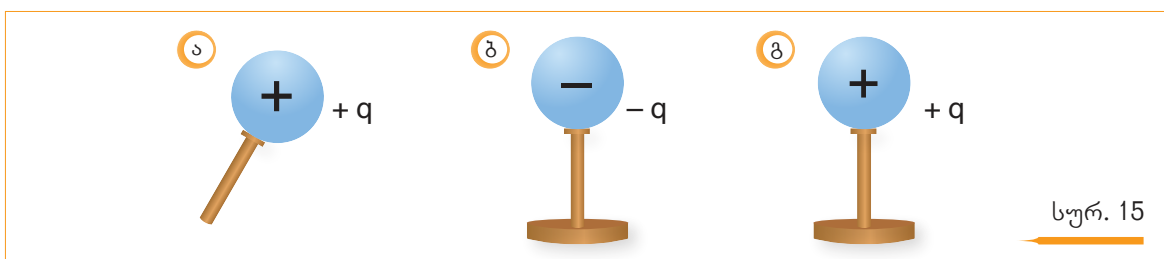
საშინაო დავალება

1. ლითონის ფირფიტა, რომლის მუხტი $2e$ -ს ტოლია, დასხივების შედეგად კარგავს 4 ელექტრონს. გამოთვალე ფირფიტის მუხტი.
2. იზოლირებულ სადგამზე (სურ. 14 ა) მოთავსებულია A და B ლითონის დაუმუხტავი ბურთულები, რომლებიც ეხებიან ერთმანეთს. A ბურთულას მიუახლოეს დადებითად დამუხტული ღერო, ისე რომ არ შეახეს მას (სურ. 14 ბ). შემდეგ, ღეროს გაუნძრევლად, B ბურთულა დააშორეს A ბურთულას და ბურთულებს მოაშორეს დამუხტული ღერო. რა ნიშნის მუხტი ექნება ბურთულებს (სურ. 14 გ)?



სურ. 14

3. მე-15 სურათზე გამოსახულია გრძელ იზოლირებულ ღეროზე დამაგრებული დადებითად დამუხტული ლითონის (ა) ბურთულა, რომელსაც შეახებენ ზუსტად ასეთივე სხვადასხვა ნიშნით დამუხტულ იზოლირებულ სადგამზე დამაგრებულ ჯერ (ბ) ბურთულას და შემდეგ (გ) ბურთულას. რა ნიშანი ექნება (გ) ბურთულას?



სურ. 15

● ელექტრონის მუხტის გაზომვა

მეცნიერებს დიდი დრო დასჭირდათ ქარვის ელექტრული თვისებებიდან ელექტრონის აღმოჩენამდე. ნაწილაკი — ელექტრონი აღმოჩენილ იქნა XIX საუკუნის ბოლოს ინგლისელი მეცნიერის ჯ. ჯ. ტომსონის მიერ, რისთვისაც მას 1906 წელს ნობელის პრემია მიენიჭა.

XX საუკუნის დასაწყისში ელექტრონის მუხტი დიდი სიზუსტით გაზომა ამერიკელმა მეცნიერმა **რობერტ მილიკენმა**.

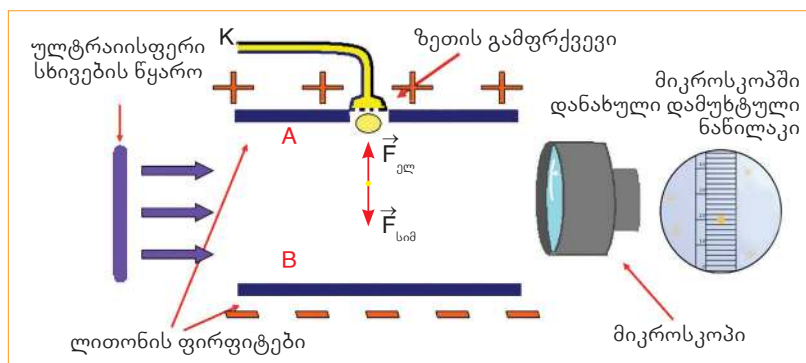
მე-16 სურათზე გამოსახულია მილიკენის ცდის სქემა. ექსპერიმენტების მიმდინარეობისას დანადგარში **K** მილის საშუალებით ზეთი გაიფრქვევა. გაფრქვეული ზეთის წვეთების ნაწილი უარყოფითად იმუხტება და ისინი ხვდებიან **A** და **B** ფირფიტებს შორის არეში. წვეთები სიმძიმის ძალის მოქმედებით მოძრაობენ ერთი ფირფიტიდან მეორე ფირფიტამდე. დამუხტული წვეთის ვარდნის სიჩქარის შესამცირებლად ფირფიტებს მუხტავენ სანინალმდეგო ნიშნის მუხტებით. ამიტომ წვეთზე მოქმედებს ელექტრული ძალა და ასევე სიმძიმის, არქიმედესა და ჰაერის წინააღმდეგობის ძალები. ფირფიტებზე მუხტის ცვლილებით არეგულირებენ მათ შორის არსებული ელექტრული ველის ცვლილებას ისე, რომ ზეთის დამუხტულმა წვეთმა თანაბრად იმოძრაოს. ნიუტონის პირველი კანონის თანახმად, თანაბარი მოძრაობისას წვეთზე მოქმედი ოთხი ძალა ერთმანეთს აკომპენსირებს. მილიკენი მიკროსკოპით აკვირდებოდა ზეთის უარყოფითად დამუხტულ წვეთებს, რომლებიც ზევით თანაბრად მოძრაობდნენ დადებითად დამუხტული **A** ფირფიტისკენ.

რადგან ცნობილი იყო, რომ წვეთზე მოქმედი ელექტრული ძალა წვეთის მუხტის პროპორციულია, მილიკენმა წვეთზე მოქმედი ყველა ძალის გათვალისწინებით გამოთვალა დამუხტული ზეთის წვეთის მუხტი.

ულტრაიისფერი სხივებით მრავალჯერადი დასხივების შედეგად, წვეთის მუხტიც მრავალჯერ იცვლებოდა. ექსპერიმენტების შედეგად მილიკენმა აღმოაჩინა, რომ ყოველი გაზომვისას წვეთის მუხტი იცვლებოდა რაღაცა, უმცირესი მუხტის $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ კ. ჯერადად. ე. ი. წვეთის მუხტი $q = e \cdot n$, სადაც n მთელი რიცხვია. რადგან წვეთები უარყოფითად იყო დამუხტული, ანუ მათ ჰქონდათ ელექტრონების ჭარბი რაოდენობა, მეცნიერმა დაასკვნა, რომ ეს უმცირესი მუხტი უნდა ყოფილიყო ელექტრონის მუხტი, რომლის ჯერადად იცვლებოდა ზეთის წვეთის მუხტი. მილიკენის ცდის შედეგად დადგინდა არა მარტო ელექტრონის მუხტის სიდიდე, არამედ დამტკიცდა ელექტრული მუხტის დისკრეტულობა. **სხეულმა შეიძლება დაკარგოს ან შეიძინოს ელექტრონის მუხტის მხოლოდ ჯერადი რაოდენობა.**



რობერტ მილიკენი
(1868 - 1953)



სურ. 16

ნაწილაკი	აღნიშვნა	მუხტი, კ	მასა, კგ
ელექტრონი	e	$-1,6 \cdot 10^{-19}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$
პროტონი	p	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,7 \cdot 10^{-27}$
ნეიტრონი	n	0	$1,7 \cdot 10^{-27}$

2.4. ელექტრული ველი

იზიძრა და იმსჯელე

როგორ
ხორციელდება
ურთიერთქმედება
დამუხტულ
სხეულებს შორის
შეხების გარეშე?



სურ. 17



მაიკლ ფარადეი
(1791-1867)



სურ. 18

ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა, რომ სხეულების დასამუხტად აუცილებელი არ არის მათი შეხება. ასევე გარკვეული მანძილით დაშორებული დამუხტული სხეულები შეხების გარეშე ურთიერთქმედებენ (მიიზიდავენ ან განიზიდავენ ერთმანეთს). რაც უფრო მცირეა მანძილი დამუხტულ სხეულებს შორის, მით უფრო ძლიერია ურთიერთქმედება. ასეთ ურთიერთქმედებას შორსქმედების (მანძილზე ქმედების) თეორიით ხსნიდნენ. ამ თეორიის მიმდევარი იყო **ანდრე მარი ამპერი**. შემდგომში შეიქმნა ახლოქმედების თეორია, რის მიხედვითაც სხეულები უშუალო შეხების გარეშე ურთიერთქმედებენ იმ ველებით, რომლებიც მათ გარშემო იქმნება. ამ თეორიის შემქმნელად **მაიკლ ფარადეი** ითვლება.

ფარადეის იდეების მიხედვით, უძრავი ელექტრული მუხტები უშუალოდ არ მოქმედებენ ერთმანეთზე. თითოეული მათგანი გარემომცველ სივრცეში ქმნის ელექტრულ ველს. ერთი მუხტის ველი მოქმედებს მეორეზე და პირიქით. ველის სიძლიერე მცირდება მუხტიდან დაშორების მიხედვით.

მეცნიერებმა ელექტრული ველის კვლევის შედეგად დაადგინეს, რომ ელექტრული ველი მატერიალურია და ველის საშუალებით დამუხტული სხეულები სხვა სხეულებზე მოქმედებენ შორ მანძილებზე უშუალო შეხების გარეშე.

ელექტრული ველი არის მატერიის ფორმა, რომელშიც მჟღავნდება ელექტრული ურთიერთქმედება.

მაქსველმა თეორიული კვლევებით დაამტკიცა, რომ ელექტრული ველი ვრცელდება ძალიან დიდი, მაგრამ სასრული სიჩქარით. ელექტრული ველის გავრცელების სიჩქარეა 300 000 კმ/წმ.

უძრავი მუხტების ირგვლივ არსებულ ველს **ელექტროსტატიკური ველი** ეწოდება, რადგან იგი დროის განმავლობაში არ იცვლება. არსებობს სხვა ველებიც, რომელსაც მოძრავი მუხტები ქმნის (მაგნიტური, ელექტრომაგნიტური).

ელექტრული მუხტები ურთიერთქმედებს როგორც უჰაერო სივრცეში (ვაკუუმში), ასევე სხვადასხვა გარემოში. ე.ი. რაიმე გარემოში მოთავსებული მუხტი ქმნის ელექტრულ ველს.

ჩვენი გრძნობათა ორგანოები ელექტრულ ველს ვერ აღიქვამს.

მისი დადგენა შესაძლებელია სპეციალური ხელსაწყოებით. მაგ., ელექტროსკოპითა და ელექტრომეტრით.

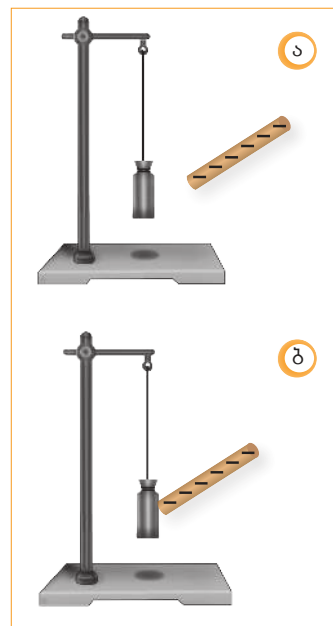
სასკოლო ელექტროსკოპი არის ხელსაწყო, რომლის გამოყენებით შესაძლებელია დადგინდეს დამუხტულია თუ არა სხეული და შეფასდეს მუხტის სიდიდე (სურ. 18).

ელექტროსკოპის ბურთულას დამუხტვისას მუხტი ღერძის საშუალებით ფოლგის (ლითონის) ფურცლებს გადაეცემა და ისინი განიზიდავენ ერთმანეთს. განზიდვის კუთხე დამოკიდებულია გადაცემული მუხტის სიდიდეზე. ელექტროსკოპის ბურთულაზე ერთი და იმავე ნიშნით დამუხტული სხეულის რამდენჯერმე შეხების შედეგად ფურცლები კიდევ უფრო მეტად გაიშლება. ე. ი. ელექტროსკოპით შეიძლება მუხტების დაგროვება.

ელექტრომეტრი (სურ. 19) ელექტროსკოპის მსგავსი ხელსაწყოა. მასში ფურცლების ნაცვლად ლითონის ღეროზე დამაგრებულია ლითონის მსუბუქი ისარი. კორპუსის მინაზე მოცემულია დანაყოფებიანი სკალა. ელექტრომეტრის ბურთულაზე დამუხტული სხეულის შეხების შედეგად მუხტი გადაეცემა ღერძს და ისარიც დაიმუხტება. ღერძსა და ისარს ერთი და იგივე მუხტი აქვთ. ამიტომ ისარი ღერძისგან განიზიდება რაიმე კუთხით. ისრის გადახრის კუთხის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ მასზე გადაცემული მუხტის სიდიდეზე.



სურ. 19

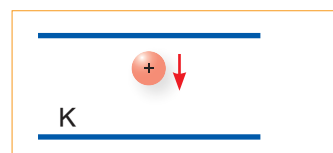


სურ. 20



ბაზრება

1. იმსჯელე; ა. რატომ იშლება დამუხტვისას ელექტროსკოპის ფურცლები? ბ. რატომ იზრდება ელექტროსკოპის ფურცლებს შორის კუთხე მისი ერთი და იმავე ნიშნის მუხტით რამდენჯერმე დამუხტვისას? გ. როგორ შეიძლება ელექტროსკოპზე მუხტების დაგროვება?
2. ორ დაუმუხტავ მასრასთან მიიტანეს ორი დამუხტული ღერო. ერთ-ერთი მასრა დამუხტეს გავლენით (სურ. 20 ა), ხოლო მეორე შეხებით (სურ. 20 ბ). იმსჯელე, როგორ გადანაწილდება ელექტრონები (ა) მასრაზე? რა ნიშნით დაიმუხტება (ბ) მასრა დამუხტულ ღეროსთან შეხების შემდეგ?
3. მცირე ზომის დადებითად დამუხტული წვეთი ვარდნისას უახლოვდება მის ქვევით მოთავსებულ დამუხტულ K ფირფიტას და რალაც სიმაღლეზე ჩერდება (სურ. 21). იმსჯელე K ფირფიტის მუხტის ნიშნის შესახებ?
4. დამუხტული ღერო მიუახლოეს დაუმუხტავი ელექტროსკოპის ბურთულას ისე, რომ არ შეახეს (სურ. 22). იმსჯელე რა ნიშნის მუხტია ღეროზე?

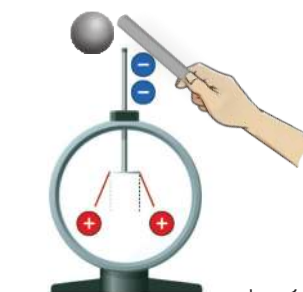


სურ. 21



საშინაო დავალება

1. რამდენით შეიცვლება დასხივებით ლითონის ფირფიტის მასა, რომლის მუხტია $10e$, თუ იგი დაკარგავს 4 ელექტრონს? რა მუხტი ექნება მას?
2. რენტგენის სხივების დასხივებით $-3e$ მუხტის მქონე მტვრის ნაწილაკმა 6 ელექტრონი დაკარგა. რა მუხტი ექნება მტვრის ნაწილაკს?



სურ. 22

2.5. დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევა



I. დაკვირვება ელექტრომეტრის დამუხტვაზე

მოცემული გაქვს: მინისა და ებონიტის (პლასტმასის) ღეროები, აბრეშუმისა და შალის ქსოვილები, ელექტრომეტრი.

მსვლელობა: აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნით დამუხტე მინის ღერო. შეახე დამუხტავი ელექტრომეტრის ბურთულას. დააკვირდი ელექტრომეტრის ჩვენებას. რა ნიშნის მუხტით დაიმუხტება ელექტრომეტრი?

შალზე ხახუნით დამუხტე ებონიტის ღერო და შეახე დამუხტული ელექტრომეტრის ბურთულას. დააკვირდი როგორ შეიცვლება ელექტრომეტრის ჩვენება?

აღწერე დამზერილი მოვლენა და ექსპერიმენტის შედეგები შეადარე ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ შემცირდა ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხე?



II. სხეულის მუხტის ნიშნის დადგენა

მოცემული გაქვს: ორი ელექტრომეტრი, მინისა და ებონიტის ღეროები, აბრეშუმისა და შალის ქსოვილები, პლასტმასის სახაზავი, ქაღალდის ფურცელი.

მსვლელობა: დამუხტე მინის ღერო აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნით, ხოლო ებონიტის ღერო შალზე ხახუნით. შეახე დამუხტული მინის ღერო ერთ-ერთ ელექტრომეტრს, ებონიტის ღერო მეორე ელექტრომეტრს. რა ნიშნის მუხტით დაიმუხტება პირველი და მეორე ელექტრომეტრი? დააკვირდი ელექტრომეტრების ისრების გადახრის კუთხეს. პლასტმასის სახაზავის მუხტის დასადგენად გაახახუნე იგი ქაღალდის ფურცელზე. შეახე პირველ ელექტრომეტრს. დააკვირდი ისრის ჩვენებას. შემდეგ შეახე დამუხტული სახაზავი მეორე ელექტრომეტრს. დააკვირდი ელექტრომეტრის ისრის ჩვენებას. შეადარე ელექტრომეტრის ისრების ჩვენებები.

გამოიტანე დასკვნა: რა ნიშნის მუხტითაა დამუხტული სახაზავი?





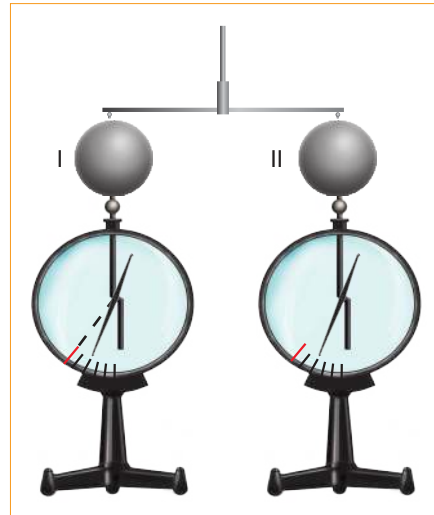
III. მუხტის დისკრეტულობის კვლევა

მოცემული გაქვს: ორი ელექტრომეტრი, მინის ან ებონიტის ღერო, ქაღალდის ფურცელი, ლითონის ღერო იზოლირებული სახელურით.

მსვლელობა: დამუხტე მინის (ან ებონიტის) ღერო ქაღალდის ფურცელზე ხახუნით. მიუახლოვე I ელექტრომეტრს, დააკვირდი ელექტრომეტრის ჩვენებას. ელექტრომეტრის ლითონის ბურთულები შეაერთე სახელურიანი ღეროთი. დააკვირდი ელექტრომეტრების ისრების ჩვენებას. მოაშორე ღერო ელექტრომეტრებს და თითის მიდებით განმუხტე II ელექტრომეტრი. ისევ შეაერთე ელექტრომეტრები გამტართ და დააკვირდი ელექტრომეტრების ჩვენებებს. ექსპერიმენტი გაიმეორე რამდენჯერმე.

შეადარე ელექტრომეტრის ჩვენებები ყოველი ექსპერიმენტის შემდეგ ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: მუხტის დისკრეტულობის შესახებ.

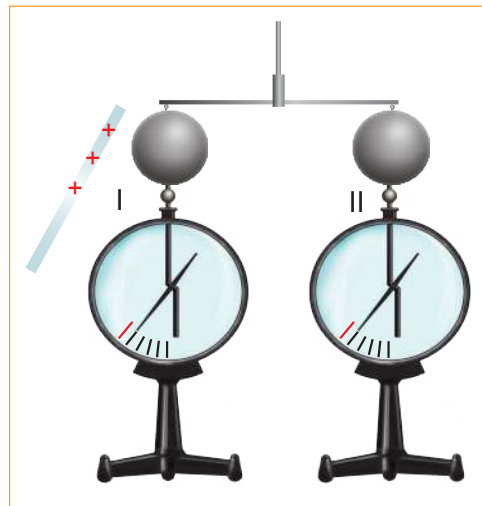


IV. მუხტის შენახვის ექსპერიმენტული კვლევა

მოცემული გაქვს: ორი ელექტრომეტრი, მინის ღერო, აბრეშუმის ქსოვილი ან ქაღალდის ფურცელი, ლითონის ღერო იზოლირებული სახელურით.

მსვლელობა: ელექტრომეტრების ლითონის დაუმუხტავი ბურთულები შეაერთე სახელურიანი ღეროთი. დააკვირდი ელექტრომეტრების ისრების ჩვენებას. დამუხტე მინის ღერო აბრეშუმზე ხახუნით და მიუახლოვე I ელექტრომეტრს. დააკვირდი ელექტრომეტრების ისრების ჩვენებებს. რა მუხტით დაიმუხტა I და II ელექტრომეტრი? მოაშორე ელექტრომეტრებს სახელურიანი ლითონის ღერო და დამუხტული მინის ღერო. დააკვირდი ელექტრომეტრების ისრების ჩვენებებს. ისევ შეაერთე ელექტრომეტრების ლითონის ბურთულები სახელურიანი ღეროთი. დააკვირდი ელექტრომეტრების ისრების ჩვენებებს.

გამოიტანე დასკვნა: რა შესაბამისობაა ცდის შედეგსა და მუხტის შენახვის კანონს შორის?



2.6. კულონის კანონი

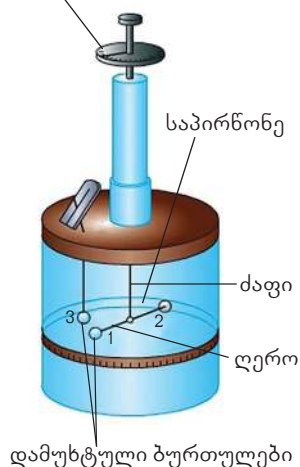
იზიარა და იმსჯელე

რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებული მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა?

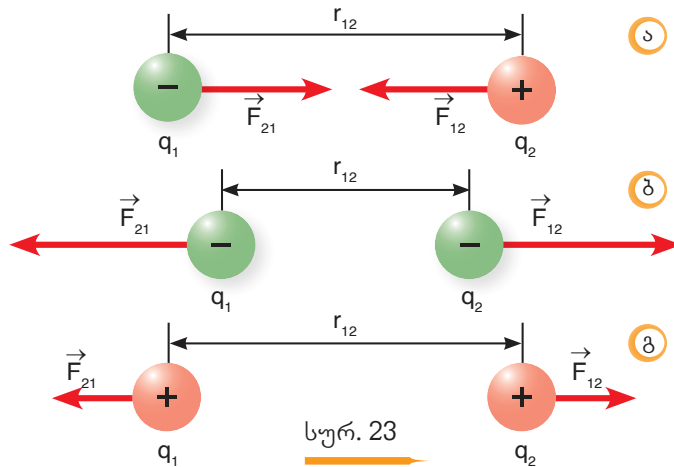


შარლ ოგიუსტენ კულონი (1736 - 1806)

გრეხითი სასწორის სკალა



სურ. 24



სურ. 23

ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედება 1785 წელს ექსპერიმენტულად შეისწავლა ფრანგმა მეცნიერმა **შარლ ოგიუსტენ კულონმა**.

მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის გასაზომად კულონი იყენებდა გრეხით სასწორს (სურ. 24). გრეხითი სასწორის საშუალებით კულონმა დაადგინა, თუ როგორ არის დამოკიდებული მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა მუხტების მოდულსა და მათ შორის მანძილზე.

გრეხითი სასწორი წარმოადგენს მინის ჭურჭელს, რომელშიც ვერცხლის წვრილ, დრეკად ძაფზე დაკიდებულია მინის მსუბუქი ღერო. ღეროს ერთ ბოლოზე მოთავსებულია მცირე ზომის ლითონის ბურთულა (1), ხოლო მეორეზე პატარა საპირწონე (2) (სხეული, რომლითაც ბურთულა განონასწორებულია). ლითონის ბურთულა (1) შეიძლება დაიმუხტოს ღეროზე უძრავად მოთავსებული ისეთივე მეორე ლითონის დამუხტული ბურთულით (3), რომელიც ჭურჭლის სახურავის ხვრელიდანაა ჩაშვებული. (1) ბურთულის დამუხტულ (3) ბურთულასთან შეხების შედეგად მუხტი ბურთულებს შორის თანაბრად გადანაწილდება და ისინი განიზიდავენ ერთმანეთს.

მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის დადგენა შესაძლებელია ძაფის გრეხის კუთხის მიხედვით, რომელიც სკალაზე აითვლება. მრავალი ცდის ანალიზის შედეგად კულონმა დაადგინა, რომ დამუხტულ ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალა უკუპროპორციულია მუხტებს შორის r მანძილის კვადრატის:

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

კულონი უძრავ დამუხტულ 3 ბურთულაზე ცვლიდა მუხტის სიდიდეს. შესაბამისად, იცვლებოდა მუხტი (1) ბურთულაზე და მათ შორის ურთიერთქმედების ძალა. ცდის ანალიზის შედეგად კულონმა დაადგინა, რომ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა პირდაპირპროპორციულია q_1 და q_2 მუხტების მოდულის ნამრავლისა.

$$F \sim |q_1| |q_2|$$

ცდების შედეგების ანალიზის საფუძველზე კულონმა ჩამოაყალიბა კანონი:

უძრავ ნერტილოვან მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული ვაკუუმში პირდაპირპროპორციულია მუხტების სიდიდეებისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

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

კულონური ძალა მიმართულია მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ.

პროპორციულობის კოეფიციენტი $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, სადაც ϵ_0 **ელექტრონიკური მუდმივაა**.

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{კ}^2}{\text{ნ} \cdot \text{მ}^2}, \quad k = 9 \cdot 10^9 \text{ნ} \cdot \text{მ}^2 / \text{კ}^2.$$

როცა $q_1 = q_2 = 1 \text{ კ}$, $r = 1 \text{ მ}$, მაშინ k რიცხობრივად ტოლია ძალის, რომლითაც ვაკუუმში ურთიერთქმედებს ორი, თითო კულონი სიდიდის ნერტილოვანი მუხტი, თუ მათ შორის მანძილი ერთი მეტრია. ე.ი. $F = 9 \cdot 10^9 \text{ ნ}$. ეს ძალიან დიდი ძალაა, რომელიც დაახლოებით ეგვიპტის პირამიდების წონას უტოლდება. ამ შეფასებიდან ჩანს, რომ კულონი მუხტის დიდი ერთეულია. პრაქტიკაში იყენებენ მუხტის წილად ერთეულებს.

კულონის კანონი სამართლიანია უძრავი **ნერტილოვანი მუხტებისათვის**.

ნერტილოვანი მუხტი ბუნებაში არ არსებობს. იგი დამუხტული სხეულის **მოდელია**. თუ მუხტებს შორის მანძილი გაცილებით მეტია დამუხტული სხეულების ზომასთან შედარებით, მაშინ ისინი შეიძლება ჩაითვალოს ნერტილოვან მუხტებად. ნერტილოვან მუხტად მიიჩნევენ სფერული ფორმის თანაბრად დამუხტულ სხეულს, რომლის ზომა გაცილებით ნაკლებია მეორე დამუხტულ სხეულამდე მანძილთან შედარებით.

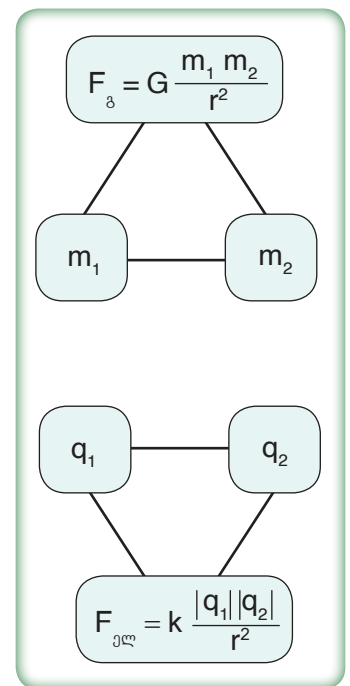
ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ნერტილოვანი მუხტები ერთმანეთზე მოქმედებენ ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალებით (სურ. 23).

კულონის კანონი ძალიან ჰგავს მსოფლიო მიზიდულობის კანონს. მართლაც, ორივე კანონის მიხედვით, ძალა მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. განსხვავება ისაა, რომ მუხტის სიდიდის ნაცვლად მსოფლიო მიზიდულობის კანონში გვაქვს მასა, ხოლო k კოეფიციენტის ნაცვლად – გრავიტაციული მუდმივა (სურ. 25). თუმცა მსოფლიო მიზიდულობის ძალა მხოლოდ მიზიდვის ძალაა, ხოლო **კულონური ძალა შეიძლება იყოს როგორც მიზიდვის, ასევე — განზიდვის**.

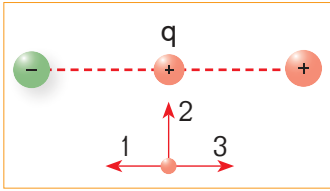
უძრავი ნერტილოვანი მუხტების ურთიერთქმედების კულონური ძალები მიმართულია ამ ნერტილოვანი მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. ასეთი თვისების ძალებს **ცენტრული ძალები** ეწოდება. ამრიგად, კულონური ძალა ცენტრული ძალაა. ცენტრულია აგრეთვე გრავიტაციული ძალაც.

მუხტის წილადი ერთეულები

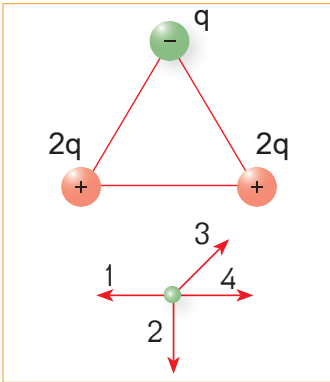
$$\begin{aligned} 1 \text{ მკ} &= 10^{-3} \text{ კ} \\ 1 \text{ მკკ} &= 10^{-6} \text{ კ} \\ 1 \text{ ნკ} &= 10^{-9} \text{ კ} \end{aligned}$$



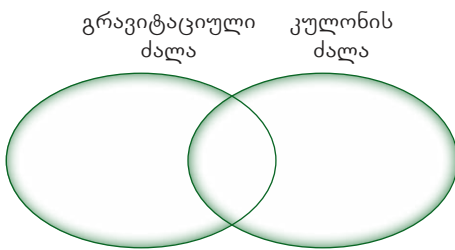
სურ. 25



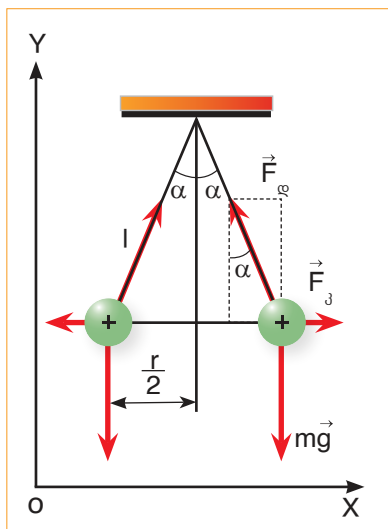
სურ. 26



სურ. 27



სურ. 28



სურ. 29



ბაზრება

1. იმსჯელე ნიუტონის მესამე კანონის გამოვლენაზე ელექტრული ურთიერთქმედებისას და შეადარე გრავიტაციულ ურთიერთქმედებას (სურ. 23).
2. იმსჯელე, როგორ შეიცვლება კულონური ურთიერთქმედების ძალა ორ წერტილოვან უძრავ მუხტს შორის, თუ თითოეულის მუხტი, ა. ორჯერ გაიზრდება; ბ. სამჯერ შემცირდება.
3. იმსჯელე q მუხტზე მოქმედი ჯამური კულონური ძალის ვექტორის მიმართულების შესახებ და დაადგინე, რომელი ვექტორი გამოსახავს ამ ძალის მიმართულებას (სურ. 26).
4. იმსჯელე და დაადგინე ტოლგვერდა სამკუთხედის წვეროში მოთავსებულ -q მუხტზე მოქმედი კულონური ძალის ვექტორის მიმართულება (სურ. 27).



საშინაო დავალება

1. ვენის დიაგრამის გამოყენებით შეადარე გრავიტაციული და კულონის ძალები ერთმანეთს (სურ. 28).
2. რა ძალით ურთიერთქმედებს 0,3 მ დაშორებული $9 \cdot 10^{-9}$ კ ორი ერთნაირი წერტილოვანი მუხტი?
3. ორი ერთნაირი ბურთულა, რომელთა მუხტებია q და -5q, ჯერ შეახეს და შემდეგ დააშორეს ერთმანეთს იმავე მანძილზე. რა თანაფარდობა იქნება კულონურ ძალებს შორის (F_1/F_2)?
4. 2 მ სიგრძის აბრეშუმის ძაფებზე ერთ წერტილში დაკიდებულმა დამუხტულმა ბურთულებმა განიზიდეს ერთმანეთი $r = 8$ სმ მანძილზე. ძაფის დაჭიმულობის ძალაა 0,1125 ნ. გამოთვალე ბურთულების მუხტის სიდიდე (სურ. 29).

ამოხსნა:

თითოეულ მუხტზე მოქმედებს სამი ძალა: სიმძიმის ძალა $m\vec{g}$, თოკის დრეკადობის (დაჭიმულობის) ძალა $\vec{F}_l$ და კულონური ძალა $\vec{F}_j$. ნიუტონის პირველი კანონის თანახმად, რადგან ბურთულები უძრავია, მათზე მოქმედი ძალების ჯამი 0-ის ტოლია.

$$m\vec{g} + \vec{F}_l + \vec{F}_j = 0$$

$$(ox) \quad -F_l \sin \alpha + F_j = 0$$

$$\text{აქედან,} \quad F_j = F_l \sin \alpha;$$

$$\text{რადგან,} \quad \sin \alpha = \frac{r}{2l} \quad \text{და} \quad F_j = k \frac{q^2}{r^2}$$

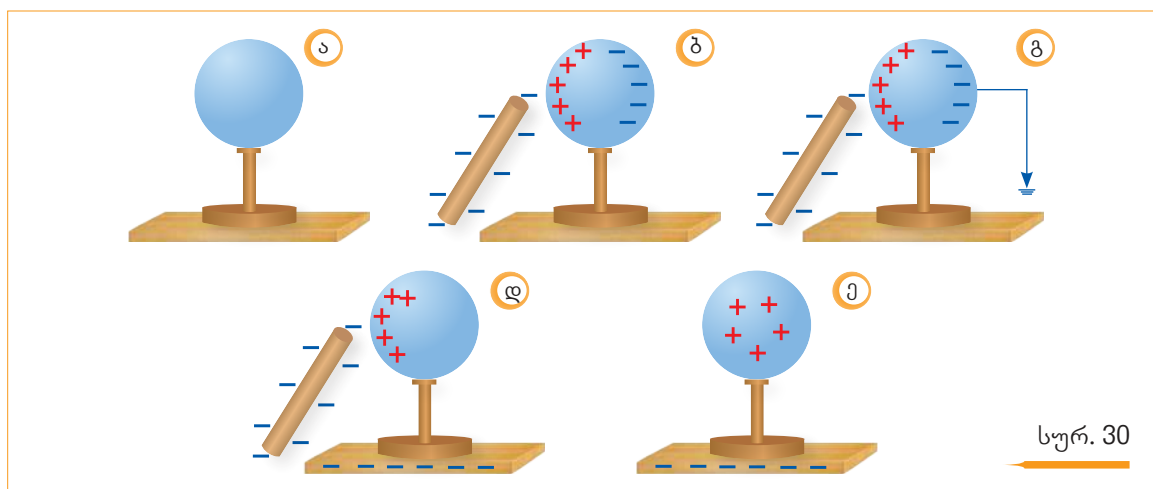
$$\text{ამიტომ,} \quad k \frac{q^2}{r^2} = F_l \frac{r}{2l}; \quad \text{აქედან,} \quad q = \sqrt{\frac{F_l r^3}{2kl}} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ კ.}$$

2.7. ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1.

როგორ დავმუხტოთ გამტარი სფერო დადებითად (სურ. 30 ა) უარყოფითად დამუხტული გამტარი ღეროს საშუალებით ისე, რომ ღეროს მუხტი არ შეიცვალოს?

ამოხსნა:



თუ უარყოფითად დამუხტულ ღეროს (სურ. 30 ბ) მივუახლოებთ დაუმუხტავ სფეროს, მუხტები გადანაწილება: დამუხტული ღეროს მხარეს აღმოჩნდება დადებითი მუხტი, სფეროს მეორე მხარეს იმავე სიდიდის უარყოფითი მუხტი. ამ მდგომარეობაში სფეროს დამინების (სურ. 30 გ) შემდეგ მინაში გადავა ის მუხტი, რომელიც განიზიდება უარყოფითად დამუხტული ღეროსგან. ამის შემდეგ, თუ დამინების მავთულს მოვხსნით და უარყოფითად დამუხტულ ღეროსაც მოვაცილებთ, სფეროზე დარჩება დადებითი მუხტი (სურ. 30 დ, ე). იგივე შედეგი მიიღება, თუ სფეროს მცირე ხნით ხელს შევახებთ უარყოფითი მუხტის დაგროვების მხარეს.

ამოცანა 2.

აბრეშუმის ძაფებზე დაკიდებულია ორი ერთნაირი მსუბუქი ლითონის ბურთულა. ორივე მათგანი დამუხტეს ერთნაირი ნიშნის მუხტით, რის გამოც ძაფები გარკვეული კუთხით გადაიხარა. რა მოხდება, თუ ერთ-ერთ ბურთულას განვმუხტავთ (ხელს შევახებთ)?

ამოხსნა:

მიუხედავად იმისა, რომ განმუხტვის შემდეგ ამ ბურთულაზე ჯამური მუხტი ნულის ტოლი აღმოჩნდება, მასზე დამუხტული ბურთულის გავლენით მუხტები გადანაწილდება:

დამუხტული ბურთულის სიახლოვეს გაჩნდება მისი საპირისპირო ნიშნის მუხტი, რის გამოც ბურთულები ერთმანეთს მიიზიდავს. შეხებისას დამუხტულ ბურთულაზე არსებული მუხტი ბურთულებს შორის თანაბრად განაწილდება, რის გამოც ბურთულები ერთმანეთს კვლავ განიზიდავს, მაგრამ პირვანდელთან შედარებით ნაკლები კუთხით.

ამოცანა 3.

ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულა დამუხტულია ერთნაირი ნიშნის მუხტით ისე, რომ ერთი მათგანის მუხტის სიდიდე 5-ჯერ მეტია მეორესთან შედარებით. ბურთულები შეახეს ერთმანეთს და დააბრუნეს საწყის მდებარეობაში. რამდენჯერ შეიცვლება მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა?

ამოხსნა:

თუ ბურთულები დამუხტულია ერთნაირი ნიშნის მუხტით, მაშინ შეხებამდე მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა კულონის კანონის თანხმად იქნება:

$$F_1 = k \frac{5q \cdot q}{r^2} = k \frac{5q^2}{r^2}.$$

მუხტის მუდმივობის კანონის თანხმად, ორივე ბურთულის, როგორც ჩაკეტილი სისტემის, ჯამური მუხტი არ უნდა შეიცვალოს, ამიტომ $5q + q = 6q$, საიდანაც $q_1 = \frac{6q}{2} = 3q$. აქ q_1 არის თითოეული ბურთულის მუხტი დაშორების შემდეგ. შეხებისას ჯამური მუხტი ბურთულებზე თანაბრად განაწილდება, რადგან ბურთულები ერთნაირი ზომისაა. დაშორების შემდეგ ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალა ტოლი იქნება:

$$F_2 = k \frac{3q \cdot 3q}{r^2} = k \frac{9q^2}{r^2}, \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{9}{5} = 1,8.$$

ე. ი. შეხების შემდეგ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა გაიზარდა 1,8-ჯერ.

● ამოხსენი ამოცანები

ამოცანა 1.

როგორ შეიცვლება კულონური ურთიერთქმედების ძალა ორ უძრავ ნერტილოვან მუხტს შორის, თუ თითოეულის მუხტი: ა. ორჯერ გაიზრდება, ხოლო მათ შორის მანძილი ორჯერ შემცირდება; ბ. ორჯერ შემცირდება, ხოლო მანძილი ორჯერ გაიზრდება.

ამოცანა 2.

ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულა დამუხტულია სხვადასხვა ნიშნის მუხტით ისე, რომ ერთი მათგანის მუხტის სიდიდეა $1 \cdot 10^{-9}$ კ, მეორისა 4-ჯერ მეტია პირველთან შედარებით. გამოთვალე მანძილი ბურთულებს შორის, თუ ურთიერთქმედების ძალა 160 მკნ-ია.

ამოცანა 3.

ვაკუუმში ორ ტოლი სიდიდის ნერტილოვან მუხტს შორის მანძილი 30 სმ-ია, კულონური ურთიერთქმედების ძალაა 5 ნ. გამოთვალე მუხტის სიდიდე.

ამოცანა 4.

რამდენჯერ მეტია პროტონსა და ელექტრონს შორის კულონური ურთიერთქმედების ძალა მათ შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალაზე (იხ. სურ. 17, გვ. 25)?

ამოცანა 5.

ორი უძრავი $5 \cdot 10^{-8}$ კ და $8 \cdot 10^{-8}$ კ ნერილოვანი მუხტი ვაკუუმშია ერთმანეთისაგან 2 მ მანძილზე, მათი შემაერთებელი მონაკვეთის შუაში მოთავსებულია მესამე $1 \cdot 10^{-9}$ კ მუხტი. გამოთვალე მესამე მუხტზე მოქმედი ძალის მოდული და მიმართულება.

ამოცანა 6.

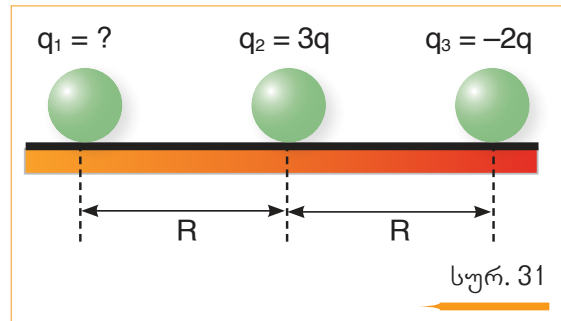
ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულა, რომელთა მუხტებია $3 \cdot 10^{-8}$ კ და $5 \cdot 10^{-8}$ კ შეახეს და იმავე მანძილით დააშორეს ერთმანეთს. გამოთვალე თანაფარდობა კულონურ ძალებს შორის შეხებამდე და შეხების შემდეგ.

ამოცანა 7.

ორი ნერტილოვანი მუხტი, $q_1 = 16 \cdot 10^{-9}$ კ და $q_2 = 4 \cdot 10^{-9}$ კ, ერთმანეთისგან დაშორებულია 15 სმ-ით. სად უნდა მოვათავსოთ მესამე მუხტი, რომ იგი წონასწორობაში იყოს?

ამოცანა 8.

რა მუხტი აქვს პირველ ბურთულას, თუ მეორე, q_2 მუხტის მქონე ბურთულა წონასწორობაშია (სურ. 31)?

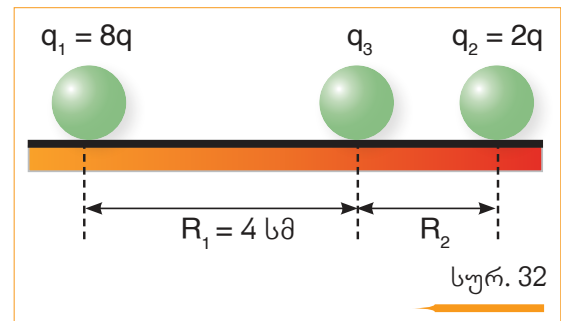


ამოცანა 9.

აბრეშუმის ძაფზე დაკიდებულ ბურთულას, რომლის მუხტია $5 \cdot 10^{-8}$ კ და მასა 40 გ, ქვემოდან მიუახლოეს მეორე ბურთულა, რომლის მუხტია $-5 \cdot 10^{-8}$ კ. შედეგად ძაფის დაჭიმულობის ძალა 2-ჯერ გაიზარდა. გამოთვალე ბურთულებს შორის მანძილი.

ამოცანა 10.

რა მანძილია q_1 და q_2 დამუხტულ ბურთულებს შორის, თუ q_3 დამუხტული ბურთულა წონასწორობაშია (სურ. 32).

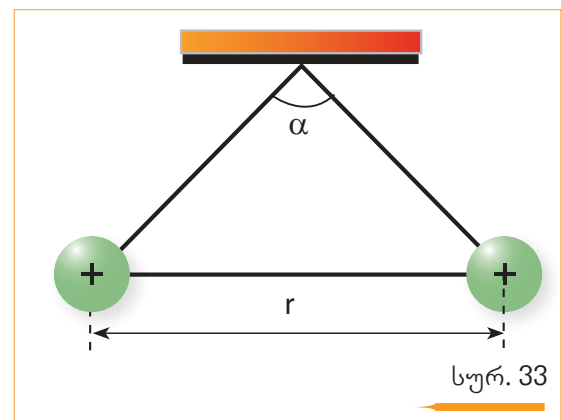


ამოცანა 11.

q_1 დადებითი და q_2 უარყოფითი მუხტებს შორის შემაერთებული წრფის შუაში, მოთავსებულია $q_3 = 5 \cdot 10^{-8}$ კ მუხტი. $q_1 = 5 \cdot 10^{-6}$ კ; $q_2 = -2 \cdot 10^{-6}$ კ. მანძილი q_1 და q_2 შორის 6 სმ-ია. გამოთვალე q_3 -ზე მოქმედი კულონური ძალა.

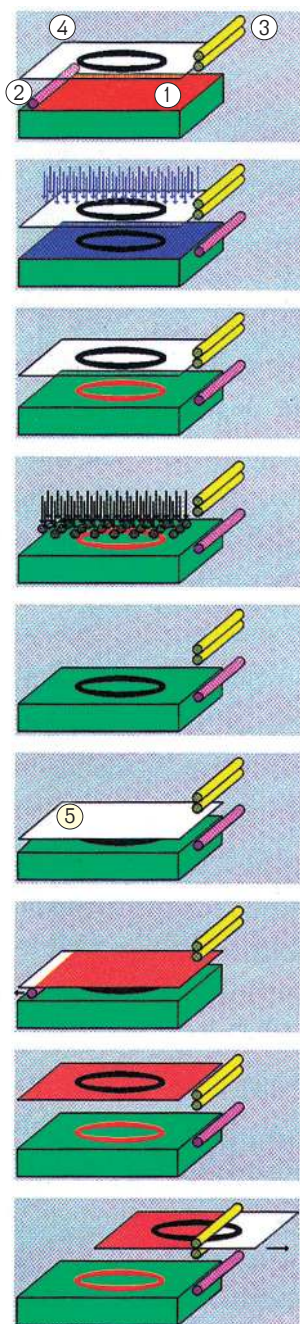
ამოცანა 12.

ორი ერთნაირი 20 გ მასის დადებითად დამუხტული ბურთულა ერთ ნერტილში დაკიდებულია 30 სმ-ის სიგრძის ძაფზე. ბურთულებმა ისე განიზიდეს ერთმანეთი, რომ მათ შორის კუთხე გახდა 90° . გამოთვალე ბურთულის მუხტი (სურ. 33).





სურ. 34



სურ. 35

● ასლის გადამღები აპარატი

დამუხტვის მოვლენა გამოყენებულია ასლის გადამღებ და-
ნადგარებში. ასლის გადამღები უმარტივესი ხელსაწყო გამო-
სახულია 34-ე სურათზე.

ასლის გადამღები ხელსაწყო (სურ. 35) ერთ-ერთი უმთავ-
რესი ნაწილია შუქმგრძნობიარე ფირფიტა (სურ. 35 ა), რომლის
ზედაპირი (1) იმუხტება სპეციალური დამუხტავი მავთულით
(2), რის შემდეგაც ფირფიტაზე დამჭერი რგოლების (3) მეშვე-
ობით ათავსებენ ფურცელს (ნიმუშს), საიდანაც ხდება ასლის
გადაღება (4).

ნიმუში ზემოდან ნათდება სინათლის მძლავრი ნაკადით
(სურ. 35 ბ), რის შედეგადაც დამუხტული რჩება შუქმგრძნო-
ბიარე ფირფიტის მხოლოდ ის ადგილები, სადაც სინათლე
ვერ მოხვდა ასლის გადასაღებ ნიმუშზე ტექსტის, სურათის,
სქემის და სხვ. არსებობის გამო (სურ. 35 გ). მას შემდეგ, რაც
ნიმუშის კონტური დამუხტული ზოლის სახით ფირფიტა-
ზე დაფიქსირდება, ნიმუში მოსცილდება მას. ფირფიტაზე
იყრება გრაფიტის ფხვნილი (სურ. 35 დ), რომელიც მუხტებს
შორის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით მიეწებება დამუხ-
ტულ ადგილებს (სურ. 35 ე). ამის შემდეგ ფირფიტაზე თავს-
დება ქაღალდი (5), რომელზეც უნდა მოხდეს ასლის გადაღება
(სურ. 35 ვ). იმავე დამუხტავი მავთულით იმუხტება ახლა უკვე
ქაღალდი (სურ. 35 ზ), რომელზეც ელექტრული მიზიდულო-
ბის ძალის მოქმედებით გადადის ფირფიტაზე განლაგებული
გრაფიტის ფხვნილი (სურ. 35 თ). ასლის გადაღების ბოლო სტა-
დიაა გრაფიტის მყარად დამაგრება ფურცელზე, რომელიც
ფურცლის გაცხელებით მიიღწევა (სურ. 35 ი).

თანამედროვე ასლის გადამღები აპარატები განსხვავებული
კონსტრუქციისა, მაგრამ პრინციპით არ განსხვავდება აღწერ-
ილი დანადგარისგან.

● ელექტრული მოვლენები ყოფა-ცხოვრებაში

ხელოვნური ნაჭრისგან შეკერილი ტანსაცმლის გახდისას
მშრალ ჰაერში შეიძლება გავიგოთ ტკაცუნის ხმა. ტანსაცმლის
ტარებისას იგი სხეულს ეხახუნება, რის შედეგად სხეულიცა და
ტანსაცმელიც იმუხტება. გახდისას მუხტები ურთიერთქმედე-
ბენ, ნაპერწკალი წარმოიქმნება და გვესმის ხმა. ფაბრიკებში
საქსოვ დაზგაზე ძაფები ხახუნის შედეგად იმუხტება, ეწე-
ბება დაზგის ნაწილებს და ძაფი წყდება. ამის თავიდან ასაცი-
ლებლად სპეციალურ ზომებს იყენებენ. ასევე სპეციალურ
ზომებს იყენებენ ბენზინგასამართ სადგურებში, მაგალითად,
ბენზინშიდ მანქანებზე გამობმული ჯაჭვის მეშვეობით, რო-
მელიც მიწას ეხება და მანქანა განიმუხტება.

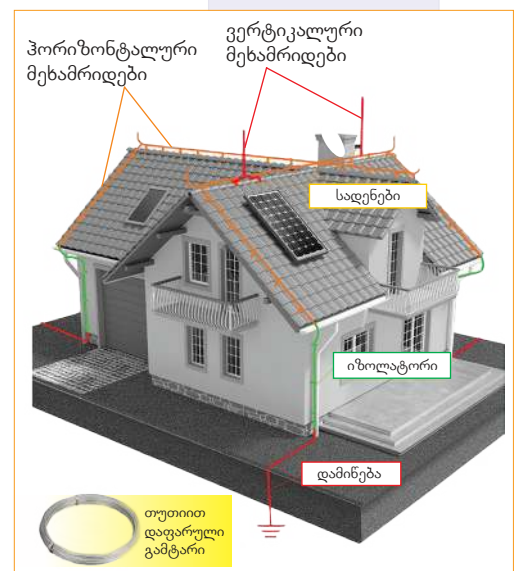
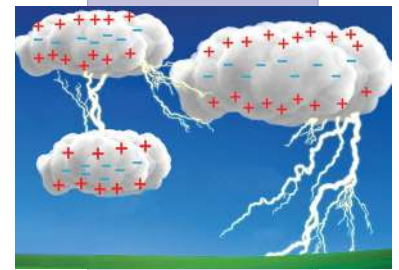
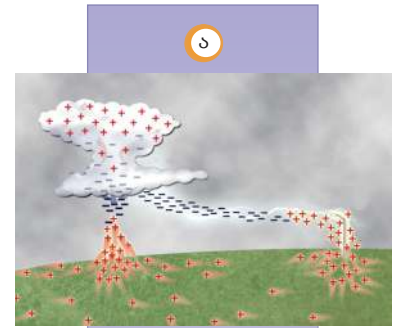
● ელექტრული მოვლენები ბუნებაში

დედამინა უზარმაზარი დამუხტული სფეროა, რომლის
მუხტი დაახლოებით 500000 კ-ია. მთლიანად დედამინა ელე-
ქტრულად ნეიტრალურია, რადგან ატმოსფეროში 50 - 60კმ

სიმაღლეზე მდებარე შრეს - იონოსფეროს იმავე სიდიდის ჭარბი დადებითი მუხტი აქვს. ეს ელექტროსტატიკური ველი არაერთგვაროვანია. მისი დაძაბულობა დედამიწის ზედაპირზე აღწევს 100ვ/მ სიდიდეს. ჩვენ ამ დაძაბულობას ვერ ვგრძნობთ, რადგან ადამიანის სხეული გამტარია. გამტარში მუხტები სწრაფად გადანაწილდება და აკომპენსირებს გარე ველს. დედამიწის ელექტრულ ველს ქმნის მზის „ქარი“, მზიდან გამოსხივებული ულტრაიისფერი და რენტგენის გამოსხივება და გეოფიზიკური მოვლენები. ზაფხულში დედამიწის ზედაპირი თბილია, მაგრამ 3-4 კმ სიმაღლე ტემპერატურა ნულ გრადუსამდე მცირდება. ამიტომ, წარმოქმნილი ღრუბლის ქვედა ნაწილი წყლის წვეთებისაგან შედგება, ზედა კი თოვლის ფიფქებისაგან. დედამიწის ზედაპირსა და იონოსფეროს შორის ღრუბლები ბუნებრივ ელექტროსტატიკურ ველშია, რომლის გავლენით ღრუბელში წყლის წვეთების ქვედა ზედაპირი დადებითადაა დამუხტული, ზედა უარყოფითად. დედამიწის თბილი ზედაპირიდან ზევით მიმართულ ჰაერის ნაკადში არის როგორც ნეიტრალური მოლეკულები, ასევე წყლის ორივე ნიშნის იონები. წვეთების დადებითად დამუხტული ზედაპირი მიიზიდავს და მიიერთებს უარყოფით იონებს. ამავდროულად, ის განიზიდავს და განიშორებს ჰაერის ნაკადში წვეთთან მოახლოებულ დადებით იონებს. ამიტომ დადებითი იონები აგრძელებენ ზევით სვლას ჰაერის კონვექციურ ნაკადთან ერთად. ამ პროცესის გამო ღრუბლის ზედა ნაწილში იზრდება დადებითი იონების კონცენტრაცია და იგი იმუხტება დადებითად, უარყოფითად დამუხტული ღრუბლის ქვედა კიდე კი დედამიწის ზედაპირზე იწვევს ღრუბლის ქვეშ დადებითი მუხტის ინდუცირებას. ე.ი. ღრუბელსა და დედამიწას შორის იქმნება დიდი სიდიდის პოტენციალთა სხვაობა. ამ დროს ჰაერში წარმოიქმნება მუხტების გამტარი არხი და წამის მეათათასედის განმავლობაში გაივლის განმუხტვის კოლოსალური მუხტი დიდი ნაპერწკლის სახით, რომელიც ხშირად რამდენიმე კილომეტრის სიგრძისაა (სურ. 36 ა,ბ). ეს უკვე ელვაა! ღრუბლის ზედა კიდეზე დაგროვილ დადებით მუხტს გაელვებამდე აწონასწორებდა ღრუბლის ქვედა კიდეზე დაგროვილი უარყოფითი მუხტი. ეს უარყოფითი მუხტი გაელვებისას განიმუხტება. შედეგად, ღრუბლის ზედა კიდეზე დაგროვილი დადებითი მუხტი გაიტყორცნება ზევით, იონოსფეროსაკენ და იონოსფერო დადებითი მუხტით შეივსება.

ზოგჯერ წარმოიქმნება სფერული ელვაც (სურ. 36 გ). ელვა ხშირად წარმოიქმნება ღრუბელსა და დედამიწაზე მაღალ შენობა-ნაგებობებს, განმარტოებულ მაღალ ხეებსა და ანძებს შორის. ამ მოვლენას მესხ უწოდებენ.

მესხა ზიანი რომ არ მიაყენოს ადამიანებს, შენობებზე დგამენ ანძებს, რომელზეც დამაგრებულია ნაწვეტებული ლითონის ღერო (მესამრიდი) (სურ. 36 დ). ლითონის ღეროსთან მიერთებულია მსხვილი გამტარი, რომელიც ღრმად არის ჩაშვებული მიწაში. ელვისას მუხტები ლითონის ნაწვეტებული ღეროდან გამტარით მიწისკენ მიემართება. ასეთი მოწყობილობა ძალიან დიდ დენს ატარებს და იცავს შენობა-ნაგებობებს მესხისგან.



სურ. 36

2.8. შემაჯამებელი გაკვეთილი

დამუხტული სხეულების კვლევა. ელექტროსკოპი



რა კარგია გაზაფხულზე ბუნებაში სეირნობა. თუმცა ამინდი უცებ შეიძლება შეიცვალოს და წამოვიდეს წვიმა, რომელსაც თან ახლავს თვალის მომჭრელი გაელვება და ქუხილის ხმა. ლევანი პატარობიდანვე ოცნებობდა როდის გაიზრდებოდა, რომ სრულფასოვნად გაეგო ამ ბუნებრივი მოვლენის არსი: რას ნიშნავდა, რომ ღრუბელსაც და დედამიწასაც გააჩნია მუხტი; რა არის განმუხტვა და რატომ წარმოიშობა ელვა.

ელექტროსტატიკის შესწავლამ ლევანს შესაძლებლობა მისცა ამ და სხვა მრავალ კითხვაზე სწორი პასუხი გაეცა.

მუხტების კვლევის მიზნით ლევანმა გადაწყვიტა, დაემზადებინა ორი ელექტროსკოპი. მოიძია საჭირო მასალა და მარტივი ექსპერიმენტის გეგმის მიხედვით დაამზადა ხელსაწყო.

ექსპერიმენტი

თვითნაკეთი ელექტროსკოპის აწყობა

მოცემული გაქვს: ფოლგის გრაგნილი, ლითონის მავთული, გამჭვირვალე მინის ქილა პლასტმასის ხუფით. მაკრატელი, მახათი (მსხვილი ნემსი).

მსვლელობა: გახვრიტე პლასტმასის სახურავი. გამოჭერი ფოლგისგან ორი ფურცელი და დაამაგრე მავთულის მოხრილ ბოლოზე ისე, რომ ფურცლებს თავისუფლად შეეძლოს მოძრაობა. მავთულის მეორე ბოლო გაუყარე სახურავში და ფურცლებიანად მოათავსე ქილაში. სახურავი მორგე ქილას. მავთულის თავისუფალ ბოლოზე დაამაგრე ფოლგისგან გაკეთებული ბურთულა.

შეადარე შენ მიერ დამზადებული თვითნაკეთი ელექტროსკოპი ქარხნულად დამზადებულ სასკოლო ელექტროსკოპს (გვ. 28, სურ. 19).

რომელ ხელსაწყოს იცნობ, რომლის მუშაობის პრინციპი ელექტროსკოპის ანალოგიურია? თვითნაკეთი ელექტროსკოპით ჩაატარე დამუხტული სხეულების კვლევა.



I ექსპერიმენტი

დაკვირვება მუხტების დაგროვებაზე

მოცემული გაქვს: ელექტროსკოპი, პლასტმასის სავარცხელი (ან სახაზავი).

მსვლელობა: მიუახლოვე ელექტროსკოპის ბურთულას პლასტმასის სავარცხელი (ან სახაზავი), დააკვირდი ფოლგის ფურცლებს. რატომ არ გაიშალა ფოლგის ფურცლები?

გაახახუნე სავარცხელი თმაზე და მიუახლოვე ელექტროსკოპის ბურთულას. დააკვირდი ფოლგის ფურცლებს შორის კუთხეს. რატომ განიზიდეს ფურცლებმა ერთმანეთი?

შემდეგ კვლავ გაახახუნე სავარცხელი და მიუახლოვე იმავე ელექტროსკოპს. დააკვირდი, როგორ შეიცვალა ფოლგის ფურცლებს შორის კუთხე.

რატომ იზრდება ხელმეორედ დამუხტული სავარცხლის ელექტროსკოპთან შეხებისას ფურცლებს შორის კუთხე?

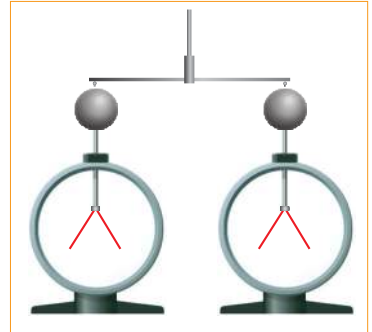
გამოიტანე დასკვნა: როგორ გროვდება მუხტი ელექტროსკოპზე?

II ექსპერიმენტი

დაკვირვება მუხტების გადანაწილებაზე ელექტროსკოპით

მოცემული გაქვს: ორი ელექტროსკოპი, შალის ქსოვილი, პლასტმასის სავარცხელი, ლითონის ღერო

მსვლელობა: პლასტმასის სავარცხელი დამუხტე შალზე ხახუნით და შეახე ერთ-ერთი ელექტროსკოპის ბურთულას. დააკვირდი ფურცლების გაშლის კუთხეს. დამუხტული ელექტროსკოპის ბურთულა ლითონის ღეროთი შეაერთე დაუმუხტავ ელექტროსკოპის ბურთულასთან (ღეროს შეეხე რეზინის ხელთათმნით, ან რაიმე იზოლატორის დახმარებით). შეაფასე ორივე ელექტროსკოპის ფურცლების გაშლის კუთხე. რატომ დაიმუხტა მეორე ელექტროსკოპი?



გამოიტანე დასკვნა: როგორ გადანაწილდა მუხტი ელექტროსკოპებზე?

რატომ არის ტოლი ორივე ელექტროსკოპის ფურცლების გაშლის კუთხე?

III ექსპერიმენტი

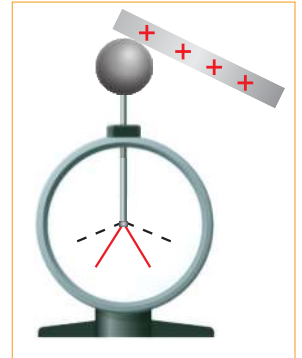
სხეულის მუხტის ნიშნის დადგენა ელექტროსკოპით

მოცემული გაქვს: ელექტროსკოპი, მინის ღერო, აბრეშუმის ქსოვილი, პლასტმასის სავარცხელი (სახაზავი).

მსვლელობა: დამუხტე აბრეშუმის ქსოვილიზე ხახუნით მინის ღერო და შეახე ელექტროსკოპის ბურთულას. დააკვირდი ფურცლების გაშლის კუთხეს. რა ნიშნით დაიმუხტა ელექტროსკოპი?

დამუხტე პლასტმასის სავარცხელი შალზე ხახუნით და კვლავ შეახე ელექტროსკოპს. დააკვირდი ფურცლების გაშლის კუთხეს, როგორ შეიცვალა ფურცლებს შორის კუთხე?

გამოიტანე დასკვნა: რა ნიშნით არის დამუხტული სავარცხელი?



IV ექსპერიმენტი

დაკვირვება სხეულების განმუხტვაზე

მოცემული გაქვს: ელექტროსკოპი, ლითონის სადენი (მავთული), ებონიტის ჯოხი, შალის ქსოვილი.

მსვლელობა: დამუხტული ელექტროსკოპის ბურთულა ლითონის მავთულით დაამინე (მეორე ბოლო ღრმად ჩაფალი მიწაში). დააკვირდი ელექტროსკოპის ფურცლების გაშლის კუთხეს.

შეახე ხელი დამუხტული ელექტროსკოპის ბურთულას და აღწერე დამზერილი მოვლენა.

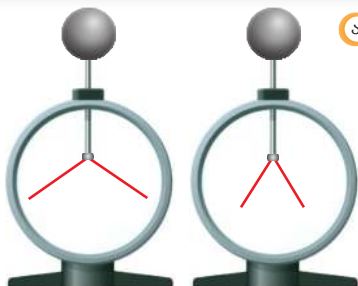
გამოიტანე დასკვნა: რატომ განიმუხტა ელექტროსკოპი?

რატომ იმუხტება სინთეტიკური ტანსაცმელი ადამიანის სხეულზე?

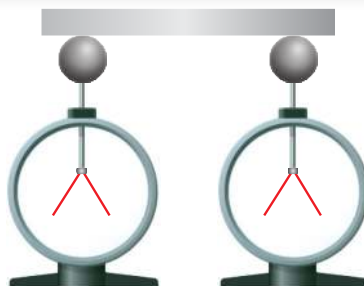
რა ანლოგიაა ელექტროფორული მანქანის განმუხტვისას წარმოშობილ ნაპერწკალს — „მინი ელვასა“ და ბუნებრივ ელვას შორის?



1



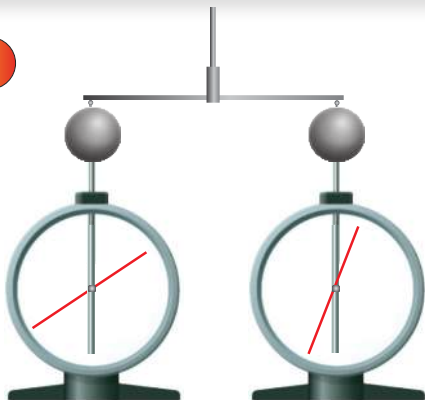
ა



ბ

ორი ელექტროსკოპი დამუხტეს შესაბამისად $1,6$ მკვ და $-4,8$ მკვ მუხტით (სურ. ა) და შეაერთეს გამტარით (სურ. ბ). იმსჯელე, რა მუხტი ექნება თითოეულ ელექტროსკოპს.

2

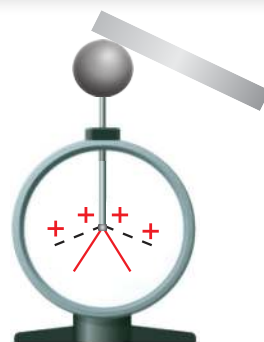


ორი ერთნაირი დამუხტული ელექტროსკოპი შეერთებულია იზოლირებული სახელურიანი ღეროთი. იმსჯელე, ღერო გამტარია თუ იზოლატორი?

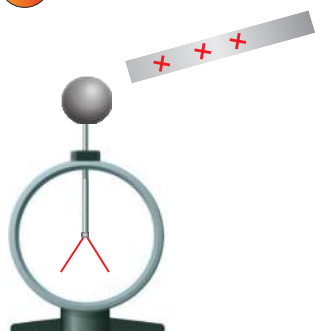
3

იმსჯელე, რა ნიშნითაა დამუხტული ღერო (წყვეტილებით ფურცლების საწყისი მდებარეობაა აღნიშნული)

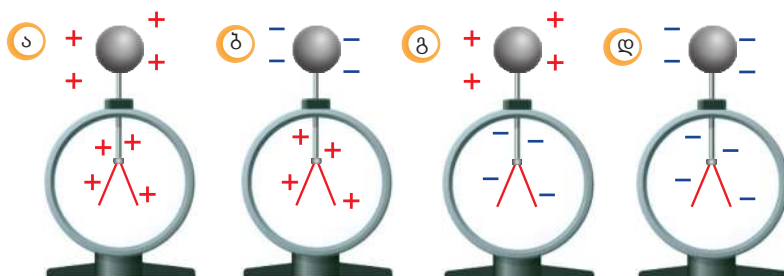
- ა. დადებითი
- ბ. უარყოფითი
- გ. დაუმუხტავი



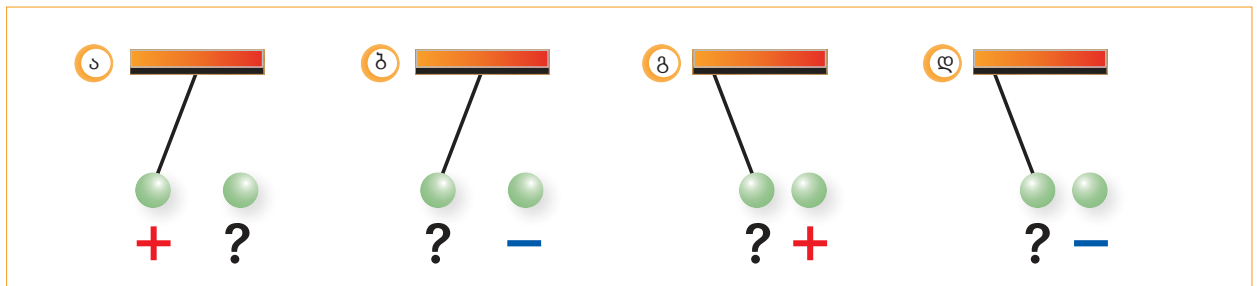
4



დაუმუხტავ ელექტროსკოპს მიუახლოეს დადებითად დამუხტული მინის ღერო (სურ. ?). იმსჯელე, რომელი სურათი გამოხატავს სწორად ელექტროსკოპზე მუხტის გადანაწილებას.



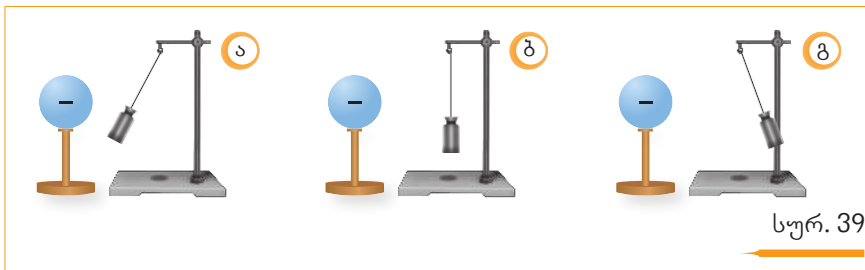
5 იმსჯელე, რა ნიშნის მუხტი აქვთ ბურთულებს (სურ. 37)?



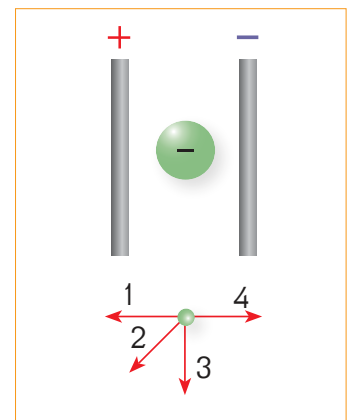
სურ. 37

6 სურათზე გამოსახულია უძრავად დამაგრებული უარყოფითად დამუხტული ბურთულა (სურ. 38). იმსჯელე, რა მიმართულებით ამოძრავდება ბურთულა, თუ მას მისცემენ თავისუფლად მოძრაობის საშუალებას?

7 აბრეშუმის ძაფზე დაკიდებულ მსუბუქ დაუმუხტავ სხეულს უახლოებენ იზოლირებულ შტატივზე დამაგრებულ უარყოფითად დამუხტულ ბურთულას. იმსჯელე, რომელი სურათი გამოსახავს სწორად ურთიერთქმედებას სხეულსა და დამუხტულ ბურთულას შორის (სურ. 39)?



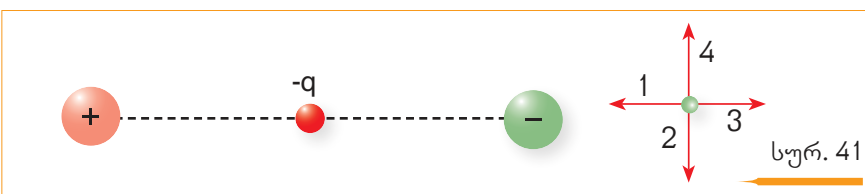
სურ. 39



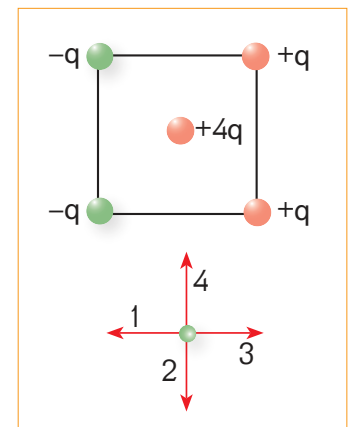
სურ. 38

8 როგორი მიმართულება ექნება კვადრატის ცენტრში მოთავსებულ $4q$ დადებით მუხტზე მოქმედ ძალას, თუ კვადრატის წვეროებში მოთავსებულია $+q, +q, -q, -q$ მუხტები (სურ. 40)?

9 $-q$ მუხტი მოთავსებულია ორ სხვადასხვა ნიშნით დამუხტულ ბურთულას შორის. იმსჯელე და დაადგინე $-q$ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულება (სურ. 41).



სურ. 41



სურ. 40

10 ორი უძრავი წერტილოვანი მუხტი ურთიერთქმედებს F ძალით. ერთ-ერთი მუხტის სიდიდე გაიზარდა 3-ჯერ, მეორესი კი 2-ჯერ. მაშინ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული იქნება:

ა. $5F$

ბ. $F/5$

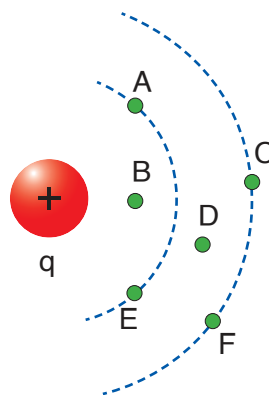
გ. $6F$

დ. $F/6$

2.9. ელექტრული ველის დაძაბულობა

იზიარა და იმსჯელე

შეადარე q მუხტის ელექტრული ველის სხვადასხვა წერტილში შეტანილ ერთნაირ მუხტებზე მოქმედი ელექტრული ძალები.



სურ. 42

უძრავი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტროსტატიკური ველი გარკვეული ძალით მოქმედებს მის ნებისმიერ წერტილში შეტანილ სასინჯ მუხტზე (სურ 42). სასინჯ მუხტად ყოველთვის იყენებენ ერთეულოვანი სიდიდის დადებით მუხტს (სურ. 43).

მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალას **ელექტრულ ძალას** უწოდებენ. ელექტრული ურთიერთქმედება q მუხტის მიერ შექმნილ ველსა და სასინჯ მუხტს შორის **ელექტრული ველით** ხორციელდება.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ველის ერთ-სა და იმავე წერტილში მცირე დამუხტული სხეულების რიგრიგობით შეტანისას მათზე მოქმედი ელექტრული ძალა დამოკიდებულია, როგორც ველის შემქმნელი მუხტის სიდიდეზე, ასევე სასინჯ მუხტზე. ხოლო ძალის შეფარდება სასინჯი მუხტის სიდიდესთან არ არის დამოკიდებული სასინჯ მუხტზე. ეს ფარდობა შეიძლება განხილული იყოს როგორც ველის მახასიათებელი და მას ელექტრული ველის დაძაბულობა ეწოდება. **ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა.**

ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ q_0 დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალის შეფარდებისა ამ მუხტის სიდიდესთან:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad (1), \quad \text{აქედან}$$

$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$

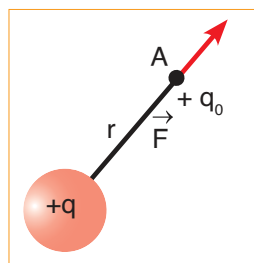
დაძაბულობა ელექტრული ველის ძალური მახასიათებელია.

დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება ემთხვევა ველში შეტანილ დადებით მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალის მიმართულებას.

თუ ელექტრული ველის დაძაბულობის ფორმულაში (1) ჩავსვამთ კულონური $\vec{F}$ ძალის მნიშვნელობას, მივიღებთ q წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის მოდულის მნიშვნელობას მუხტისგან r მანძილზე:

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

SI სისტემაში დაძაბულობის ერთეულია ნ/კ. შემდგომში, პოტენციალის შესწავლისას გაიგებთ, რომ დაძაბულობის ერთეულია 1 ვ/მ (ვოლტი/მეტრზე).



სურ. 43

● **ველის დაძაბულობის სუპერპოზიციის პრინციპი.**

სხეულზე ერთდროულად მოქმედი რამდენიმე $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots \vec{F}_n$ ძალა შეიძლება ერთი — ტოლქმედი ძალით შეიცვალოს.

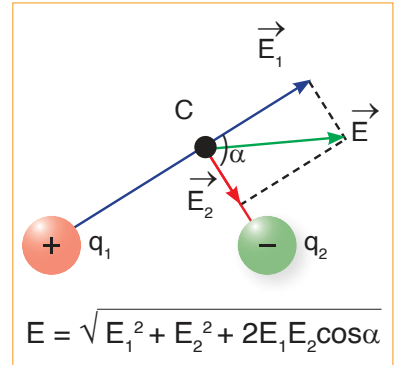
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n. \quad (2)$$

(2) განტოლების სასინჯი მუხტის q_0 სიდიდეზე გაყოფით მიიღება ელექტროსტატიკური ველების სუპერპოზიციის პრინციპის პირობა:

თუ სივრცის რომელიმე წერტილში სხვადასხვა ელექტრული მუხტი ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის დაძაბულობაა $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots \vec{E}_n$, მაშინ ამ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობა ცალკეული მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობათა გომეტრიული ჯამის ტოლია:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n. \quad (3)$$

q_1 და q_2 დადებითი მუხტების მიერ C წერტილში შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის დასადგენად ჯერ უნდა გამოითვალოს თითოეული მუხტის მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობა C წერტილში, $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$, შემდეგ შეიკრიბოს ისინი ვექტორულად. ვექტორების შესაკრებად იყენებენ პარალელოგრამის წესს (სურ. 44).



სურ. 44

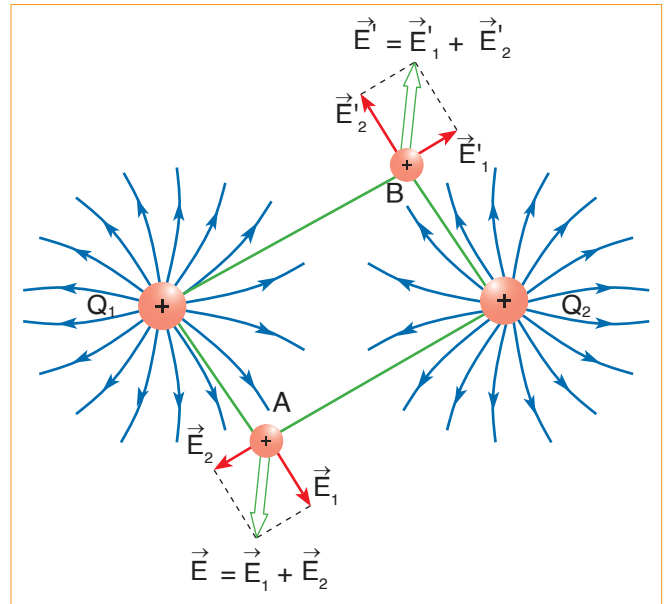


ბაზრება

იმჯგუფე სურათზე გამოსახული ორი ერთნაირი უძრავი Q_1 და Q_2 მუხტის ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის სუპერპოზიციის პრინციპის შესახებ (სურ. 45).

ა. რატომ განსხვავდება დაძაბულობის მიმართულება ველის A და B წერტილში?

ბ. შეადარე ველის დაძაბულობა A და B წერტილებში.

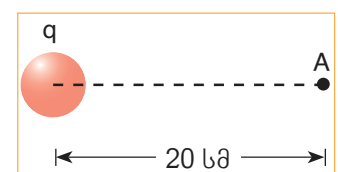


სურ. 45



საშინაო დავალება

1. ველში შეტანილ 5 ნკ მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალა 25 მკნ-ია. გამოთვალე ველის დაძაბულობა.
2. რას უდრის $q = 40$ მკკ მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა A წერტილში? (სურ. 46).
3. გამოთვალე $5 \cdot 10^4$ ნ/კ დაძაბულობის ველში 5 მკკ მუხტზე მოქმედი ძალის მოდული.
4. გამოთვალე 10 ნკ მუხტიდან რა მანძილზე იქნება ელექტრული ველის დაძაბულობა 225 კნ/კ?

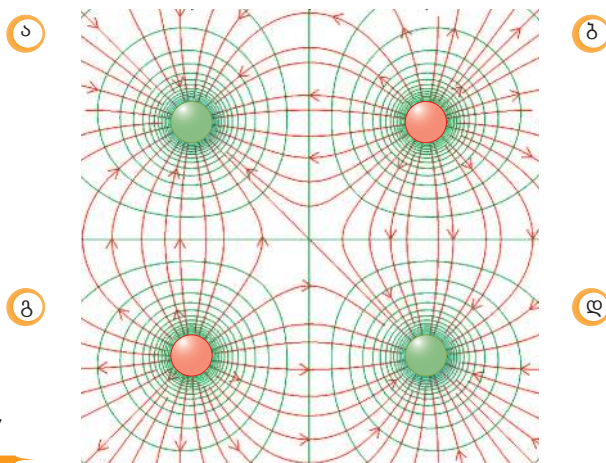


სურ. 46

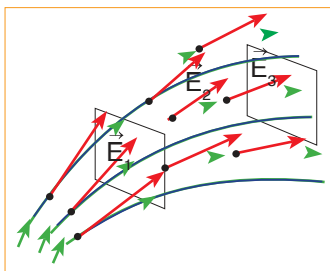
2.10. ელექტრული ველის ძალწირები

იზიარა და იმსჯელე

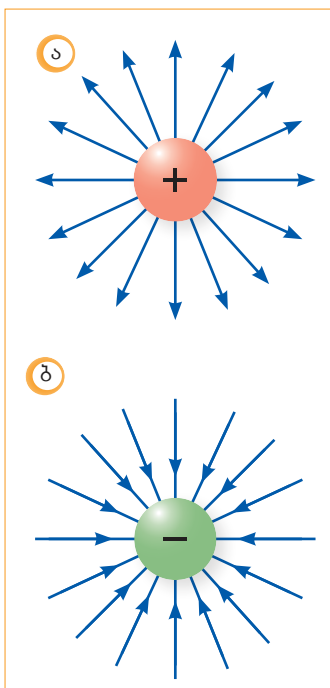
რა ნიშნისაა
თითოეული მუხტი?



სურ. 47



სურ. 48



სურ. 49

სივრცეში ელექტრული ველის თვალსაჩინოდ წარმოდგენისთვის ფარადეიმ გამოთქვა მოსაზრება ველის დაძაბულობის ძალწირებით გამოსახვის შესახებ. ძალწირები ელექტრული ველის სიდიდისა და მიმართულების მაჩვენებელი წირებია (სურ. 48).

ელექტრული ველის ძალწირი ეწოდება წარმოსახვით წირს, რომლის თითოეულ წერტილში გავლებულ მხებს ამ წერტილში ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება აქვს.

ძალწირების მართობულად ორიენტირებულ ფართობის ერთეულზე გამავალი ძალწირების რიცხვი ამ უბანზე ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის სიდიდის პროპორციულია. ველის დაძაბულობა მაქსიმალურია მუხტებთან უშუალო სიახლოვეში, რასაც ამ უბანზე ძალწირების მაქსიმალური სიხშირე ადასტურებს (სურ. 49).

დადებითი წერტილოვანი მუხტის ველის ძალწირები მიმართულია მუხტიდან გარეთ (სურ. 49 ა), ხოლო უარყოფითი მუხტის ველის ძალწირები მიმართულია უარყოფითი მუხტისკენ (სურ. 49 ბ). აღნიშნული მიმართულებები ემთხვევა დადებით სასინჯ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას. ელექტრული ველის ძალწირები იწყება დადებით მუხტზე და ბოლოვდება უარყოფითზე. 49-ე სურათზე გამოსახულია ძალწირები, რომლებიც უსასრულობაში მიდიან ან მოდიან უსასრულობიდან.

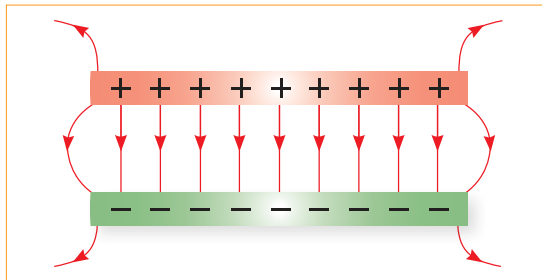
50-ე ა და ბ სურათზე გამოსახულია ორი მუხტის ველის ძალწირები – როგორც სხვადასხვანიშნიანი, ასევე ერთნაირნიშნიანი მუხტებისათვის. ძალწირები მრუდ წირებს წარმოადგენს, რომლის ნებისმიერ წერტილში ველის დაძაბულობა ორივე მუხტის ველების სუპერპოზიციით მიიღება.

ველს, რომლის ყველა წერტილში დაძაბულობას ერთნაირი სიდიდე და მიმართულება აქვს, ერთგვაროვანი ველი ეწოდება.

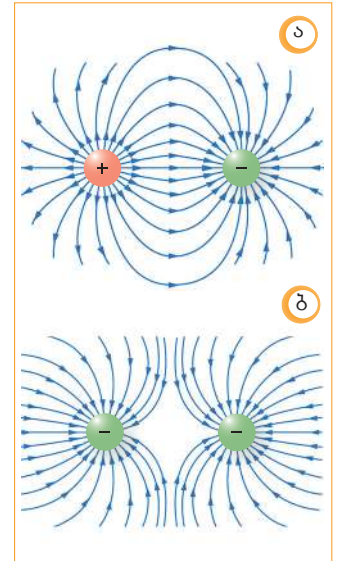
ერთგვაროვანი ველი წარმოიქმნება ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტის მქონე ბრტყელ, პარალელურ ფირფიტებს შორის (სურ. 51). ამ შემთხვევაში ველის დაძაბულობის ძალწირები პარალელურია და ერთმანეთისგან ტოლი მანძილებითაა დაშო-

რებული. ისინი მიმართული არიან დადებითად დამუხტული ფირფიტიდან უარყოფითისაკენ. გამონაკლისს წარმოადგენს ველი ფირფიტების კიდებთან, სადაც ველის ერთგვაროვნება ირღვევა.

ველის დაძაბულობის წირები ერთმანეთთან არსად გადაიკვეთება, რადგან ველის ყოველ წერტილში დაძაბულობას მხოლოდ ერთი გარკვეული მიმართულება აქვს.



სურ. 51



სურ. 50

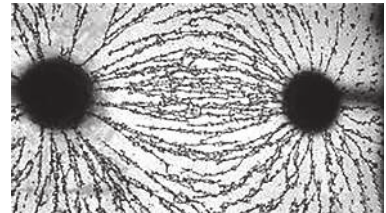


ბააზრება

აზრობრივი ექსპერიმენტი

ელექტრული ველის ძალწირების ვიზუალიზაცია

წარმოიდგინე, რომ ჭურჭელში, რომელშიც ჩამაგრებულია სფერული ფორმის ელექტროდები, ასხამენ აბუსალათინის ზეთს და ყრიან მასში მცირე რაოდენობით მანანის ბურღულს (ან რკინის ნაქლიბს). ელექტროდებს აერთებენ ელექტროფორულ მანქანასთან და მუხტავენ სხვადასხვა ნიშნის მუხტით. დამუხტულ ელექტროდებთან არსებულ სივრცეში მანანის ბურღულის მარცვლების განლაგება იძლევა ელექტრული ველის მახასიათებელი ძალწირების შესაბამის სურათს.



იმსჯელე ელექტრული ძალწირების შესახებ. როგორ შეიცვლება ბურღულის მარცვლების განლაგება ელექტროდების ერთნიშნაანი მუხტით დამუხტვისას?

გამოიტანე დასკვნა: რამდენად მიესადაგება აზრობრივი ექსპერიმენტის შედეგები ქვემოთ მოცემულ სქემაზე ელექტრული ველის ძალწირების დახასიათებას.

1. იმსჯელე სქემის მიხედვით ელექტრული ველის ძალწირების შესახებ.

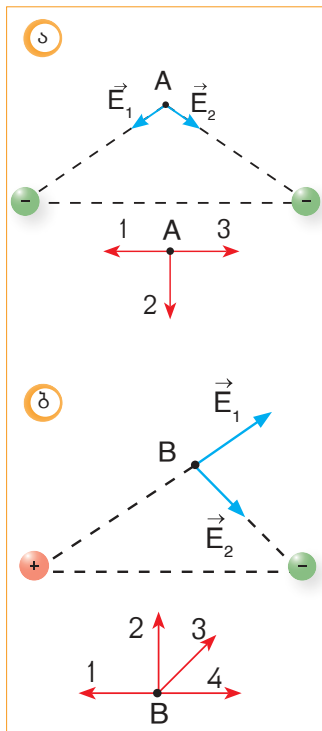
ელექტრული ველის ძალწირები

ინყება დადებით მუხტზე და მთავრდება უარყოფით მუხტზე

არ გადაიკვეთებიან, რადგან ველის ყოველ წერტილში ელექტრულ ველს აქვს ერთი კონკრეტული მიმართულება

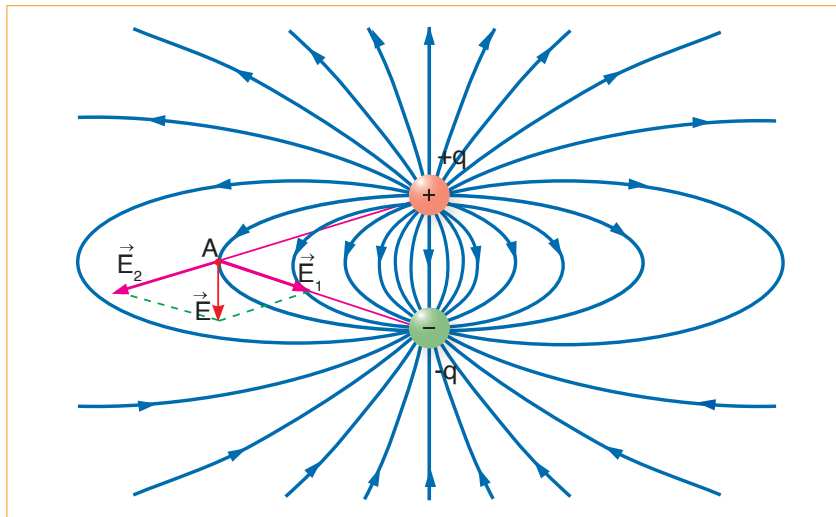
არ წყდებიან სივრცეში, რომელიც არ შეიცავს ელექტრულ მუხტებს

წირების სიხშირის მიხედვით შეიძლება მსჯელობა ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის სიდიდის შესახებ

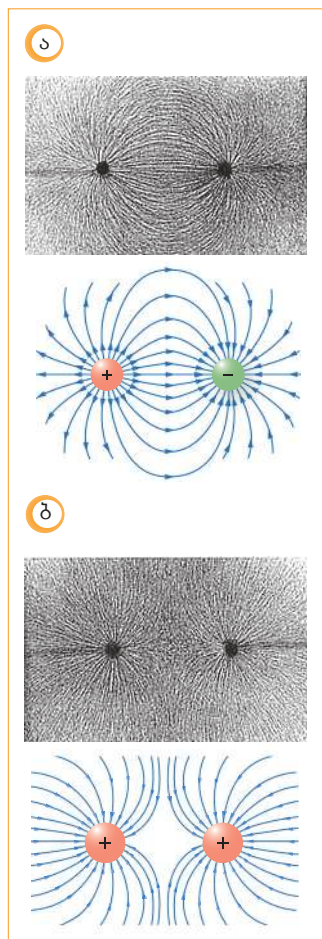


სურ. 52

2. იმსჯელე ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულების შესახებ A წერტილში:
- რომელი მუხტების ველის დაძაბულობის ვექტორებია $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$?
 - იმსჯელე $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ დაძაბულობის ვექტორების პარალელოგრამის წესით შეკრების შედეგად მიღებული ჯამური ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის მიმართულების შესახებ A წერტილში. გამოიტანე დასკვნა (სურ. 53).



სურ. 53



სურ. 54

3. იმსჯელე ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულების შესახებ. სავარაუდო პასუხებიდან დაადგინე, რომელი ვექტორი გამოსახავს ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულებას A და B წერტილებში? (სურ. 52 ა და ბ).
4. იმსჯელე სურათზე გამოსახულ ელექტრული ველის ძალწირების ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგსა და ძალწირების სქემატურად გამოსახული სურათების ანალოგიის შესახებ (სურ. 54 ა და ბ).



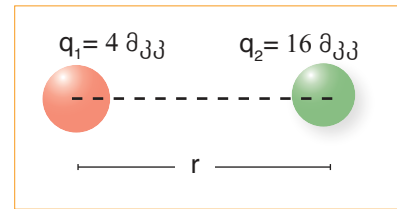
საშინაო დავალება

- 1 გ მასისა და 1 მკ მუხტის ბურთულა დაკიდებულია უწონო აბრეშუმის ძაფზე ერთგვაროვან, 1000 ნ/კ დაძაბულობის ელექტრულ ველში, რომელიც მიმართულია დედამიწის ზედაპირის მართობულად ზევით. გამოთვალე ძაფის დაჭიმულობის ძალა.
2. a გვერდის მქონე კვადრატის სამ წვეროში მოთავსებულია $+q$ მუხტი, მეოთხეში $-q$ მუხტი. გამოთვალე ელექტრული ველის დაძაბულობა კვადრატის ცენტრში.
3. $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ კგ}$ მასის ნაქლიბი, რომლის მუხტია $5,0 \cdot 10^{-12} \text{ კ}$, წონასწორულ მდგომარეობაშია ელექტრულ ველში, რომლის დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად ზევით. გამოთვალე ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული.

2.11. ამოსანი ამოცანები

ამოცანა 1.

სად იქნება 4 და 16 მკვ მუხტების სისტემაში ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი, თუ $r = 3$ მ (სურ. 55)?



სურ. 55

ამოცანა 2.

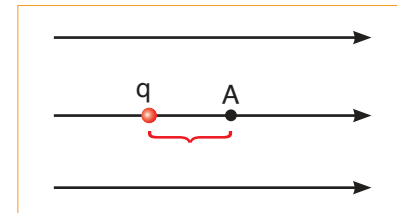
16 და 25 მკვ სიდიდის მუხტებს შორის მანძილი 9 სმ-ია. მცირე მუხტიდან რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ მესამე მუხტი, რომ იგი წონასწორობაში იყოს?

ამოცანა 3.

80 კნ/კ დაძაბულობის ველში მოთავსებულია -7 ნკ მუხტი. რას უდრის ჯამური ველის დაძაბულობა წერტილში, რომელიც მუხტიდან 3 სმ-ით არის დაშორებული (სურ. 56)?

ამოცანა 4.

4 სმ-ით დაშორებული მცირე ზომის ბურთულები, რომელთა მუხტებია 20 და 80 ნკ, შეახეს ერთმანეთს და კვლავ დააშორეს. რა მანძილზე უნდა მოთავსდეს ისინი, რომ მათ შორის ურთიერთქმედების ძალა იგივე დარჩეს?



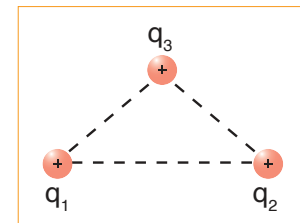
სურ. 56

ამოცანა 5.

ორ წერტილოვან $q_1 = 8$ ნკ და $q_2 = -5$ ნკ მუხტებს შორის მანძილი $d = 40$ სმ. გამოთვალე ელექტრული ველის E დაძაბულობა მუხტების შემაერთებელი წრფის შუა წერტილში. რისი ტოლი იქნება დაძაბულობა მეორე მუხტი დადებითი რომ იყოს?

ამოცანა 6.

ორ წერტილოვან $q_1 = 10$ ნკ და $q_2 = -20$ ნკ მუხტებს შორის მანძილი $d = 20$ სმ. გამოთვალე E ელექტრული ველის დაძაბულობა მათი შემაერთებელი წრფის გასწვრივ წერტილში, რომელიც პირველი მუხტიდან დაშორებულია $r_1 = 30$ სმ და მეორედან $r_2 = 50$ სმ.



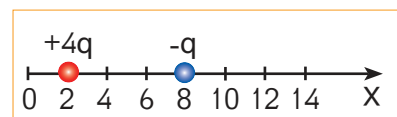
სურ. 57

ამოცანა 7.

ორ, თითოეულ 25 ნკ მუხტის მქონე ნაწილაკებს შორის მანძილი 24 სმ-ია. რა ძალით მოქმედებენ ისინი 2 ნკ მუხტზე, რომელიც თითოეული მუხტიდან 15 სმ-ზეა მოთავსებული (სურ. 57)?

ამოცანა 8.

ორი უძრავი წერტილოვანი მუხტი დამაგრებულია სივრცეში Ox ღერძის გასწვრივ. დაადგინე წერტილის კოორდინატი Ox ღერძზე, რომელშიც ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი იქნება. როგორ შეიცვლება ამ წერტილის კოორდინატი, თუ ორივე მუხტი დადებითი იქნება (სურ. 58)?



სურ. 58

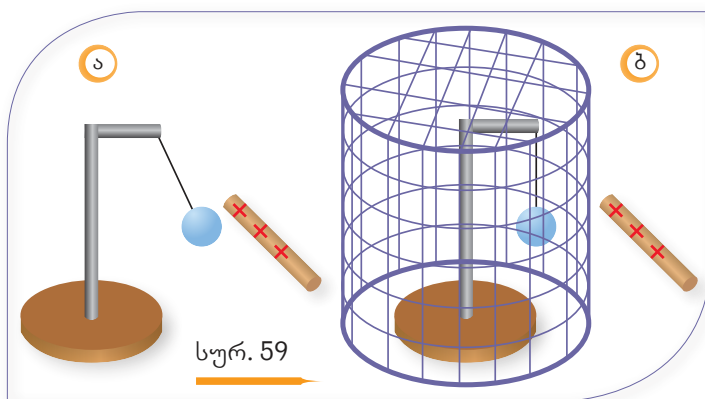
ამოცანა 9.

მილიკენის ცდაში 16 მგ მასის ზეთის წვეთი ვარდნიდან შეკავებულია $E_1 = 0,2$ ნ/კ დაძაბულობის ელექტრული ველით. ულტრაიისფერი სხივებით წვეთის იონიზაციის შემდეგ ზეთის წვეთის შესაკავებლად ველის დაძაბულობაა $E_2 = 0,15$ ნ/კ. რამდენი ელექტრონი დაკარგა ზეთის წვეთმა?

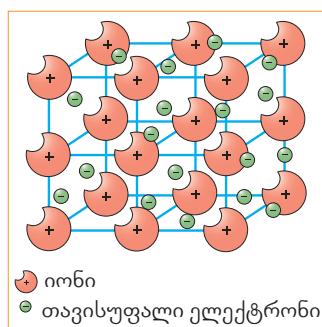
2.12. გამტარიები ელექტრულ ველში

იზიძრა და იმსჯელო

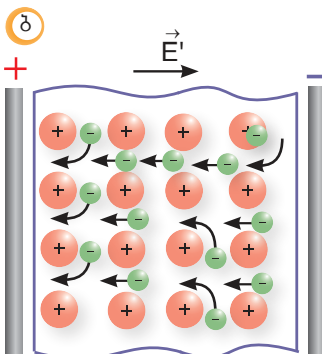
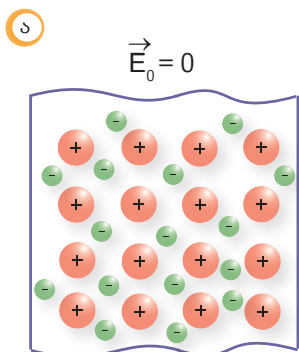
რატომ იზიდავს დამუხტული ღერო ძაფზე დაკიდებულ დაუმუხტავ ბურთულას? (სურ. 59 ა); რატომ არ იზიდავს დამუხტული ღერო ძაფზე დაკიდებულ დაუმუხტავ ბურთულას? (სურ. 59 ბ).



სურ. 59



სურ. 60



სურ. 61

ელექტროგამტარობის მიხედვით ნივთიერებები ძირითადად **გამტარებად, ნახევარგამტარებად და დიელექტრიკებად** იყოფა.

გამტარი — ისეთი ნივთიერებაა, რომელშიც დიდი რაოდენობითაა თავისუფალი ელექტრული მუხტი. მაგალითად, კარგი გამტარებია ლითონები, ელექტროლიტები — ფუძეების, მჟავებისა და მარილების წყალხსნარები. ლითონებში დიდი რაოდენობითაა თავისუფალი ელექტრონები, ელექტროლიტებში — დადებითი და უარყოფითი იონები. დიელექტრიკებში კი თავისუფალი მუხტების რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ მათი არსებობა შეიძლება უგულებელვყოთ.

ელექტრონებს, რომლებიც მოწყვეტილია ატომების ელექტრონული გარსისაგან და შეუძლიათ კრისტალურ მესერში ატომებს შორის თავისუფლად გადაადგილება, **თავისუფალი ელექტრონები** ეწოდება (სურ. 60).

ლითონის ღერო, თუ იგი იზოლირებული არ არის, არ იმუხტება. ლითონის ღეროს ერთ-ერთი თავისუფალი ბოლოს დამუხტვისას მასზე მუხტები არ გროვდება, რადგან თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდება ღეროს დაუმუხტავი ნაწილისკენ. ღეროს ამ ნაწილის ელექტროობის გამტართან (მაგ., ადამიანთან) შეხებისას მუხტი გადადის მინაზე და ღერო განიმუხტება.

დიელექტრიკის, მაგალითად, პლასტმასის ღეროს დამუხტვისას მუხტები ვერ გადაადგილდება, რადგან დიელექტრიკში თავისუფალი მუხტები პრაქტიკულად არ არის. ისინი წარმოქმნის ადგილზე რჩებიან და ღერო იმუხტება.

დავუშვათ, ლითონის დაუმუხტავი ფირფიტა (სურ. 61 ა) მოათავსეს ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში (სურ. 61 ბ). ამ ელექტრული ველის დაძაბულობა მიმართულია დადებითად დამუხტული ფირფიტიდან უარყოფითად დამუხტული ფირფიტისაკენ. თავისუფალი ელექტრონები ლითონის ფირფიტებში იწყებს გადაადგილებას დადებითად დამუხტული ფირფიტისაკენ.

ამრიგად, გარე ველის გავლენით ფირფიტის მარცხენა ნაწილი იმუხტება უარყოფითად, მარჯვენა ნაწილი კი დადებითად. ამ

პროცესს ელექტროსტატიკური ინდუქციის მოვლენას უწოდებენ (სურ. 62ა).

ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებულ გამტარში თავისუფალი ელექტრული მუხტების გადანაწილებას ელექტროსტატიკური ინდუქციის მოვლენას უწოდებენ.

გამტარის კიდეებზე წარმოქმნილი მუხტები ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის დაძაბულობის ვექტორი $\vec{E}_0$ გარე ველის $\vec{E}'$ საწინააღმდეგოდ არის მიმართული. გამტარში ელექტრონების გადაადგილებისას წარმოქმნილი ელექტრული ველი ზედ ედება გარევე ველს და აკომპენსირებს მას. დროის ძალზე მცირე ინტერვალში მუხტები გამტარში გადანაწილდება ისე, რომ ფირფიტის შიგნით ჯამური ელექტრული ველის დაძაბულობა $\vec{E}$ ნულის ტოლი გახდება (სურ. 62 ბ). ამის შემდეგ მუხტების გადანაწილება გამტარში წყდება.

სფერული ფორმის ლითონის ბირთვზე გარკვეული სიდიდის მუხტის გადაცემისას (სურ. 63 ა), ერთნაირნიშნაანი მუხტები ურთიერთგანიზიდება. განზიდვის შედეგად მათ შორის მანძილი მაქსიმალურად იზრდება და მუხტები ბირთვის ზედაპირზე სიმეტრიულად განლაგდება (სურ. 63 ბ). ბირთვის შიგნით კი ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი იქნება.

გამტარის შიგნით ელექტრული ველი არ არის – შესაბამისად, ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია.

დამუხტული წანვეტებული ფორმის ლითონის სხეულის ზედაპირზე მუხტები ისე ნაწილდება, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა ყველაზე მეტი არის წანვეტებულ უბანზე, რადგან ყველაზე მეტი მუხტი იქ გროვდება (სურ. 64). ეს ფაქტი მტკიცდება ექსპერიმენტული კვლევებითაც.

დამუხტული სხეულის ზედაპირზე ელექტრული მუხტების გადანაწილება ხასიათდება მუხტის ზედაპირული სიმკვრივით. მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე σ (სიგმა) ფიზიკური სიდიდეა და გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{q}{S}.$$

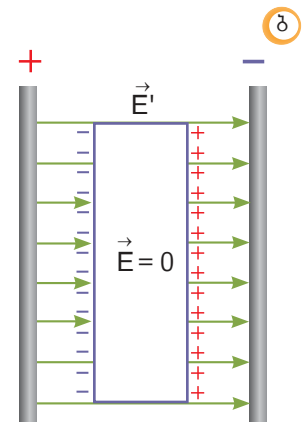
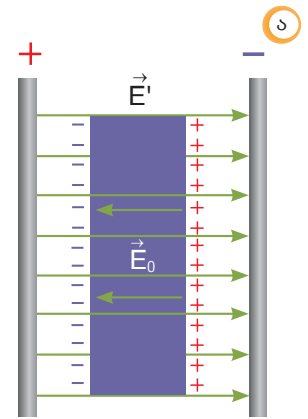
მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ტოლია გამტარის მუხტის შეფარდებისა ზედაპირის ფართობთან, რომელზეც მუხტია განაწილებული.

დავუშვათ, R რადიუსის დამუხტული ლითონის სფერო ქმნის ელექტროსტატიკურ ველს, რომლის ზედაპირზე q მუხტი თანაბრადაა განაწილებული. ასეთი დამუხტული სფეროს ელექტრული ველის ძალნირები მისი რადიუსის გასწვრივაა მიმართული (სურ. 65) ისინი სფეროს გარეთ სივრცეში ისევეა განლაგებული, როგორი განლაგებაც ექნებოდა სფეროს ცენტრში მოთავსებულ წერტილოვან q მუხტის ძალნირებს.

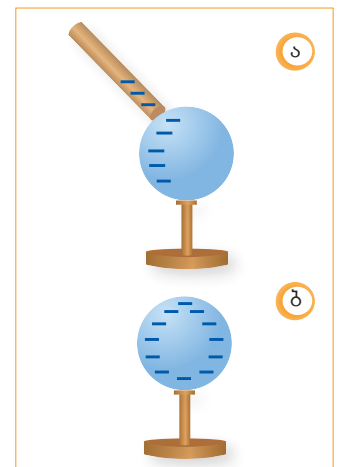
სფეროს ცენტრიდან $r \geq R$ მანძილზე ელექტრული ველის დაძაბულობა იმავე ფორმულით გამოითვლება, რომლითაც წერტილოვანი მუხტისათვის დაძაბულობა:

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

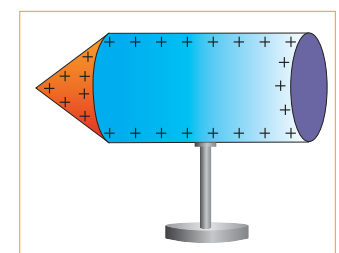
თუ $r < R$, მაშინ $E = 0$.



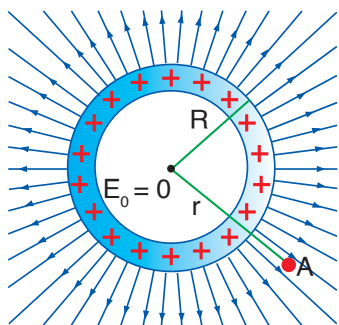
სურ. 62



სურ. 63



სურ. 64



სურ. 65

ე.ი. დამუხტული ღრუ სფეროს შიგნით ელექტრული ველი არ ვრცელდება. გამტარების ამ თვისებას სხვადასხვა დანადგარების, ბიოლოგიური ობიექტებისა და ადამიანის ელექტრული ველისაგან დასაცავად იყენებენ.

ელექტროსტატიკური დაცვის მიზნით ხელსაწყოებს ათავსებენ ლითონის კორპუსში, ანუ ახდენენ ველის ეკრანირებას, რის შედეგადაც კორპუსის შიგნით ელექტრული ველი არ ვრცელდება (სურ. 59). მაგალითად, მობილური ტელეფონების, პლანშეტებისა და ტაბლეტების ელექტროსტატიკური დაცვის მიზნით იყენებენ სპეციალურ ჩანთებს, რომლებშიც ლითონის ბადეა ჩაქსოვილი.



გაანზრება

დაელექტროებული გამტარის ექსპერიმენტული კვლევა

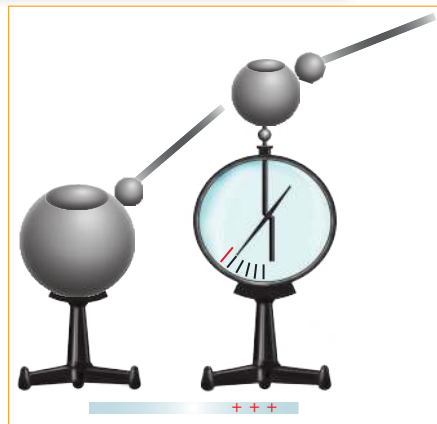
მოცემული გაქვს: ელექტრომეტრი, იზოლირებულ სადგარზე დამაგრებული ლითონის ღრუ სფერო, მინის ღერო, ქაღალდი ან აბრეშუმის ქსოვილი, ლითონის ბურთულა იზოლატორიანი სახელურით.

მსვლელობა: აბრეშუმზე ხახუნით დამუხტული მინის ღეროთი დამუხტე სადგარზე დამაგრებული ღრუ სფერო. შეახე იზოლატორზე დამაგრებული ლითონის ბურთულა დამუხტული ღრუ სფეროს გარე ნაწილს. ელექტრომეტრით შეამოწმე მისი მუხტის სიდიდე.

განმუხტე ბურთულა და ელექტრომეტრი ხელის შეხებით. ისევ შეახე ბურთულა იზოლატორიანი სახელურით ღრუ სფეროს შიდა ნაწილს და ელექტრომეტრით შეამოწმე მისი მუხტის სიდიდე.

აღწერე ექსპერიმენტი. იმსჯელე, რატომ არ გადაიხარა ელექტრომეტრის ისარი ბურთულის შეხებისას მეორე შემთხვევაში.

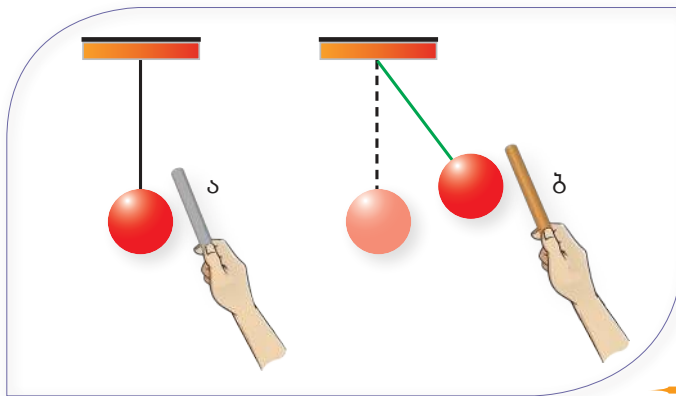
გამოიტანე დასკვნა: დამუხტული სფეროს შიდა და გარე ნაწილში მუხტის არსებობის შესახებ.



საშინაო დავალება

1. 4 სმ რადიუსის გამტარი სფერო დამუხტეს 9 ნკ სიდიდის მუხტით. რას უდრის სფეროს ველის დაძაბულობა მისი ცენტრიდან 3 და 6 სმ მანძილებზე?
2. ერთნაირი მასისა და მუხტის, 2 სმ რადიუსის მქონე ორი სფერო მოთავსებულია მანძილზე, რომელზეც მუხტებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა განონასწორებულია მსოფლიო მიზიდულობის ძალით. გამოთვალე სფეროების მასა, თუ მათი მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეა $1,25 \text{ ნკ/მ}^2$.
3. 0,3 კგ მასის ორი დამუხტული ერთნაირი ზომის სფერო ერთმანეთისგან მოთავსებულია ისეთ მანძილზე, რომელზეც მუხტებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ძალა განონასწორებულია გრავიტაციული მიზიდულობის ძალით. გამოთვალე სფეროების რადიუსი, თუ მუხტების ზედაპირული სიმკვრივეა $1,25 \text{ ნკ/მ}^2$.
4. მოიძიე ინფორმაცია და მოამზადე პრეზენტაცია იონური ქარის შესახებ.

2.13. დიელექტრიკები ელექტრულ ველში



სურ. 66

იფიქრე და იმსჯელე

რატომ არ გადაიხარა ლითონის ბურთულა ა ღეროს მიახლოებისას, ხოლო ბ ღეროს მიახლოებისას კი გადაიხარა? რომელი ღერო არის ლითონის და რომელი დიელექტრიკის?

დიელექტრიკები, გამტარებისგან განსხვავებით, პრაქტიკულად არ შეიცავენ თავისუფალ მუხტს. ამის გამო ისინი „სხვადასხვანაირად იქცევიან“ ელექტროსტატიკურ ველში.

დიელექტრიკები ორი სახისაა: **არაპოლარული** და **პოლარული**. არაპოლარულ დიელექტრიკის ატომში არსებული ელექტრონებისა და დადებითი მუხტების განაწილების ცენტრები თითქმის ერთმანეთს ემთხვევა (სურ. 67 ა). ასეთ ატომებს (ან მოლეკულებს) უწოდებენ **არაპოლარულს**.

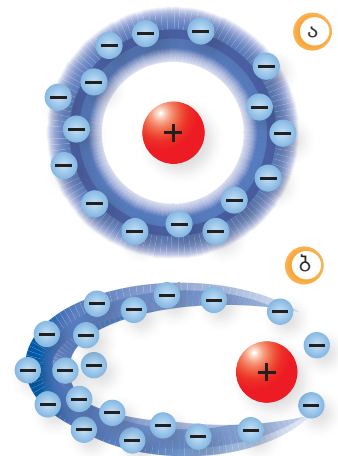
ნივთიერებას, რომელიც არაპოლარული ატომების ან მოლეკულებისგან შედგება, უწოდებენ **არაპოლარულ დიელექტრიკს**. მაგალითად, ინერტული აირები, ჟანგბადი, წყალბადი და ა. შ. არაპოლარული დიელექტრიკებია.

პოლარული დიელექტრიკის მოლეკულაში დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა (სურ. 67 ბ).

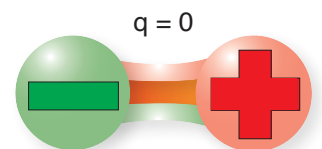
ნივთიერებას, რომელიც პოლარული მოლეკულებისგან შედგება, უწოდებენ **პოლარულ დიელექტრიკს**. მაგ., სპირტი, წყალი, სუფრის მარილი და ა. შ. პოლარული დიელექტრიკებია. სქემატური წარმოდგენით პოლარული დიელექტრიკის მოლეკულა შედგება გარკვეული მანძილით დაშორებული ორი, სიდიდით ტოლი და ნიშნით საპირისპირო წერტილოვანი მუხტისგან, რომლებიც ქმნიან ელექტრულად ნეიტრალურ სისტემას. ასეთ სისტემას **ელექტრული დიპოლი** ეწოდება (სურ. 68).

პოლარულ დიელექტრიკში, დიპოლები ქაოსურად არიან ორიენტირებული, რაც განპირობებულია მოლეკულების ქაოსური, სითბური მოძრაობით. ამის გამო პოლარული დიელექტრიკის ნებისმიერ მოცულობაში, რომელიც მოლეკულების (დიპოლების) დიდ რაოდენობას შეიცავს, ჯამური ელექტრული მუხტი და ელექტრული ველის დაძაბულობა საშუალოდ ნულის ტოლია (სურ. 69).

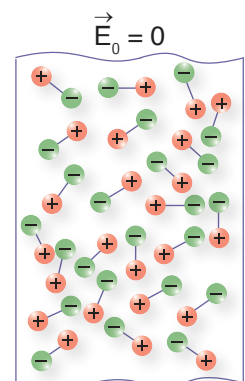
E_0 დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრულ ველში პოლარული დიელექტრიკის მოთავსებისას თავისუფალ დიპოლზე მოქმედებს ელექტრულ ძალთა წყვილი, რომელიც



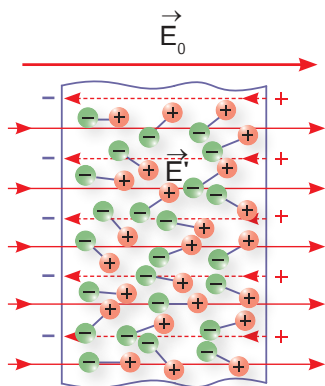
სურ. 67



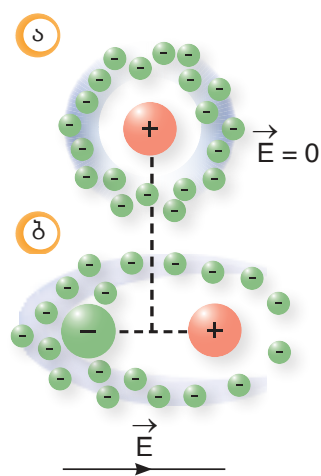
სურ. 68



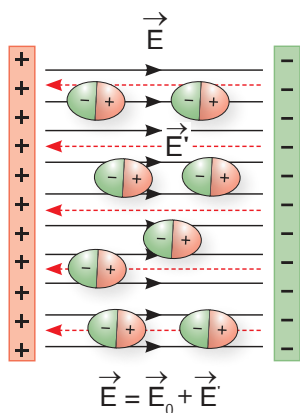
სურ. 69



სურ. 70



სურ. 71



სურ. 72

ცდილობს მოატრიალოს დიპოლის ღერძი ელექტრული ველის დაძაბულობის ძალწირის გასწვრივ.

ამრიგად, დადებითი მუხტი წაინაცვლებს ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებით, ხოლო უარყოფითი მუხტი კი – საწინააღმდეგო მიმართულებით (სურ. 70).

დიელექტრიკის ბმული, დადებითი და უარყოფითი მუხტების ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით წანაცვლებას, დიელექტრიკის პოლარიზაცია ეწოდება.

პოლარიზაციის შედეგად ელექტრულ ველში მოთავსებული დიელექტრიკის დიპოლები განლაგდებიან ისე, რომ დიელექტრიკის შიგნით წარმოქმნილი ელექტრული ველი $\vec{E}'$, გარე ველის საპირისპიროდ იქნება მიმართული. ეს ველი ასუსტებს გარე $\vec{E}_0$ ველს, რის გამოც დიელექტრიკში ჯამური ველის დაძაბულობის მოდული იქნება:

$$E = E_0 - E'$$

ელექტრულ ველში არაპოლარული დიელექტრიკის მოთავსებისას ველის ზეგავლენით დადებითი და უარყოფითი მუხტები საპირისპირო მიმართულებით წაინაცვლებს (სურ. 71). ამიტომ მოლეკულის (ატომის) შიგნით არსებული დადებითი და უარყოფითი მუხტების ცენტრები აღარ დაემთხვევა ერთმანეთს ისევე, როგორც პოლარულ მოლეკულებში. ასეთი დეფორმირებული ატომები (მოლეკულები) ფაქტობრივად დიპოლებად გადაიქცევა, მათ მიერ შექმნილი ელექტრული ველიც ასუსტებს გარე $\vec{E}_0$ ველს პოლარული დიელექტრიკის მსგავსად (სურ. 72).

ამგვარად, ორივე სახის დიელექტრიკის ელექტრულ ველში მოთავსებისას ელექტროსტატიკური ველი მათში მცირდება ვაკუუმში ველთან შედარებით. ველის შემცირება დამოკიდებულია დიელექტრიკის ელექტრულ თვისებებზე. დიელექტრიკების ელექტრული თვისებები ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით – დიელექტრიკული შეღწევადობით.

დიელექტრიკული შეღწევადობა გვიჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის მოდული დიელექტრიკის შიგნით ვაკუუმში ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის მოდულთან შედარებით.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

ε -ის სიდიდე განყენებული რიცხვია (განზომილება არ აქვს) და $\varepsilon > 1$. ვაკუუმისთვის $\varepsilon = 1$, ასევე ჰაერისთვის $\varepsilon \approx 1$.

თუ წერტილოვანი მუხტი მოთავსებულია ε დიელექტრიკული შეღწევადობის დიელექტრიკში, მაშინ ელექტრული ველის დაძაბულობა იქნება:

$$E = \frac{k \cdot |q|}{\varepsilon \cdot r^2} = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

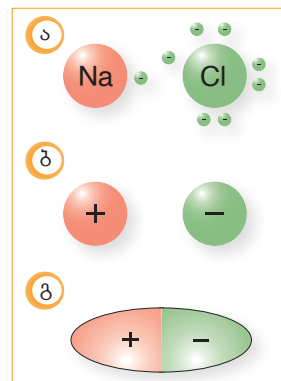
მუხტებს შორის ურთიერთქმედების (კულონური) ძალა:

$$F = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2} = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

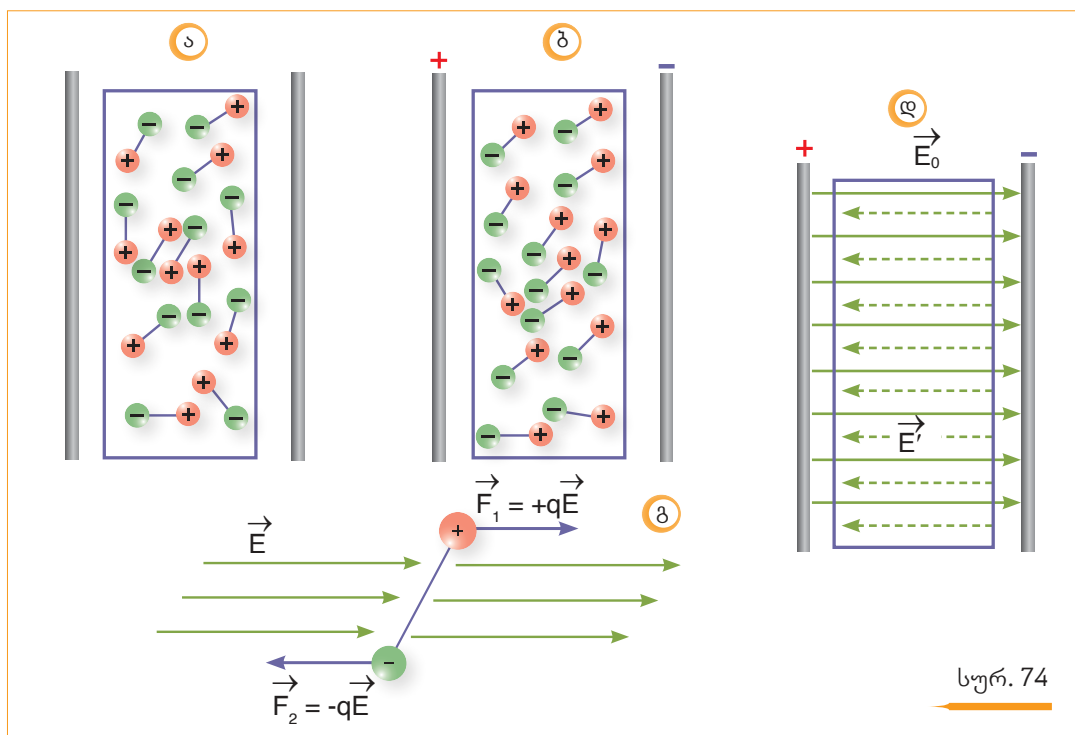


ბაზრება

- იმსჯელე NaCl დიპოლის წარმოქმნის შესახებ (სურ. 73):
 - როგორ არის განაწილებული მუხტები NaCl მოლეკულაში?
 - როგორ წარმოიქმნება NaCl -ის იონები?
 - როგორ იქმნება ამ შენაერთში დიპოლი?
 - რომელი სახის დიელექტრიკს მიეკუთვნება NaCl ?
- სურათზე გამოსახულია დიპოლების განლაგება დიელექტრიკის ელექტრულ ველში მოთავსებამდე (სურ. 74 ა). იმსჯელე:
 - როგორ შეიცვლება დიპოლების ორიენტაცია დიელექტრიკის $\vec{E}_0$ დაძაბულობის ველში მოთავსებისას (სურ. 74 ბ);
 - როგორ იცვლება დიპოლის ორიენტაცია ელექტრულ ველში (სურ. 74 გ);
 - შეადარე გარე $\vec{E}_0$ ველისა და დიელექტრის მიერ შექმნილი $\vec{E}'$ ელექტრული ველის დაძაბულობების ვექტორების მიმართულებები (სურ. 74 დ). გამოიტანე დასკვნა ჯამური ელექტრული ველის სიდიდის შესახებ.



სურ. 73



სურ. 74



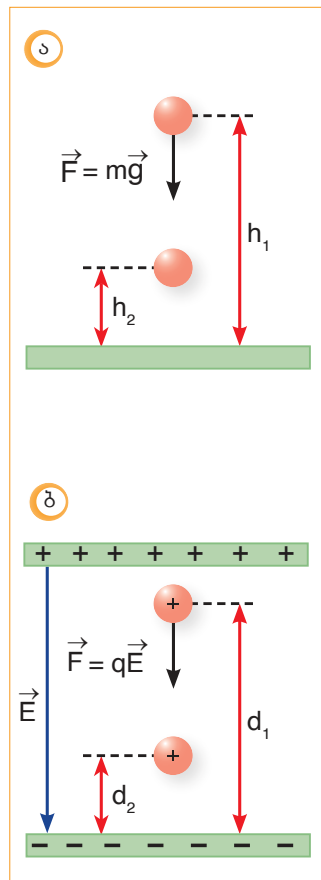
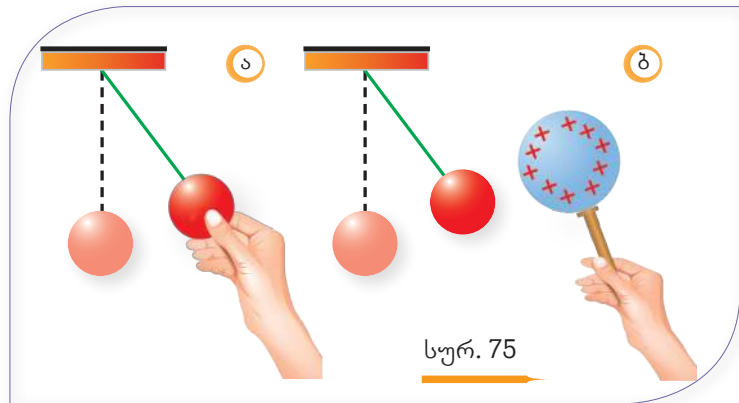
საშინაო დავალება

- რამდენჯერ შეიცვლება მუხტების ურთიერთქმედების ძალა ზეთში მოთავსებისას, მათ შორის მანძილის შეუცვლელად?
- როგორ უნდა შეიცვალოს ორი ერთნაირად დამუხტული სფეროდან თითოეულის მუხტის სიდიდე ჰაერიდან წყალში მოთავსებისას, რომ მათ შორის მანძილი და ურთიერთქმედების ძალა დარჩეს უცვლელი?
- დიელექტრიკში ჩაშვებული 81 ნკ მუხტიდან 9 სმ მანძილზე ველის დაძაბულობა 36 კვ/მ-ია. გამოთვალე დიელექტრიკული შეღწევადობა.
- $3 \cdot 10^{-9}$ კ და $5 \cdot 10^{-9}$ კ მუხტებს შორის მანძილი ჰაერში 20 სმ-ია. მუხტები შეახეს, შემდეგ დააშორეს ერთმანეთს და მოათავსეს წყალში ისე, რომ მათ შორის ურთიერთქმედების ძალა იგივე დარჩა, რაც ჰაერში შეხებამდე. გამოთვალე მუხტებს შორის მანძილი წყალში.

2.14. ელექტრული ძალის მუშაობა

იოშირა და იმსჯელე

რომელმა ძალებმა შეასრულა მუშაობა სხეულის წონაწილის მდებარეობიდან გადახრისას? რა შესაბამისობაა ამ ძალებს შორის და რომელი ენერგია შეიცვალა ამ დროს?



სურ. 76

სხეულზე (ან ნაწილაკზე) მოქმედ ნებისმიერი ბუნების ძალას შეუძლია მუშაობის შესრულება.

თუ სხეულზე მოქმედებს მუდმივი $\vec{F}$ ძალა, რომელიც $\vec{S}$ გადაადგილებასთან ადგენს რაღაც α კუთხეს, მაშინ ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება ძალისა და გადაადგილების მოდულების ნამრავლისა ამ ძალისა და გადაადგილების ვექტორებს შორის კუთხის კოსინუსზე:

$$A = F \cos \alpha.$$

h_1 სიმაღლეზე (დედამინის მიზიდულობის ველში) მყოფი სხეულის ვარდნას h_2 სიმაღლემდე ინვევს სხეულსა და დედამინას შორის არსებული გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალა (სურ. 76 ა). ე.ი. სხეულზე მოქმედი $m\vec{g}$ სიმძიმის ძალა ასრულებს მუშაობას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$A = -(mgh_2 - mgh_1) = mgh_1 - mgh_2 = mgh.$$

დავუშვათ, ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული დამუხტული ნაწილაკის გადაადგილებას ინვევს მხოლოდ ელექტრული ძალა $\vec{F}_{\text{ელ}} = q\vec{E}$.

როდესაც q დადებითი მუხტი ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში $\vec{E}$ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის გასწვრივ გადაადგილდება $d = d_1 - d_2$ მანძილზე (სურ. 76 ბ), მაშინ ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება ფორმულით:

$$A_{\text{ელ}} = F_{\text{ელ}} d = qEd.$$

დავუშვათ, $\vec{E}$ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში დადებითი q მუხტი გადაადგილდა B-დან D წერტილში ძალწირებისადმი α კუთხით (სურ. 77 ა), მაშინ ელექტროსტატიკური ველის მიერ მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობა იქნება:

$$A = F_s \cdot \cos \alpha = qEs \cdot \cos \alpha = qEd,$$

სადაც d მუხტის გადაადგილებაა ძალწირების გასწვრივ, s – მუხტის გადაადგილების მოდული B-დან D წერტილში.

დავუშვათ, q მუხტი BCD ტრაექტორიაზე მოძრაობისას, ველის ძალნიერების გასწვრივ B წერტილიდან C წერტილში გადაადგილდა. რადგან მუხტზე მოქმედი ძალისა და გადაადგილების მიმართულება ერთმანეთს ემთხვევა, ამიტომ $\alpha = 0$ და $\cos 0^\circ = 1$. შესაბამისად, $BC = d$ უბანზე ელექტრული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება:

$$A_1 = qEd.$$

CD ტრაექტორიის გასწვრივ, ძალნიერების მართობულად გადაადგილებისას მუხტზე მოქმედ ელექტრულ ძალასა და გადაადგილებას შორის კუთხეა 90° . $\cos 90^\circ = 0$. ამგვარად, გადაადგილების მართობული ძალა მუშაობას არ ასრულებს და, შესაბამისად, მუშაობაც ნულის ტოლია. ე.ი. BCD ტრაექტორიაზე მოძრაობისას ჯამური მუშაობა იქნება:

$$A = A_1 + A_2 = qE \cdot BC \cos 0^\circ + qE \cdot CD \cos 90^\circ = qEd.$$

ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობები BD და BCD ტრაექტორიების გასწვრივ მოძრაობისას ერთი და იგივეა. იმავე შედეგს მივიღებთ მუხტის გადაადგილებისას ნებისმიერი მრუდი წირის გასწვრივ იმავე B-დან D წერტილამდე, თუ ამ მრუდს მცირე ზომის საფეხურებად დავყოფთ (სურ. 77ბ).

თუ q მუხტის B-დან D წერტილში გადაადგილებისას ელექტრული ველის ძალამ შეასრულა A მუშაობა, იმავე ძალა D-დან B წერტილში გადაადგილებისას - A მუშაობას შეასრულებს.

ნებისმიერ ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ელექტროსტატიკური ველის მიერ მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული ჯამური მუშაობა ნულის ტოლია (სურ. 77, 78).

ველს, რომელშიც ნებისმიერი ჩაკეტილი ტრაექტორიის გასწვრივ გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია, პოტენციალური ველი ეწოდება.

გრაფიტაციული და ელექტროსტატიკური ველები პოტენციალური ველებია. როგორც გრაფიტაციულის, ასევე ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა პოტენციალური ენერგიის ცვლილების ტოლია.

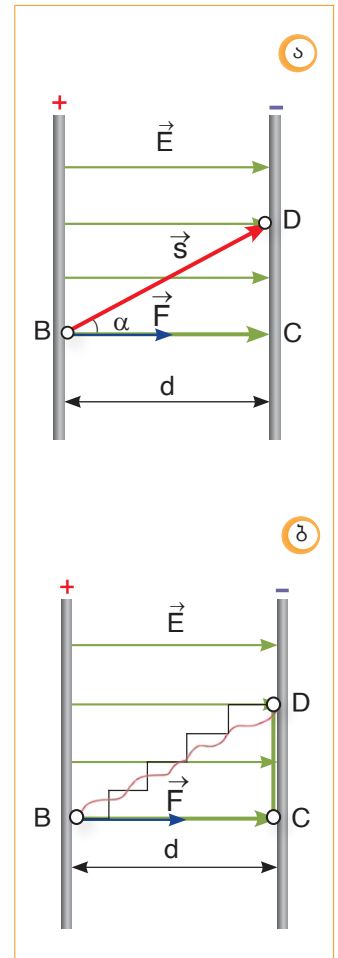
ელექტრულ ველში მოთავსებული q მუხტის ელექტრული ძალის მოქმედებით გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა მის სანყის და საბოლოო მდებარეობაში პოტენციალური ენერგიის სხვაობის ტოლია.

$$A_{\text{ელ}} = W_1 - W_2 = -(W_2 - W_1).$$

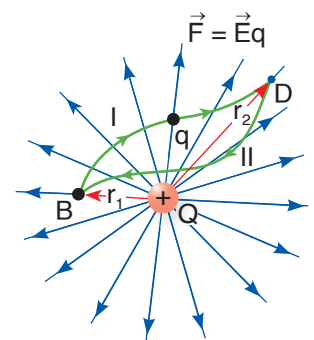
აქედან გამომდინარე, ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში მუხტის პოტენციალური ენერგია იქნება: $W_{\text{ელ}} = qEd$.

წერტილოვან მუხტებს შორის ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიის ფორმულის გამოყვანა სცილდება ელემენტარული მათემატიკის კურსს, ამიტომ ამ ფორმულას შემოგთავაზებთ ვაკუუმისთვის გამოყვანის გარეშე:

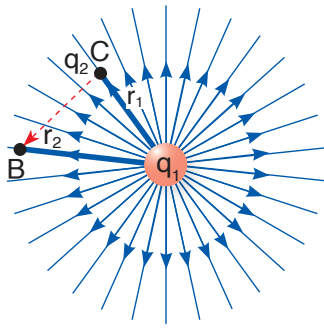
$$W = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$



სურ. 77



სურ. 78



სურ. 79

წერტილოვან q_1 და q_2 მუხტებს შორის ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია პირდაპირპროპორციულია ამ მუხტების სიდიდეებისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილისა.

ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია დადებითია, თუ მუხტები ერთნაირნიშნისაა (განზიდვის ენერგია). სხვადასხვანიშნის მუხტების შემთხვევაში კი პოტენციალური ენერგია უარყოფითია (მიზიდვის ენერგია).

დავუშვათ, q_1 წერტილოვანი მუხტის ველში მისგან r_1 მანძილზე C წერტილში მოთავსებულია q_2 მუხტი (სურ. 79). მაშინ q_2 მუხტის B წერტილში გადასატანად, რომელიც q_1 მუხტიდან r_2 მანძილითაა დაშორებული, შესრულებული მუშაობა ტოლია პოტენციალური ენერგიის ცვლილებისა უარყოფითი ნიშნით:

$$A_{\text{ელ}} = -(W_2 - W_1), \text{ აქედან}$$

$$A_{\text{ელ}} = W_1 - W_2 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1} - k \frac{q_1 \cdot q_2}{r_2}.$$



გააზრება

იმსჯელე ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე სიმძიმის (გრავიტაციული) ძალისა და ელექტრული ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობას შორის ანალოგიის შესახებ (სურ. 80 ა, ბ).

ა. რომელი ფორმულებით გამოითვლება სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მუშაობა h სიმაღლეზე ასროლისას და ვარდნისას?

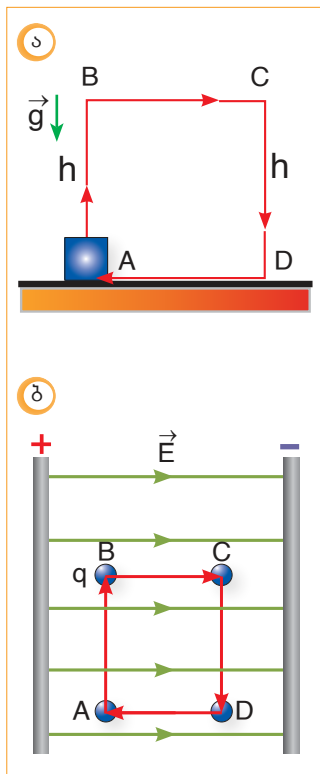
ბ. რას უდრის სიმძიმის ძალის მუშაობა სხეულის ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობისას?

გ. რომელი ფორმულით გამოითვლება ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითი მუხტის გადაადგილებისას ძალწირების მიმართულების თანხვედრილად?

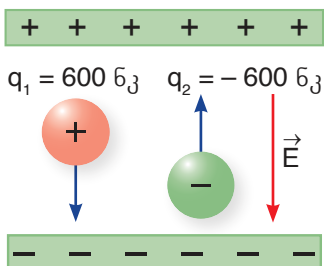
დ. რომელი ფორმულით გამოითვლება ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითი მუხტის გადაადგილებისას ძალწირების საწინააღმდეგო მიმართულებით?

ე. რას უდრის ელექტრული ველის მუშაობა მუხტის ძალწირების მართობული მიმართულებით გადაადგილებისას (სურ. 80, ბ)?

ვ. რას უდრის ელექტრული და გრავიტაციული ძალების მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე?



სურ. 80



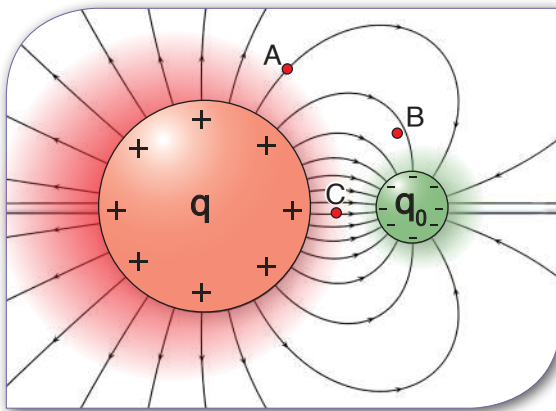
სურ. 81



საშინაო დავალება

1. რამდენით შეიცვლება 10 ნკ მუხტის კინეტიკური ენერგია, თუ ის გადაადგილდება 30კნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვან ველში ელექტრული ველის ძალწირების გასწვრივ 10 სმ მანძილზე.
2. გამოთვალე მუშაობა, რომელსაც ასრულებს 150 ნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვანი ველი 600 და -600 ნკ წერტილოვანი მუხტების 20 სმ მანძილზე გადაადგილებისას (სურ. 81).

2.15. ელექტრული ველის პოტენციალი



იზიარე და იმსჯელე

როგორ იცვლება q_0 მუხტის პოტენციალური ენერგია დამუხტული სფეროს ველის სხვადასხვა წერტილში მოთავსებისას?

სურ. 82

ელექტროსტატიკურ ველში შეტანილი სასინჯი მუხტის პოტენციალური ენერგია დამოკიდებულია როგორც ველის წარმომქმნელ, ასევე სასინჯი მუხტის სიდიდესა და მის მდებარეობაზე ველში.

ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალური ენერგიის შეფარდება სასინჯ მუხტთან არ არის დამოკიდებული სასინჯი მუხტის სიდიდეზე. იგი ამ ველის ენერგეტიკული მახასიათებელია. მას უწოდებენ **პოტენციალს**.

ელექტროსტატიკური ველის მოცემული წერტილის პოტენციალი φ ეწოდება ამ წერტილში მოთავსებული სასინჯი დადებითი მუხტის W პოტენციალური ენერგიის შეფარდებას ამ მუხტის სიდიდესთან:

$$\varphi = \frac{W}{q_0}. \quad (1)$$

პოტენციალის ერთეულია ვოლტი (შემოკლებით ვ), რომელიც იტალიელი ფიზიკოსის **ალესსანდრო ვოლტას** პატივსაცემად ეწოდა.

$$1\text{ვ} = 1\text{ჯ/კ}.$$

ერთი ვოლტი ველის იმ წერტილის პოტენციალია, სადაც ერთი კულონი მუხტის შეტანისას ამ მუხტის პოტენციალური ენერგია ერთი ჯოულის ტოლია.

ელექტრული ველის დაძაბულობა ველის ძალური მახასიათებელი ვექტორული სიდიდეა. პოტენციალი კი სკალარული სიდიდეა და ველის ენერგეტიკული მახასიათებელია. იგი განსაზღვრავს ველის მოცემულ წერტილში ერთეულოვანი მუხტის პოტენციალურ ენერგიას.

(1) ფორმულაში წერტილოვანი q მუხტსა და მის ველში შეტანილ სასინჯ q_0 მუხტს შორის ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიის ფორმულის

$$W = k \frac{q \cdot q_0}{r}$$

ჩასმის შედეგად წერტილოვანი მუხტის პოტენციალი იქნება:

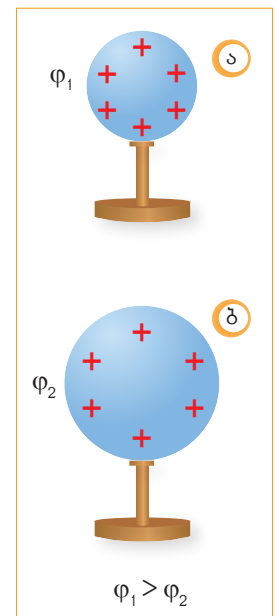
$$\varphi = k \frac{q}{r} \quad (2)$$

ერთი და იმავე მუხტის გადაცემისას მეტი პოტენციალი ექნება იმ სფეროს, რომლის რადიუსი მცირეა (სურ. 83).

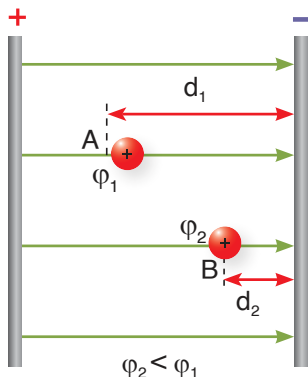
(2) ფორმულა სამართლიანია პოტენციალის გამოსათვლელად



ალესსანდრო ვოლტა
(1745-1827)



სურ. 83



სურ. 84

დამუხტული გამტარი სფეროს ზედაპირზე ან მის გარეთ, როდესაც სფეროს ცენტრიდან მანძილი $r \geq R$, სადაც R — სფეროს რადიუსია. რადგან დამუხტული სფეროს შიგნით ელექტრული ველის დაძაბულობა 0-ის ტოლია, პოტენციალი სფეროს ცენტრიდან ზედაპირამდე არ იცვლება და ზედაპირის პოტენციალის ტოლია, ხოლო სფეროს გარეთ კი მცირდება (სურ. 85 ა, ბ).

ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ($E = \text{const}$) (სურ. 84) დადებითი q მუხტის პოტენციალური ენერგია A და B წერტილში შესაბამისად იქნება:

$$W_1 = qEd_1, \quad W_2 = qEd_2 \quad (3)$$

(1) ფორმულაში (3)-ის შეტანით, ერთგვაროვანი ელექტრული ველის პოტენციალები A და B წერტილში იქნება:

$$\varphi_1 = Ed_1, \quad \varphi_2 = Ed_2, \quad (4)$$

სადაც d_1 და d_2 არის მანძილი ელექტრულ ველში წინასწარ არჩეული პოტენციალური ენერგიის ნულოვანი დონიდან მუხტის მდებარეობამდე. მაშინ $Ed = \varphi_1 - \varphi_2$, სადაც $d = d_1 - d_2$.

ერთგვაროვან ველში ნულოვან დონედ მიიჩნევენ უარყოფითად დამუხტულ ფირფიტას (სურ. 84). ამიტომ მის სიახლოვეს მყოფი მუხტის პოტენციალი ყოველთვის ნაკლები იქნება დადებითად დამუხტულ ფირფიტასთან მყოფი მუხტის პოტენციალზე. პრაქტიკაში, როგორც ნესი, სხვადასხვა წერტილის პოტენციალს განიხილავენ დედამიწის მიმართ, რომლის პოტენციალი მიღებულია ნულის ტოლად. უსასრულობაშიც წერტილოვანი მუხტის პოტენციალი ნულის ტოლად არის მიღებული.

თუ ველი შექმნილია რამდენიმე სტატიკური მუხტის მიერ, მაშინ მათი ჯამური ველის პოტენციალი ველის მოცემულ წერტილში სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, ტოლია ცალკეული მუხტების მიერ ამ წერტილში შექმნილი პოტენციალების ალგებრული ჯამისა:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 \dots + \varphi_n. \quad (5)$$



ბაზრება

- სურათზე გამოსახული გრაფიკების მიხედვით იმსჯელე:
 - დამუხტული გამტარი სფეროს დაძაბულობის მანძილზე დამოკიდებულების შესახებ (სურ. 85, ა);
 - დამუხტული გამტარი სფეროს პოტენციალის მანძილზე დამოკიდებულების შესახებ (სურ. 85, ბ).
- ლითონის ორი სფერო, რომელთა რადიუსებია R და $2R$, დამუხტულია ერთნაირი ნიშნისა და სიდიდის მუხტით. როგორ გადანაწილდება მუხტები, თუ სფეროებს გამტარით შევაერთებთ? როდის შეწყდება გადანაწილება? როგორი იქნება თითოეული სფეროს მუხტი მათი გადანაწილების შემდეგ?



საშინაო ღვაწლავა

1მ რადიუსიანი სფეროს მუხტი 10^{-6} კ-ია. გამოთვალე ელექტრული ველის დაძაბულობა და პოტენციალი სფეროს ზედაპირიდან 60 სმ-ზე.

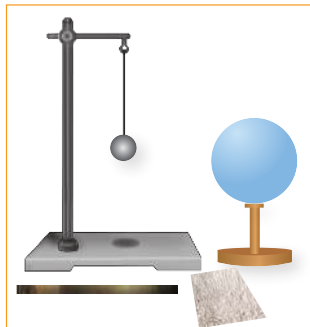
2.16. დამუხტული სხეულების ენერგიისა და პოტენციალის ექსპერიმენტული კვლევა



I. დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედების ენერგიის ექსპერიმენტული კვლევა

მოცემული გაქვს: შტატივი, ძაფზე დაკიდებული თხელი ალუმინის ფურცლის (ფოლგის) ბურთულა, ებონიტის (პლასტმასის) ღერო, იზოლატორის სადგამზე დამაგრებული ლითონის სფერო, შალის ქსოვილი.

მსვლელობა: დამუხტე ებონიტის ღერო შალის ქსოვილზე ხახუნით. დამუხტული ღეროს შეხებით დამუხტე ბურთულა და სფერო. სფერო მიუახლოვე ბურთულას დაახლოებით 2 სმ მანძილზე. დააკვირდი ბურთულის გადახრას (ჰორიზონტალური ზედაპირიდან აწევის სიმაღლის მიხედვით). შეაფასე ბურთულას პოტენციალური ენერგიის ცვლილება. იგივე ცდა გაიმეორე სფეროსა და ბურთულას შორის მანძილის გაზრდისას. კვლავ შეაფასე ბურთულის პოტენციალური ენერგიის ცვლილება.



გამოიტანე დასკვნა:

- რატომ შეიცვალა ბურთულის პოტენციალური ენერგია დამუხტულ სფეროსთან ურთიერთქმედების შედეგად.
- რომელმა ძალამ გამოიწვია ბურთულის გადახრა და შესაბამისად შეასრულა მუშაობა?
- რა კავშირია ბურთულის ენერგიის ცვლილებასა და სხეულების ელექტრული ურთიერთქმედებასა შესრულებულ მუშაობას შორის?



II. დამუხტული სხეულების ელექტრული ველის პოტენციალის კვლევა

მოცემული გაქვს: იზოლატორიან სადგარზე დამაგრებული ორი განსხვავებული ზომის ლითონის სფერო, ებონიტის ღერო, იზოლატორის ღეროზე დამაგრებული ორი მცირე ზომის ლითონის ბურთულა, შალის ქსოვილი, ელექტრომეტრი, გამტარი ღერო იზოლირებული სახელურით.

მსვლელობა: დამუხტე ებონიტის ღერო შალის ქსოვილზე ხახუნით. ღეროზე დაგროვილი მუხტი შეხებით გადაეცი იზოლატორზე დამაგრებულ პატარა ბურთულას. დამუხტული ბურთულა შეახე მეორე, ასეთივე დაუმუხტავ ბურთულას, რის შედეგადაც ბურთულებს შორის მუხტები თანაბრად გადანაწილდება. გადაეცი მუხტი თითოეულ სფეროს თითოეული ბურთულის შეხებით. სახელურიანი ღეროს საშუალებით თითოეული სფერო რიგრიგობით შეაერთე დაუმუხტავ ელექტრომეტრს და დააკვირდი ელექტრომეტრის ჩვენებას თითოეულ შემთხვევაში.



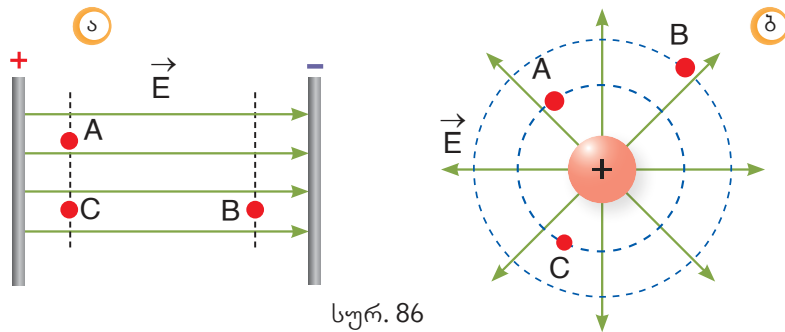
შეადარე ელექტრომეტრის ჩვენებები თითოეულ შემთხვევაში. რომელ სფეროსთან შეხებისას გადაიხარა ელექტრომეტრის ისარი მეტად?

გამოიტანე დასკვნა: რომელი სფეროს პოტენციალია მეტი ერთი და იმავე სიდიდის მუხტის გადაცემისას?

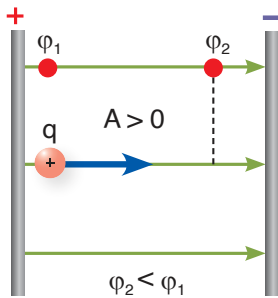
2.17. პოტენციალთა სხვაობა. ეკვიპოტენციალური ზედაპირები

იზიარა და იმსჯელე

შეადარე ელექტროსტატიკურ ველში A, B და C წერტილების პოტენციალები (სურ. 86 ა, ბ).



სურ. 86



სურ. 87

ელექტროსტატიკური ველის რომელიმე წერტილიდან სხვა წერტილში მუხტის გადატანაზე ველი ასრულებს მუშაობას, რომელიც ტოლია: $A = W_1 - W_2$. სადაც W_1 და W_2 ველის შესაბამის წერტილებში q მუხტის პოტენციალური ენერგიებია (სურ. 87). $W_1 = q\phi_1$, $W_2 = q\phi_2$, მაშინ:

$$A = q\phi_1 - q\phi_2 = q(\phi_1 - \phi_2). \quad (1)$$

სიდიდეს, $\phi_1 - \phi_2$, პოტენციალთა სხვაობა ეწოდება. ϕ_1 და ϕ_2 ველის მოცემული წერტილების პოტენციალებია. პოტენციალთა სხვაობას, აგრეთვე, ელექტრულ ძაბვას უწოდებენ და U ასოთი აღნიშნავენ.

$$U = \phi_1 - \phi_2 \quad (2)$$

(1) ფორმულაში (2) ფორმულის ჩასმით მიიღება:

$$A = qU.$$

აქედან

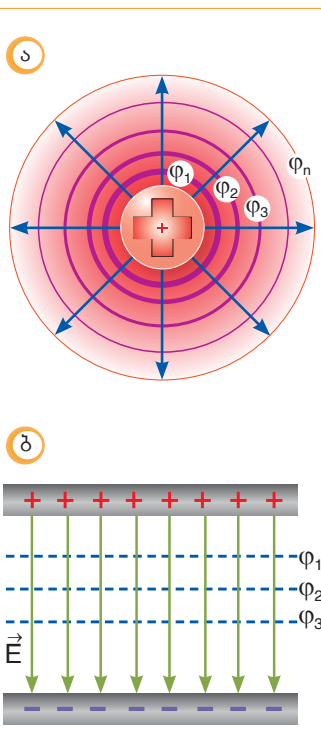
$$U = \frac{A}{q} \quad (3)$$

ამგვარად, ელექტრული ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა) ტოლია ამ წერტილებს შორის მუხტის გადატანაზე ველის მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდებისა ამ მუხტის სიდიდესთან.

პოტენციალთა სხვაობა ველის ორ წერტილს შორის რიცხობრივად ტოლია ელექტრული ძალის მიერ ერთეულოვანი მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობის.

(2) ფორმულის თანახმად, თუ პოტენციალი ველის ორ წერტილს შორის არ იცვლება, მაშინ ძაბვა ნულის ტოლია. თუ დადებითი ნიშნის მუხტის გადაადგილების მიმართულება ემთხვევა ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას, მაშინ ველი ასრულებს დადებით მუშაობას. ელექტრული ველის დაძაბულობა მიმართულია პოტენციალის შემცირების მიმართულებით (სურ. 87).

პოტენციალთა სხვაობა არ არის დამოკიდებული პოტენციალის ნულოვანი დონის არჩევაზე.



სურ. 88

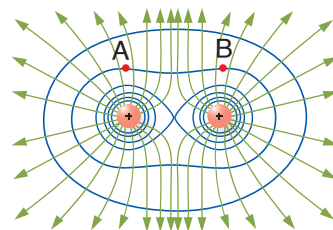
პოტენციალთა სხვაობის, ანუ ძაბვის ერთეულია 1 ვოლტი.

ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა ერთი ვოლტის ტოლია, თუ ამ წერტილებს შორის ერთი კულონი მუხტის გადატანაზე სრულდება ერთი ჯოული მუშაობა.

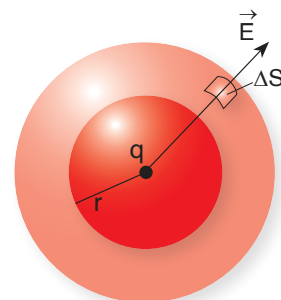
თუ $\varphi_1 - \varphi_2 = U = Ed$, მაშინ $E = \frac{U}{d}$ და ველის დაძაბულობის ერთეული იქნება 1 ვ/მ.

წერტილოვანი მუხტის, დამუხტული გამტარი სფეროს ცენტრიდან და დამუხტული ფირფიტებიდან ერთი და იმავე მანძილზე პოტენციალები ერთმანეთის ტოლია (სურ. 88 ა, ბ). ზედაპირს, რომლის ნებისმიერ წერტილში პოტენციალი ერთნაირია, **ეკვიპოტენციალური ზედაპირი** ეწოდება. წერტილოვანი მუხტისთვის ეკვიპოტენციალურია იმ სფეროების ზედაპირები, რომლის ცენტრშიც ეს მუხტია მოთავსებული. იგივე შეიძლება ითქვას დამუხტული სფეროს შესახებ (სურ. 90). ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ეკვიპოტენციალური ზედაპირები ელექტრული ველის ძალწირების მართობული სიბრტყეებია (სურ. 88, ბ). სურათზე ლურჯი ფერის წირით გამოსახულია წერტილოვანი მუხტების ელექტრული ველის ეკვიპოტენციალური ზედაპირები (სურ. 89, 91).

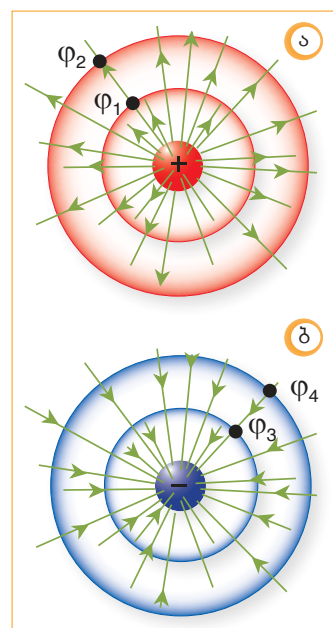
ეკვიპოტენციალურია ნებისმიერი გამტარის ზედაპირი ელექტროსტატიკურ ველში. არა მარტო ზედაპირზე, არამედ გამტარის შიგნით ყველა წერტილს ერთნაირი პოტენციალი აქვს. ამიტომ დაძაბულობა გამტარის შიგნით ნულის ტოლია. ნულის ტოლია აგრეთვე პოტენციალთა სხვაობა გამტარის ნებისმიერ ორ წერტილს შორის. (1) ფორმულის თანახმად, ეკვიპოტენციალურ ზედაპირზე მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ველი მუშაობას არ ასრულებს.



სურ. 89



სურ. 90

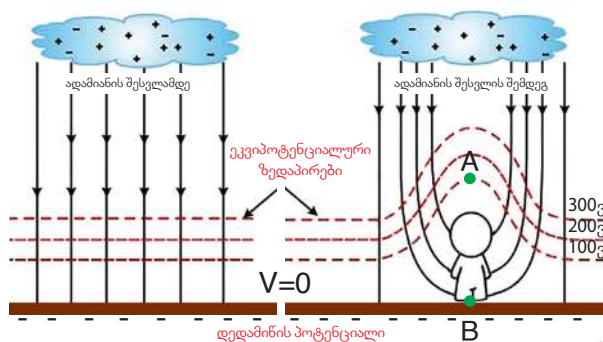


სურ. 91

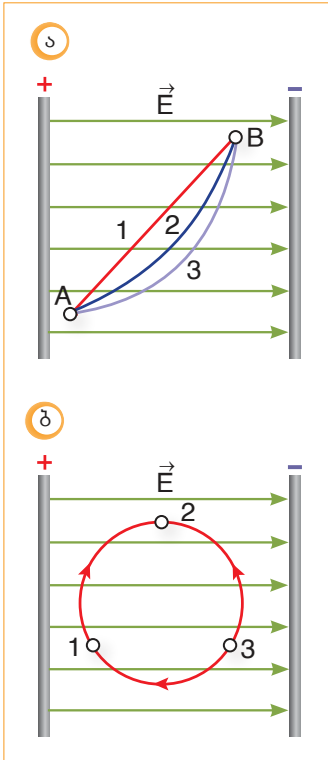


ბაზრება

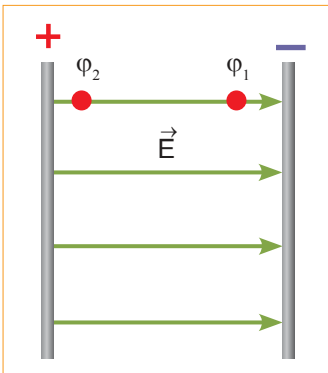
- იმსჯელე და შეადარე მოდულით ტოლი და საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე: ა. დადებითი მუხტის φ_1 და φ_2 პოტენციალები (სურ. 91 ა). ბ. უარყოფითი მუხტის φ_3 და φ_4 პოტენციალები (სურ. 91 ბ), თითოეული მუხტიდან ტოლი მანძილით დაშორებული φ_1 პოტენციალი φ_3 -ს (სურ. 91 ა; ბ).
- ატმოსფეროში მყოფი მუხტები დედამიწის ზედაპირზე ქმნიან დედამიწის ელექტრულ ველს. დედამიწის ზედაპირზე არსებული უარყოფითი მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა საშუალოდ 130 ვ/მ-ია. დედამიწიდან სიმაღლის ზრდის მიხედვით ველის დაძაბულობა იკლებს. ზედაპირიდან რამდენიმე კილომეტრის სიმაღლეზე დედამიწას გარს აკრავს დადებითად დამუხტული იონიზებული მოლეკულების სქელი ფენა, იონოსფერო. იმსჯელე: ა. რატომ არის დედამიწის ზედაპირისკენ მიმართული ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები? როგორ კუთხეს ქმნიან დედამიწის ელექტრული ველის ძალწირები ეკვიპოტენციალურ ზედაპირებთან? ბ. როგორი იქნება დედამიწის ელექტრული



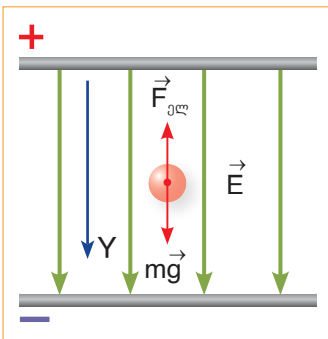
სურ. 92



სურ. 93



სურ. 94



სურ. 95

ველის პოტენციალთა სხვაობა **A** და **B** წერტილებს შორის (სურ. 92).
გ. რატომ არ შეიგრძნობენ ადამიანები დედამიწის ელექტრული ველის ასეთ მაღალ პოტენციალთა სხვაობას?

- სამი ერთნაირი მუხტი ელექტრული ველის **A**-დან **B** წერტილში განსხვავებული (1, 2, 3) ტრაექტორიით გადაადგილდა. შეადარე ელექტრული ველის მუშაობა მუხტების სხვადასხვა ტრაექტორიით გადაადგილებისას. იმსჯელე: ა. პოტენციალური ენერგიის შესახებ **A**-დან **B** წერტილში გადაადგილებისას; ბ. პოტენციალის ცვლილების შესახებ ველის **A** და **B** წერტილებს შორის (სურ. 93 ა).
- იმსჯელე ელექტროსტატიკურ ველში მუხტის წრეწირზე მოძრაობისას (სურ. 93 ბ):

ა. რა მუშაობას შეასრულებს ველი, თუ მუხტი მოძრაობას იწყებს 1 წერტილიდან და ბრუნდება ისევ 1 წერტილში. როგორ იცვლება პოტენციალი ამ დროს? ბ. როგორ იცვლება ველის პოტენციალი მუხტის 2 წერტილიდან 3-ში გადაადგილებისას გ. როგორ შეიცვლება ველის პოტენციალი 3 წერტილიდან 1 წერტილში გადაადგილებისას?



საშინაო დავალება

- რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი 50 ნკ მუხტის გადაადგილებისას $\phi_1 = 100$ ვ პოტენციალის წერტილიდან $\phi_2 = 300$ ვ პოტენციალის წერტილამდე (სურ. 94)?
- ერთგვაროვანი ველის ძალწირების გასწვრივ ერთ წრფეზე მდებარე ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა, ანუ ძაბვა, 500 ვ-ია. გამოთვალე ველის დაძაბულობა, თუ წერტილებს შორის მანძილი 2 სმ-ია

ამოცანა 3. ორ პარალელურ 3,2 მმ დაშორებულ დამუხტულ პორიზონტალურ ფირფიტას შორის შეტანილი 10^{-6} გ მასის უარყოფითად დამუხტული მტვრის ნაწილაკი წონასწორულ მდგომარეობაშია (სურ. 95). გამოთვალე ნაწილაკის მუხტის სიდიდე და მასზე ჭარბი ელექტრონების რაოდენობა, თუ ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობაა 200 ვ.

ამოხსნა:

$q, n - ?$

$d = 3,2 \text{ მმ} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ მ}$

$U = 200 \text{ ვ}$

$m = 10^{-6} \text{ გ} = 10^{-9} \text{ კგ}$

$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ}$

ნაწილაკის წონასწორობისას მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია.

$$mg + F_{\text{ელ}} = 0$$

$$(0Y) \quad mg - F_{\text{ელ}} = 0$$

$mg = qE$. ვიცით, რომ

$$E = \frac{U}{d}, \text{ ამიტომ } mg = \frac{qU}{d}. \text{ აქედან კი}$$

$$q = \frac{mgd}{U} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ კ}.$$

ჭარბი ელექტრონების რაოდენობის გასაგებად მუხტის მიღებული მნიშვნელობა გავყოთ ელექტრონის მუხტის მოდულზე:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1,6 \cdot 10^{-13} \text{ კ}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ}} = 10^6.$$

2.18. ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1.

ელექტრული ველის მოცემულ წერტილში პოტენციალი 500 ვ-ია, ამ წერტილში ველის ძალწირის გასწვრივ მოძრავი ელექტრონის სიჩქარე კი 10^7 მ/წმ. გამოთვალე იმ წერტილის პოტენციალი, რომელშიც ელექტრონი გაჩერდება.

ამოხსნა:

$\varphi_2 = ?$

$$\varphi_1 = 500 \text{ ვ}$$

$$v_1 = 10^7 \text{ მ/წმ}$$

$$v_2 = 0$$

$$q_{\text{ელ}} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ კგ}$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ველის ერთ რომელიმე წერტილში ელექტრონის კინეტიკური და ელექტრულ ველში პოტენცილური ენერგიების ჯამი ტოლი უნდა იყოს ველის მეორე წერტილში შესაბამისი ენერგიების ჯამისა.

500 ვ პოტენციალის წერტილში ელექტრული ველის მიმართ ელექტრონის პოტენცილური ენერგია ტოლია $W_{\varphi_1} = q_{\text{ელ}} \varphi_1$,

კინეტიკური ენერგია, $W_{\text{კინ}} = \frac{mv_1^2}{2}$.

გაჩერების წერტილში კი $W_{\varphi_2} = q_{\text{ელ}} \varphi_2$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ გაჩერებული ელექტრონის კინეტიკური ენერგია $W_{\text{კინ}}$ ნულის ტოლია, მივიღებთ:

$$q_{\text{ელ}} \varphi_1 + \frac{mv_1^2}{2} = q_{\text{ელ}} \varphi_2,$$

საიდანაც

$$\varphi_2 = \frac{q_{\text{ელ}} \varphi_1 + \frac{mv_1^2}{2}}{q_{\text{ელ}}} \approx 216 \text{ ვ}.$$

ამოცანა 2.

$r = 3$ სმ რადიუსის ლითონის ღრუ სფეროს ზედაპირზე მუხტი თანაბრადაა განაწილებული. რა თანაფარდობა იქნება იმ წერტილების პოტენციალებს შორის, რომლებიც ცენტრიდან $r_1 = 1$ სმ და $r_2 = 4$ სმ მანძილთაა დაშორებული?

ამოხსნა:

$\varphi_1 / \varphi_2 = ?$

$$r = 3 \text{ სმ} = 0,03 \text{ მ}$$

$$r_1 = 1 \text{ სმ} = 0,01 \text{ მ}$$

$$r_2 = 4 \text{ სმ} = 0,04 \text{ მ}$$

სფეროს შიგნით ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია. მაშინ სფეროს შიგნით ველის მიერ შესრულებული მუშაობაც ნულის ტოლი იქნება. ნულის ტოლი იქნება პოტენციალთა სხვაობა სფეროს ზედაპირსა და სფეროს შიგნით ნებისმიერი წერტილის პოტენციალს შორის. ამიტომ ყველა წერტილის პოტენციალი სფეროს შიგნით ისეთივეა, როგორიც სფეროს ზედაპირზე. მაშინ სფეროს შიგნით პოტენციალი იქნება:

$$\varphi_1 = \frac{kq}{r}$$

სფეროს გარეთ პოტენციალი იქნება:

$$\varphi_2 = \frac{kq}{r_2}$$

პოტენციალების შეფარდება იქნება:

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{r_2}{r} = \frac{4}{3}.$$

• ამოხსენი ამოცანები

ამოცანა 1.

ელექტრულ ველმა მუხტის ერთი ნერტილიდან მეორეში გადაადგილებისას, რომელთა შორის პოტენციალთა სხვაობაა 1კვ, შეასრულა 40 მკჯ მუშაობა. გამოთვალე მუხტის სიდიდე.

ამოცანა 2.

გამოთვალე 10 მ სიგრძის ზვიგენის სხეულის კიდურა ნერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ ზვიგენი 0, 1 მკვ/სმ ელექტრული ველის დაძაბულობაზე რეაგირებს.

ამოცანა 3.

რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი 2,5 მკვ მუხტის 600 ვ პოტენციალის ნერტილიდან 200 ვ პოტენციალის ნერტილამდე გადაადგილებისას?

ამოცანა 4.

ელექტრული ველის ზემოქმედებით 50 ნკ მუხტის მქონე 10 მკვ (მიკროგრამი) მასის ნაწილაკის სიჩქარე 200 მ/წმ-დან 300 მ/წმ-მდე გაიზარდა. რას უდრის პოტენციალთა სხვაობა საწყის და საბოლოო ნერტილებს შორის?

ამოცანა 5.

გამოთვალე რა სიჩქარე მიანიჭა უძრავ ელექტრონს 300 ვ პოტენციალთა სხვაობის ელექტრულმა ველმა, თუ ელექტრონის მუხტია $1,6 \cdot 10^{-19}$ კ, მასა $9,1 \cdot 10^{-31}$ კგ -ია.

ამოცანა 6.

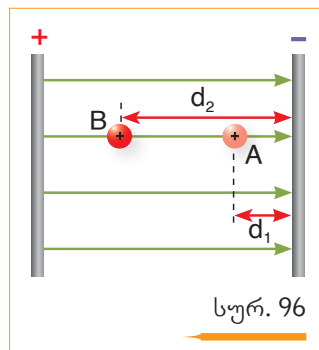
ელექტროსტატიკურ ველში ნერტილოვანი $q = 2 \cdot 10^{-9}$ კ მუხტის A დან B ნერტილში გადაადგილებისას ველმა $-2 \cdot 10^{-7}$ ჯ მუშაობა შეასრულა. B ნერტილში პოტენციალი 400 ვ-ია. გამოთვალე პოტენციალი A ნერტილში (სურ. 96).

ამოცანა 7.

$r_1 = 6$ სმ რადიუსის სფეროს პოტენციალი 300 ვ-ია, $r_2 = 4$ სმ რადიუსის სფეროსი — 900 ვ. სფეროები ჯერ შეახეს, შემდეგ დააშორეს ერთმანეთს. გამოთვალე პოტენციალები ამ სფეროებზე.

ამოცანა 8.

ერთგვაროვან ელექტრულ ველში პროტონი, რომლის მასაა $1,7 \cdot 10^{-27}$ კგ და მუხტი $1,6 \cdot 10^{-19}$ კ, მოძრაობს $1,6 \cdot 10^5$ მ/წმ² აჩქარებით. გამოთვალე ველის დაძაბულობა.



ამოცანა 9.

$3 \cdot 10^7$ მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ელექტრონი შეიჭრა ელექტრულ ველში. გამოთვალე პოტენციალთა სხვაობის ის მნიშვნელობა, რომელზეც ელექტრონის სიჩქარე შემცირდება 10^7 მ/წმ-მდე.

ამოცანა 10.

უძრავი ნერტილოვანი Q მუხტის მიერ შექმნილ ველში $r = 80$ სმ-ზე მოთავსებულია q = 1,5 ნკ მუხტი. ამ ნერტილში ველის პოტენციალია $\varphi = 0,43$ კვ. გამოთვალე q მუხტზე მოქმედი ძალა.

ამოცანა 11.

ელექტროსტატიკური ველი 2,4 ნკ მუხტის უსასრულობიდან ველის რომელიღაც ნერტილში გადატანაზე ასრულებს 72 ნჯ მუშაობას. გამოთვალე ველის ამ ნერტილის პოტენციალი.

2.19. შემაჯამებელი გაკვეთილი

1 იმსჯელე, რატომ არ შეიგრძნობს ლითონის ბადეში მყოფი ადამიანი გარეთ არსებულ, დიდი დაძაბულობის ელექტრულ ველს (სურ. 97)?

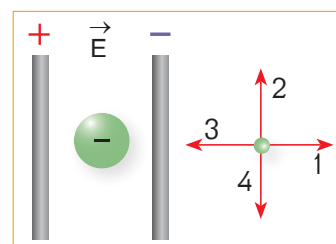
2 სურათზე გამოსახულია ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოთავსებული უარყოფითად დამუხტული ზეთის პატარა წვეთი. იმსჯელე, რა მიმართულება ექნება წვეთზე მოქმედ ძალას (სიმძიმის ძალას ნუ გაითვალისწინებ) (სურ. 98)?



სურ. 97

3 აზრობრივად დაუკავშირე ელექტროსტატიკური ველის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები შესაბამის გრაფიკულ ველის მახასიათებელ სიდიდეებს.

	ა	ბ	გ	დ	ე
1					
2					
3					
4					
5					



სურ. 98

1. ელექტრული ძალა $F = qE$;

2. მუხტი q ;

3. ელექტრული ველის მახასიათებელი E ;

4. ელექტრული ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია $W = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$;

5. პროპორციულობის კოეფიციენტი k .

ა. მასა m ;

ბ. გრაფიკაციული მუდმივა G ;

გ. გრაფიკაციული ველის მახასიათებელი g ;

დ. სიმძიმის ძალა $F = mg$;

ე. გრაფიკაციული ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია $W = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$.

4 იმსჯელე და ცხრილში შეიტანე ფიზიკური სიდიდეების შესაბამისი ფორმულები.

ფიზიკური სიდიდეები	ფორმულები	
	ერთგვაროვანი ელექტრული ველი	წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველი
ელექტრული ძალა		
ელექტრული ველის დაძაბულობა		
მუხტების პოტენციალური ენერგია		
ელექტრული ველის მუშაობა		
პოტენციალი		



ელექტრული ველის ეკრანირების კვლევა

განსაკუთრებით სასიამოვნოა, როდესაც მეგობრებთან ერთად ესწრები სპექტაკლს ცირკში. ბადით გარშემოცემული მსახიობი უვნებლად დგას, გარეთ კი ძლიერი ელექტრული ველია, ისმის ტკაცანის ხმა და თვალისმომჭრელი ნათებაა. რატომ ვერ შეიგრძნობს ბადეში მყოფი მსახიობი ბადის გარეთ არსებულ ძლიერ ელექტრულ ველს?

ამგვარი „უსაფრთხო“ ბადე 1836 წ. დაამზადა მაიკლ ფარადეიმ, რომლსაც **ფარადეის გალია** უწოდეს.

ფარადეიმ ელექტროსტატიკური დაცვის მოვლენის კვლევის მიზნით ხის გალია გააკეთა. მან გალიაზე თხელი თუნუქის ფურცლები ააკრა და ძლიერად დამუხტა (გალია მიწისგან იზოლირებული იყო). ფარადეი ძალიან მგრძნობიარე ელექტროსკოპით მოთავსდა გალიაში. დამინებული სხეულების ბადეზე გარედან შეხებისას ძლიერი ნაპერწკალი წარმოიშვა, თუმცა ფარადეი უვნებელი გადარჩა და არც ელექტროსკოპის ფურცლები გაშლილა. რატომ არ გაიშალა ელექტროსკოპის ფურცლები?

● მოიძიე ინფორმაცია ელექტროსტატიკური დაცვის შესახებ: სად და როგორ იყენებენ ელექტროსტატიკურ დაცვას, დაამზადე „ფარადეის გალიის“ მსგავსი ხელსაწყო და ჩაატარე ექსპერიმენტები.

ელექტრული ველის ეკრანირება

I. მოცემული გაქვს: ფოლგის გრაგნილი, ნებისმიერი ზომის მუყაოს თავსახურიანი ყუთი (მაგ., ფეხსაცმლის), მობილური ტელეფონი, მაკრატელი, ნებო.

მსვლელობა: ყუთს ორ ფენად შემოაკარი ფოლგის ფურცელი, დაანებე კუთხეებში ისე, რომ ფოლგა თავსახურის კიდეებსაც ფარავდეს. მოათავსე ყუთში ჩართული მობილური და ყუთს მჭიდროდ დაახურე თავსახური. დაშორდი ყუთს და დარეკე მობილურზე.



გამოიტანე დასკვნა: რატომ არ ირეკება მობილურზე?

II. მოცემული გაქვს: ელექტრომეტრი, ებონიტის ღერო, შალის ქსოვილი, ლითონის ბადე.

მსვლელობა: მიუახლოვე ელექტრომეტრს შალზე ხახუნის შედეგად დამუხტული ებონიტის ღერო (სურ. ა). შეაფასე ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხე. რატომ გადაიხარა ელექტრომეტრის ისარი?



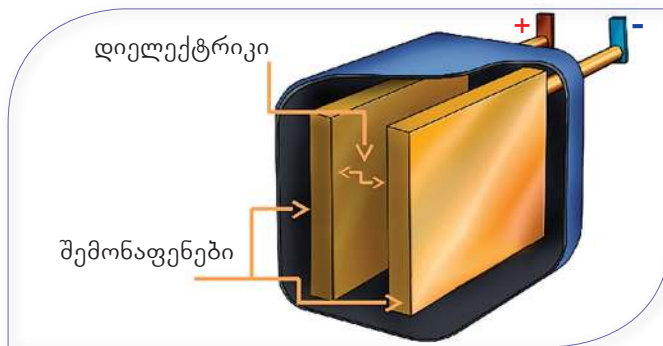
მოათავსე ელექტრომეტრსა და ებონიტის ღეროს შორის ლითონის ბადე (სურ. ბ). რატომ დაეშვა ელექტრომეტრის ისარი?



მოაშორე ბადე ელექტრომეტრს, ისე რომ დამუხტული ებონიტის ღერო ადგილზე დარჩეს: ა. რატომ გადაიხარა ელექტრომეტრის ისარი? ბ. რა ანალოგიაა ფარადეის ცდასა და შენ მიერ ჩატარებულ ცდებს შორის.

გამოიტანე დასკვნა: ელექტრული ველის გავრცელების შესახებ „ფარადეის გალის“ შიგნით და გარეთ.

2.20. ელექტროტევადობა. კონდენსატორი



სურ. 99

იზიარა და იმსჯელე

რატომ შეიძლება დაგროვდეს მუხტები სურათზე გამოსახული მონწყობილობის საშუალებით?

ელექტროტევადობა არის ნებისმიერი ფორმის გამტარის მახასიათებელი სკალარული ფიზიკური სიდიდე. იგი გამოსახავს ამ გამტარის უნარს, დააგროვოს ელექტრული მუხტი. გამტარზე მუხტის მატებით პოტენციალი პროპორციულად იზრდება. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ნებისმიერი ფორმის გამტარის მუხტის სიდიდის შეფარდება პოტენციალთან, მოცემული გამტარისთვის მუდმივი სიდიდეა.

$$\frac{q_1}{\phi_1} = \frac{q_2}{\phi_2} = \dots = \frac{q_n}{\phi_n} = \text{const}$$

გამტარის მუხტის სიდიდის შეფარდებას ამავე გამტარის პოტენციალთან, გამტარის ელექტროტევადობა ეწოდება:

$$C = \frac{q}{\phi} \quad (1)$$

გამტარის ელექტროტევადობა განსაზღვრავს მის მიერ ელექტრული მუხტის დაგროვების უნარს.

ელექტროტევადობის ერთეულია (SI) ფარადი (ფ): $1 \text{ ფ} = 1 \text{ კ/ვ}$.

ელექტროტევადობას ზომავენ მულტიმეტრით (სურ. 101).

ერთი ფარადი არის ისეთი გამტარის ელექტროტევადობა, რომელზეც ერთი კულონი მუხტის გადაცემა მის პოტენციალს ერთი ვოლტით ზრდის.

(1) ფორმულაში $\phi = k \frac{q}{r}$ გამოსახულების შეტანით მიიღება:

$$C = \frac{qr}{kq} \quad \text{და} \quad C = \frac{r}{k}, \quad (2)$$

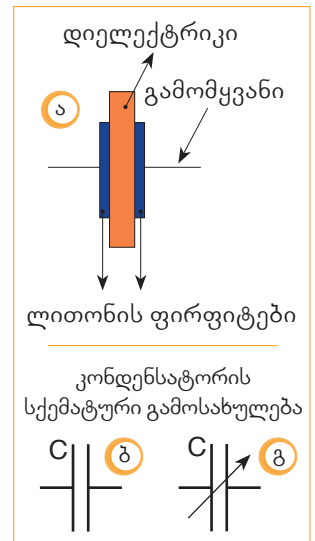
აქედან $r = Ck$, თუ $C = 1 \text{ ფ}$,

მაშინ $r = 1 \text{ ფ} \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ მ/კ}^2 = 9 \cdot 10^9 \text{ მ}$.

1 ფ ძალიან დიდი ტევადობაა. ასეთი ტევადობა რომ ჰქონდეს სხვა გამტარებისგან განცალკევებულ სფეროს, მისი რადიუსი დაახლოებით 13-ჯერ მეტი უნდა იყოს მზის რადიუსზე.

პრაქტიკაში გამოიყენება ტევადობის წილადი ერთეულები: 1 მკფ (მიკროფარადი) = 10^{-6} ფ; 1 ნფ (ნანოფარადი) = 10^{-9} ფ, 1 პფ (პიკოფარადი) = 10^{-12} ფ.

(2) ფორმულის თანახმად, სფეროს ელექტროტევადობა არ არის დამოკიდებული მუხტის სიდიდეზე. იგი სფეროს რადიუსის პირდაპირპროპორციულია.



სურ. 100



სურ. 101



სურ. 102

$C = 4\pi\epsilon_0 R$, სადაც $\epsilon_0 = 8,5 \cdot 10^{-12} \text{ კ}^2/\text{მ}^2$ ელექტრული მუდმივაა, ϵ დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც დამოკიდებულია გარემოზე.

ორ განცალკევებულ გამტარს შორის დიელექტრიკის თხელი ფენის მოთავსებისას, მივიღებთ მონოპოილობას, რომლის ელექტროტევადობა გაცილებით უფრო დიდია თითოეული გამტარის ელექტროტევადობასთან შედარებით. მასში შეიძლება მუხტების დაგროვება. ასეთ მონოპოილობას ეწოდება **კონდენსატორი** (ლათინურად „კონდენსარე“ ნიშნავს დამგროვებელს) (სურ. 99). ტევადობის მიხედვით განასხვავებენ მუდმივი (სურ. 100 ბ) და ცვლადი (სურ. 100 გ) ტევადობის კონდენსატორებს.

ფორმისა და დიელექტრიკის მიხედვით არსებობს სხვადასხვა ტიპის კონდენსატორები, მაგ., ბრტყელი, ცილინდრული და სფერული, კერამიკული, ქაღალდის, ელექტროლიტური და სხვ. ყველა კონდენსატორის აგების პრინციპი ძირითადად ერთნაირია (სურ. 103).

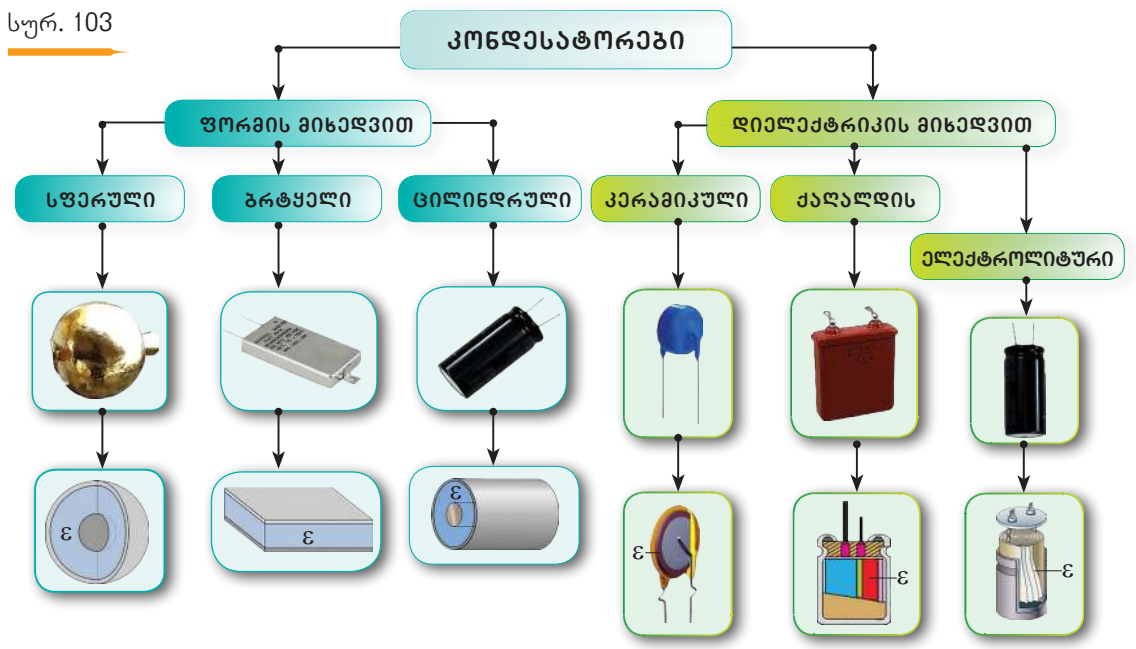
რადიოელექტრონულ მიმღებ და გადამცემ მონოპოილობებში გამოიყენება ცვლადი ტევადობის კონდენსატორები, რომელთაგან ზოგიერთში დიელექტრიკად ჰაერის შუალედი. ასეთი კონდენსატორი შედგება ლითონის ფირფიტების ერთმანეთისგან იზოლირებული სისტემისაგან, რომელთაგან ერთ-ერთი უძრავია, მეორე კი – მოძრავი. მოძრავი სისტემის ბრუნვით ფირფიტების ურთიერთგადამფარავი ფართობი და ფირფიტებს შორის მანძილი იცვლება. შესაბამისად, იცვლება ტევადობა (სურ. 102).



ბაზრება

1. იმსჯელე, რა თანაფარდობა იქნება ჰაერში მოთავსებულ რკინისა და ალუმინის სფეროების ელექტროტევადობებს შორის, თუ სფეროების რადიუსები ტოლია?
2. იმსჯელე ქვემოთ მოცემული სქემის მიხედვით კონდენსატორების სახეების შესახებ.

სურ. 103



საშინაო დავალება

1. კონდენსატორის ტევადობაა 58 მკფ. რა მუხტი დაგროვდება მასზე, თუ ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობაა 50 ვ?
2. კონდენსატორის შემონაფენებს (ფირფიტებს) მოსდეს 50 ვ ძაბვა, რის შედეგადაც მათზე გაჩნდა 200 მკკ მუხტი. რას უდრის ამ კონდენსატორის ელექტროტევადობა?

2.21. ელექტროტექნოლოგიის ექსპერიმენტული კვლევა



I. სხეულების ელექტროტექნოლოგიის კვლევა

მოცემული გაქვს: დიელექტრიკის სადგარზე დამაგრებული ორი განსხვავებული რადიუსის მქონე ლითონის სფერო, ებონიტის ღერო, შალის ქსოვილი, ელექტრომეტრი, გამტარი ღერო იზოლირებული სახელურით.

მსვლელობა: ქსოვილზე ხახუნით დამუხტე ებონიტის ღერო და მასზე დაგროვილი მუხტი ერთხელ შეხებით გადაეცი მცირე რადიუსიან სფეროს. გამტარი ღეროს საშუალებით სფერო შეაერთე ელექტრომეტრთან, ისრის გადახრის კუთხის მიხედვით შეაფასე სფეროს პოტენციალი. ექსპერიმენტი გაიმეორე დიდი რადიუსიანი სფეროსთვის. ღერო რამდენჯერმე დამუხტე და მისი მუხტი კვლავ დიდ სფეროს გადაეცი, სანამ მასთან მიერთებული ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხე ისეთივე გახდება, როგორიც მცირე სფეროს შემთხვევაში. შეაფასე სფეროებზე ერთნაირი პოტენციალის შეძენისთვის გადაცემული მუხტების სიდიდეები.



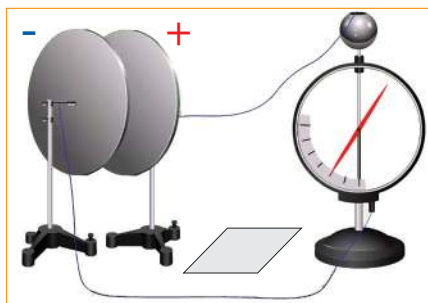
გამოიტანე დასკვნა: როგორი დამოკიდებულებაა ტოლი პოტენციალის სფეროების რადიუსებსა და სფეროებზე გადაცემულ მუხტებს შორის. რომელი სფეროს ელექტროტექნოლოგიაა მეტი?



II. ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტექნოლოგიის გამოკვლევა

მოცემული გაქვს: ბრტყელი კონდენსატორი, ელექტრომეტრი, შემაერთებული სადენები, ებონიტის ღერო, დიელექტრიკი (პლასტმასის ან ორგანული მინის ფირფიტა), შალის ქსოვილი.

მსვლელობა: ბრტყელი კონდენსატორის ერთი შემონაფენი სადენის საშუალებით შეაერთე ელექტრომეტრის გამტარ ბურთულასთან, მეორე კი — ელექტრომეტრის კორპუსთან (ელექტრომეტრით ფასდება კონდენსატორის შემონაფენებს შორის პოტენციალთა სხვაობა). დამუხტე ებონიტის ღერო შალზე ხახუნით. დამუხტული ღერო შეახე კონდენსატორის ერთ-ერთ ფირფიტას (ეფექტურია კონდენსატორის დამუხტვა ელექტროფორული მანქანით). შეაფასე ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხე. გაზარდე კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილი ორჯერ, სამჯერ. შეაფასე ელექტრომეტრის ჩვენება. მოათავსე დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის ფირფიტა. შეაფასე ელექტრომეტრის ისრის ჩვენება.



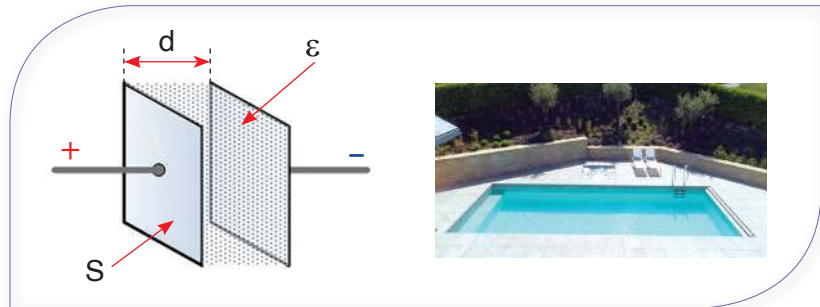
გამოიტანე დასკვნა: როგორ იცვლება ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტექნოლოგია:

- ფირფიტებს შორის მანძილის ცვლილებისას;
- ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის მოთავსებისას.

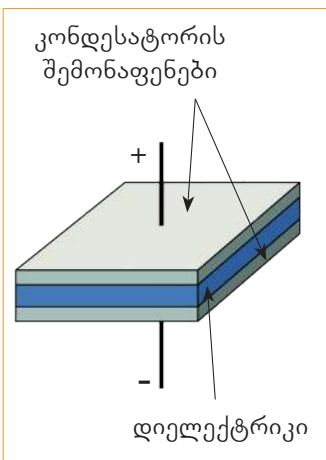
2.22. ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა

იზიძრე და იმსჯელე

რა ანალოგია შეიძლება იყოს აუზის ტევადობასა და კონდენსატორის ელექტროტევადობას შორის?



სურ. 104



სურ. 105

ბრტყელი კონდენსატორის ერთ-ერთი მთავარი ნაწილია ორი პარალელური გამტარი ფირფიტა, რომელთაც **კონდენსატორის შემონაფენებს** უწოდებენ. შემონაფენებს შორის მოთავსებულია დიელექტრიკის თხელი ფენა, რომლის სისქე გაცილებით ნაკლებია პარალელური ფირფიტების ზომაზე (სურ. 105).

კონდენსატორის ერთ-ერთ შემონაფენს დადებითად მუხტავენ, მეორე შემონაფენს — უარყოფითად. მათ შორის წარმოიქმნება ერთგვაროვანი $\vec{E}_0$ ელექტრული ველი (სურ. 106 ა, ბ)

ერთ-ერთ შემონაფენზე არსებული მუხტის მოდულს **კონდენსატორის მუხტს** უწოდებენ.

ცალკეული დამუხტული გამტარი ბრტყელი ფირფიტის ველის დაძაბულობა გამოითვლება ფორმულით (ფორმულას გთავაზობთ გამოცვანის გარეშე):

$$E_1 = 2\pi k\sigma = 2\pi \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, \quad (1)$$

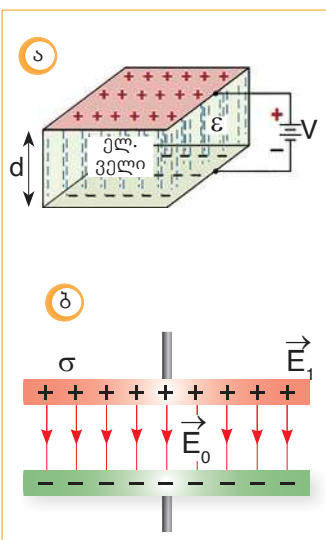
სადაც σ მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეა — $\sigma = \frac{q}{S}$.

ფირფიტებს შორის სივრცის ნებისმიერ წერტილში დადებითად დამუხტული ფირფიტის ველის დაძაბულობას ემატება უარყოფითი ფირფიტის ველის დაძაბულობა. ორივე მათგანის მიმართულებები ერთმანეთს ემთხვევა და ისინი იკრიბებიან (სურ. 107). ერთგვაროვანი ველის დაძაბულობა ერთ-ერთი ფირფიტის ველის დაძაბულობის E_1 მოდულის გაორგვამებული სიდიდის ტოლია. ამიტომ კონდენსატორის ელექტრული ველის დაძაბულობა გამოითვლება ფორმულით:

$$E_0 = 2E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S} \quad (2)$$

თითოეული ფირფიტის გარეთ ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია, რადგან ფირფიტების ველის დაძაბულობები ურთიერთსაწინააღმდეგოდაა მიმართული და ერთმანეთს აკომპენსირებს.

(2) ფორმულა სამართლიანია ისეთი კონდენსატორისთვის, რომლის ფირფიტებს შორის ჰაერის ფენაა. ჰაერის დიელექ-



სურ. 106

ტრიკული შეღწევადობა $\epsilon \approx 1$. თუ ფირფიტებს შორის ϵ შეღწევადობის დიელექტრიკია მოთავსებული, კონდენსატორის ველის დაძაბულობა ϵ -ჯერ შემცირდება (სურ. 106. ა). ველის დაძაბულობა იქნება:

$$E = \frac{E_0}{\epsilon} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S} \quad (3)$$

კონდენსატორის დამუხტვისას ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, ანუ ძაბვა იქნება:

$$U = Ed, \quad U = \frac{q \cdot d}{\epsilon \epsilon_0 S} \quad (4)$$

კონდენსატორის ელექტროტევადობის ფორმულაში (4)-ის ჩასმით, **ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა** იქნება:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (5)$$

ამგვარად, კონდენსატორის ელექტროტევადობა დამოკიდებულია ფირფიტების ფართობზე, მათ შორის მანძილსა და ფირფიტებს შორის მოთავსებულ დიელექტრიკის დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე. შემონაფენების ფართობი განსაზღვრავს მუხტების რაოდენობას მის ზედაპირზე. ფირფიტებს შორის მანძილის შემცირებით, იზრდება ამ ფირფიტაზე არსებულ მუხტებს შორის მიზიდულობის ძალა. ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის არსებობა, მისი პოლარიზაციის გამო, იწვევს კონდენსატორის ფირფიტებზე დამატებითი მუხტების მოზიდვას მუხტების წყაროდან. შემონაფენებზე მუხტის მომატება ზრდის კონდენსატორის ელექტროტევადობას. ამიტომ კონდენსატორების შემონაფენებს შორის ათავსებენ დიელექტრიკს.



ბააზრება

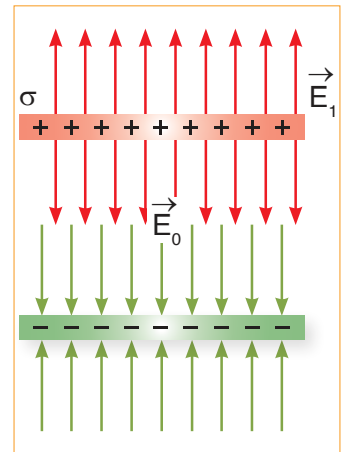
დამუხტული კონდენსატორი, რომლის ფირფიტებს შორის ჰაერია, სადენებით შეერთებულია ელექტრომეტრთან (სურ. 108 ა). იმსჯელე, კონდენსატორის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის მოთავსების შემდეგ (სურ. 108 ბ):

- რატომ იცვლება კონდენსატორის ტევადობა?
- რატომ შემცირდა კუთხე ელექტროსკოპის ფურცლებს შორის?

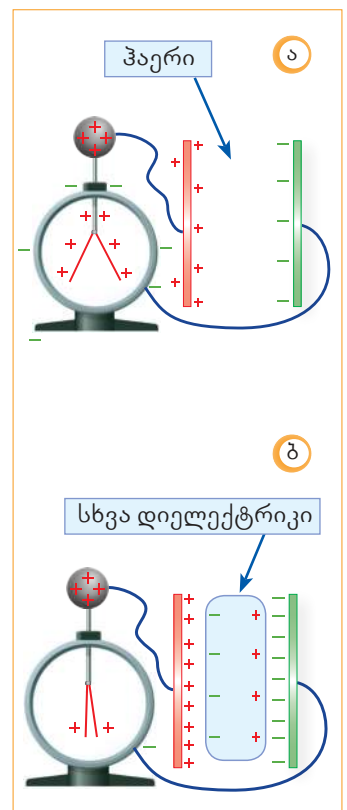


საშინაო დავალება

- რას უდრის ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა, თუ მისი $0,1 \text{ მ}^2$ ფართობის ფირფიტები მთლიანად შევსებულია 1 მმ სისქის დიელექტრიკით, რომლის $\epsilon = 2$?
- ბრტყელი კონდენსატორის თითოეული ფირფიტის ფართობია 520 სმ^2 . რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ ფირფიტები ერთმანეთისაგან ჰაერში, რომ კონდენსატორის ტევადობა 46 პკფ იყოს ?



სურ.107



სურ.108

2.23. კონდესატორის ელექტრული ველის ენერგია

იზიძრა და იმსჯელე

რატომ ინთება მყისიერად ფოტოკამერის ნათურა? რომელ ხელსაწყოს იყენებენ ნათურის ასანთებად?



სურ. 109

ტექნიკაში კონდესატორები მუხტისა და, შესაბამისად, ელექტრული ენერგიის დასაგროვებლად გამოიყენება.

დენის წყაროსთან მიერთებისას კონდენსატორის შემონაფენები იმუხტება და რადგან შემონაფენებს შორის სივრცეში დიელექტრიკია, მათზე მუხტი გროვდება. კონდენსატორის რაიმე ელექტრულ ხელსაწყოთან, მაგ., ფოტოკამერის ნათურასთან შეერთებისას (სურ. 109), ნათურა მყისიერად ინთება იმ ელექტრული ენერგიის ხარჯზე, რომელიც დაგროვდა კონდენსატორის დამუხტვისას და შემდეგ ქრება. ასევე კონდესატორები გამოიყენება სახანძროს, პოლიციისა და სასწრაფოს მანქანების სახურავებზე ნათურების ციმციმისთვის (სურ. 110).

C ელექტროტევადობის კონდენსატორის შემონაფენებზე $+q$ და $-q$ მუხტების არსებობისას, შემონაფენებს შორის ძაბვა იქნება:

$$U = \frac{q}{C}. \quad (1)$$

განმუხტვის პროცესში კონდენსატორის შემონაფენებზე მუხტის შემცირებისას ძაბვა სწრაფად მცირდება U -დან ნულამდე, რის გამოც კონდენსატორთან მიერთებული ნათურა ქრება. განმუხტვისას კონდენსატორზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$U_{\text{საშ}} = \frac{U + 0}{2} = \frac{U}{2} = \frac{q}{2C}. \quad (2)$$

კონდენსატორის განმუხტვისას ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება:

$$A = qU_{\text{საშ}} = \frac{q^2}{2C}. \quad (3)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $q = CU$, მაშინ:

$$A = \frac{CU^2}{2}. \quad (4)$$

ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია ელექტრული ველის ენერგიის ცვლილებისა. კონდენსატორის განმუხტვისას:

$$A = W_1 - W_2 = W_1 - 0 = W. \quad (5)$$

ამიტომ, კონდესატორის ელექტრული ველის ენერგია გამოიხატება ანალოგიური ფორმულით:

$$W = A = \frac{qu}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \quad (6)$$



სურ. 110

თუ C -ს ნაცვლად შევიტანთ ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობის გამოსათვლელ ფორმულას:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (7)$$

მივიღებთ: $W = \frac{\epsilon \epsilon_0 U^2 S}{2d}$, მაგრამ, $U = Ed$, ამიტომ $W = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} Sd$.

თუ ამ ფორმულის ორივე მხარეს გავყოფთ კონდენსატორის ფირფიტებს შორის ელექტრული ველის მიერ დაკავებულ მოცულობაზე $V = Sd$, მივიღებთ ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივის (w) ფორმულას:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} \quad (8)$$

ენერგიის სიმკვრივის ერთეულია 1ჯ/მ^3 , ე. ი., **ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე ამ ველის დაძაბულობის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია.**

ეს დებულება სამართლიანია არა მარტო ერთგვაროვანი, არამედ ნებისმიერი სახის ელექტრული ველისთვის.

დამუხტულ კონდენსატორში დიდი ენერგია გროვდება მძლავრი იმპულსური ლაზერების კვებისათვის. დაგროვილი ელექტრული ენერგიის სინათლედ გარდაქმნა ხდება საავდრო ღრუბლებში ელვის სახით. ელექტრული ველის სინათლის და სითბურ ენერგიაში გადასვლის მოვლენებს იკვლევენ სპეციალურ ლაბორატორიულ განმმუხტველ დანადგარებში (სურ. 111).



სურ. 111



ბაზრება

აზრობრივი ექსპერიმენტი

კონდენსატორის მუხტისა და ენერგიის გაზომვა

მოცემული გაქვს: კონდენსატორი, დენის წყარო, ვოლტმეტრი (ძაბვის გამზომი ხელსაწყო).

მსვლელობა: კონდენსატორი იმუხტება დენის წყაროს საშუალებით. შესაბამისად, მუხტები გროვდება კონდენსატორის შემონაფენებზე. ძაბვა იზომება ვოლტმეტრის საშუალებით. სურათზე მოცემული ხელსაწყოების ჩვენების მიხედვით გამოთვალე რა მუხტი დაგროვდა კონდენსატორზე.



გამოიტანე დასკვნა: რა ელექტრული ენერგია ექნება კონდენსატორს?



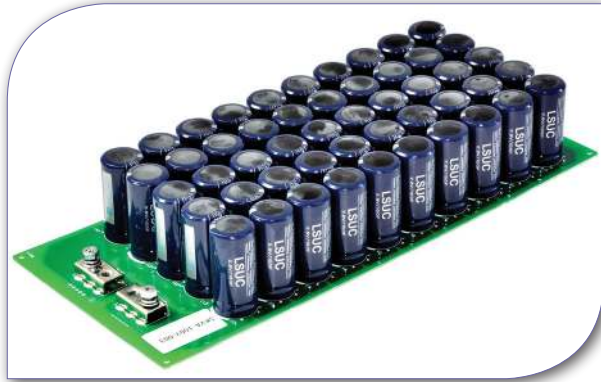
საშინაო დავალება

1. რა ენერგია გააჩნია 100 ვ ძაბვამდე დამუხტულ 0,2 მკფ ტევადობის კონდენსატორის ელექტრულ ველს?
2. რა ტევადობისაა კონდენსატორი, თუ მასზე 300 ნკ მუხტის გადაცემისას ენერგია 3 მკჯ-ის ტოლია?

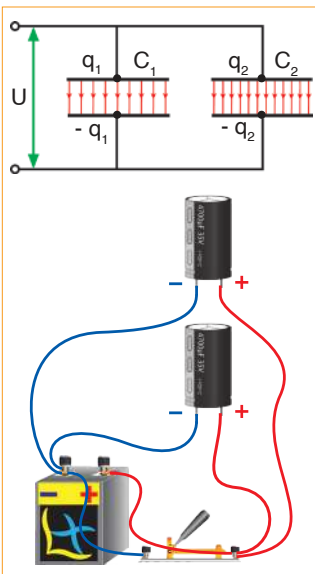
2.24. კონდენსატორების შეერთება

იზიძრა და იმსჯელე

რატომ იყენებენ ელექტრულ ხელსაწყოებში კონდენსატორების ბატარეას?



სურ. 112



სურ. 113

ტექნიკური მიზნებისათვის ხშირად საჭიროა ელექტრულ წრედში კონდენსატორების ტევადობის გაზრდა ან შემცირება. ამისთვის კონდენსატორებს სხვადასხვა ხერხით აერთებენ ერთმანეთთან. მაგ., პარალელურად ან მიმდევრობით.

კონდენსატორების ერთობლიობას **კონდენსატორების ბატარეას** უწოდებენ.

ორი ან რამდენიმე კონდენსატორის **პარალელური** ან **მიმდევრობითი** შეერთებისას მათი საერთო ტევადობა იცვლება. ასეთი შეერთებით შესაძლებელია კონდენსატორის ბატარეის საერთო ელექტრული ტევადობის მართვა.

n რაოდენობის კონდენსატორების **პარალელური** შეერთებისას ყველა კონდენსატორის ერთნაირნიშნის ფირფიტები ერთმანეთთანაა შეერთებული (სურ. 113), ამიტომ ყველა კონდენსატორზე პოტენციალთა სხვაობა ერთნაირია, ანუ მათ შემონაფენებზე ძაბვები ტოლი იქნება:

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U, \quad (1)$$

კონდენსატორების სისტემაზე მიწოდებული მუხტი გადანაწილება სისტემაში შემავალ ყველა კონდენსატორზე მათი ტევადობების მიხედვით. ამიტომ საერთო მუხტი თითოეულ კონდენსატორზე არსებული მუხტების ჯამის ტოლია:

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n. \quad (2)$$

მაშინ კონდენსატორების საერთო ტევადობა იქნება:

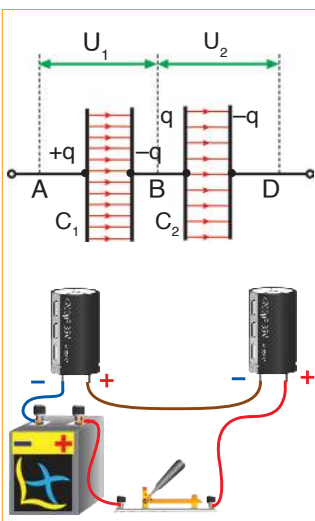
$$C = \frac{q}{U} = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{U} = \frac{q_1}{U} + \frac{q_2}{U} + \dots + \frac{q_n}{U}$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (3)$$

კონდენსატორების **პარალელური** შეერთებისას ბატარეის საერთო ტევადობა თითოეული მათგანის ტევადობათა ჯამის ტოლია.

კონდენსატორების **პარალელური** შეერთებისას საერთო ელექტროტევადობა იზრდება.

კონდენსატორების **მიმდევრობითი** შეერთებისას პირველი



სურ. 114

კონდენსატორის მეორე შემონაფენს აერთებენ მეორე კონდენსატორის პირველ შემონაფენთან, მეორე შემონაფენს მესამე კონდენსატორის პირველ შემონაფენთან და ა.შ. (სურ. 114). მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების დასამუხტად მუხტების წყაროს უშუალოდ აერთებენ კონდენსატორების ბატარეის მხოლოდ კიდურა შემონაფენებს. მათ შორის მოქცეული კონდენსატორების შემონაფენები იმუხტება გავლენით. ამგვარად, მიმდევრობით შეერთებისას თითოეული კონდენსატორის მუხტი კონდენსატორების საერთო მუხტის ტოლია:

$$q = q_1 = q_2 \quad (4)$$

თუ ძაბვა A და B წერტილებს შორის არის U_1 (სურ. 98), ხოლო, B და D შორის — U_2 , მაშინ ძაბვა A და D წერტილებს შორის იქნება:

$$U = U_1 + U_2. \quad (5)$$

$$U = \frac{q}{C}, \quad U_1 = \frac{q}{C_1} \quad \text{და} \quad U_2 = \frac{q}{C_2}. \quad \text{ამიტომ}$$

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}; \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}. \quad (6)$$

კონდენსატორების მიმდევრობითი შეერთებისას ბატარეის საერთო ტევადობის შებრუნებული სიდიდე ტოლია თითოეული კონდენსატორის ტევადობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამის.

კონდენსატორების მიმდევრობითი შეერთებისას საერთო ტევადობა თითოეული კონდენსატორის ტევადობაზე ნაკლებია.



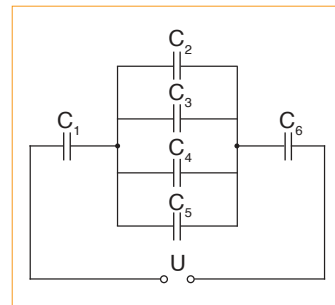
ბაზრება

1. იმსჯელე სქემაზე გამოსახული კონდენსატორების შერეული შეერთების შესახებ (სურ. 115).
2. იმსჯელე და შეადარე სამი ერთნაირი კონდენსატორის საერთო ტევადობა მიმდევრობითი და პარალელური შეერთებისას.
3. იმსჯელე, კონდენსატორის მახასიათებელი სიდიდეებიდან (ფირფიტების ფართობი და ფირფიტებს შორის მანძილი), რომელი განაპირობებს მათი პარალელური შეერთებისას საერთო ტევადობის ზრდას, ხოლო მიმდევრობითი შეერთებისას საერთო ტევადობის შემცირებას (სურ. 113, 114).

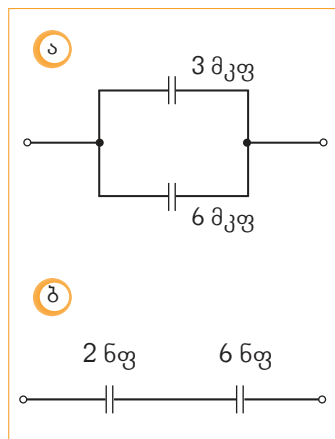


საშინაო დავალება

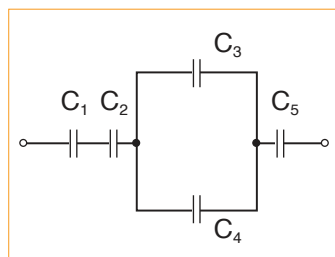
1. გამოთვალე კონდენსატორების საერთო ტევადობა (სურ. 116 ა, ბ)?
2. ორი კონდენსატორი, რომელთა ტევადობები შესაბამისად არის 3 და 5 ნფ, ჯერ შეაერთეს მიმდევრობით, შემდეგ პარალელურად. რომელი შეერთებისას იქნება საერთო ელექტროტევადობა მეტი და რამდენჯერ?
3. გამოთვალე კონდენსატორების ბატარეის ელექტროტევადობა, თუ $C_1 = C_2 = C_5 = 4$ მკფ, $C_3 = C_4 = 2$ მკფ (სურ. 117).



სურ. 115



სურ. 116



სურ. 117

2.25. ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1.

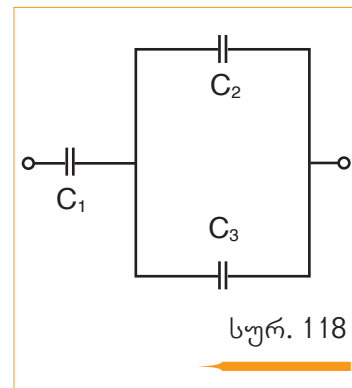
ერთი გამტარი სფეროს ტევადობა $0,1$ მკფ-ია, მეორის – 10000 პფ. რამდენჯერ მეტი უნდა იყოს ერთ-ერთი მათგანის პოტენციალი მეორესთან შედარებით, რომ ორივეზე ერთნაირი მუხტი აღმოჩნდეს?

ამოხსნა:

$\varphi_2 / \varphi_1 = ?$	პირველი გამტარის პოტენციალი:
$C_1 = 0,1$ მკფ $= 10^{-7}$ ფ	$\varphi_1 = \frac{q}{C_1}$, მეორის: $\varphi_2 = \frac{q}{C_2}$.
$C_2 = 10000$ პფ $= 10^{-8}$ ფ	ამ გამოსახულებების შეფასებით დავადგენთ, რომ $\varphi_2 > \varphi_1$,
$q_1 = q_2 = q$	ამიტომ $\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{C_1}{C_2} = 10^{-7} : 10^{-8} = 10$.

ამოცანა 2.

სამი კონდენსატორი მიერთებულია ერთმანეთთან ისე, როგორც სქემაზეა მოცემული (სურ. 118). გამოიანგარიშე კონდენსატორების საერთო ტევადობა, თუ $C_1 = 5$ მკფ, $C_2 = 14$ მკფ, $C_3 = 6$ მკფ.



ამოხსნა:

სქემის მიხედვით, C_1 კონდენსატორი მიმდევრობითაა შეერთებული C_2 და C_3 კონდენსატორებთან, რომლებიც ერთმანეთთან პარალელურადაა შეერთებული. პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების საერთო ტევადობა იქნება:

$$C_0 = C_2 + C_3 = 14 + 6 = 20 \text{ მკფ}$$

კონდენსატორების საერთო ტევადობა, როგორც C_1 და C_0 მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების საერთო ტევადობა იქნება:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_0} = \frac{C_0 + C_1}{C_1 \cdot C_0}, \text{ საიდანაც } C = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_0 + C_1} = 4 \text{ მკფ.}$$

ამოცანა 3.

რამდენჯერ შეიცვლება დამუხტული კონდენსატორის ველის ენერგია, თუ ფირფიტებს შორის სივრცეს პარაფინით შევავსებთ?

განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

ა. კონდენსატორი გამორთულია ძაბვის წყაროდან;

ბ. კონდენსატორი მიერთებულია მუდმივი ძაბვის წყაროსთან.

ამოხსნა:

ა. თუ დამუხტული კონდენსატორი გამორთულია წყაროდან მისი მუხტი მუდმივი დარჩება. მის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის შეტანით, ტევადობა ϵ -ჯერ გაიზრდება, ამიტომ კონდენსატორის სანწყისი და საბოლოო ენერგიები მოსახერხებელია გამოვსახოთ ფორმულებით:

$$W_1 = \frac{q^2}{2C_1} \quad \text{და} \quad W_2 = \frac{q^2}{2C_2},$$

სადაც $C_2 = \epsilon C_1$, ამიტომ ენერგია ϵ -ჯერ შემცირდება. ამ დროს ენერგია ხმარდება დიელექტრიკის პოლარიზაციას.

ბ. თუ კონდენსატორი შეერთებულია ძაბვის წყაროსთან, მასზე მუხტების რაოდენობა იცვლება. მის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის შეტანით არ შეიცვლება ძაბვა, ხოლო ტევადობა ϵ -ჯერ გაიზრდება, ამიტომ კონდენსატორის სანწყისი და საბოლოო ენერგიები მოსახერხებელია გამოვსახოთ ფორმულებით:

$$W_1 = \frac{C_1 U^2}{2} \quad \text{და} \quad W_2 = \frac{C_2 U^2}{2}$$

სადაც $C_2 = \epsilon C_1$ ამიტომ ენერგია ϵ -ჯერ გაიზრდება. ენერგიის გაზრდა მოხდება დენის წყაროს მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე, რომელიც ხმარდება დიელექტრიკის პოლარიზაციას.

ამოცანა 4.

ორი ერთნაირი ტევადობის დამუხტული და დაუმუხტავი კონდენსატორი შეაერთეს ერთმანეთთან. როგორ შეიცვლება კონდენსატორების ჯამური ენერგია (სურ. 119)?

ამოხსნა:

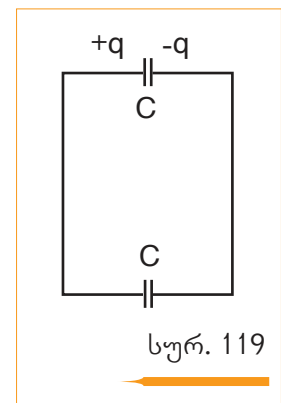
$W_1 - ?$	შეერთებამდე კონდენსატორების ჯამური ენერგია
C	ტოლია პირველი კონდენსატორის ენერგიის $W_0 = \frac{q^2}{2C}$.
q	კონდენსატორების შეერთებისას მათზე მუხტები ტოლად გადანაწილდება და თითოეულზე იქნება $\frac{q}{2}$.
	შეერთების შემდეგ თითოეული კონდენსატორის ენერგია იქნება:

$$W = \frac{q^2}{4 \cdot 2C} = \frac{W_0}{4}.$$

კონდენსატორთა სისტემის ჯამური ენერგია იქნება:

$$W_1 = \frac{W_0}{4} + \frac{W_0}{4} = \frac{W_0}{2}.$$

ამოხსნის მიხედვით, შეერთების შემდეგ კონდენსატორთა სისტემის ჯამური ენერგია შემცირდა სანწყის ენერგიასთან შედარებით, რაც თითქოს ეწინააღმდეგება ენერგიის მუდმივობის კანონს. ამის მიზეზია ის, რომ სისტემა ჩაკეტილი არ არის, ენერგიის კარგვა ხდება მუხტების სწრაფი გადანაწილებისას წარმოქმნილი დენის შესაბამისი ელექტრომაგნიტური იმპულსის გამოსხივებაზე, რომელსაც მოგვიანებით გაეცნობით.



● ამოხსენი ამოცანები

ამოცანა 1.

კონდენსატორში დიელექტრიკის შეტანისას ფირფიტებს შორის დაბვა 60 ვ-დან 20 ვ-მდე შემცირდა. რას უდრის დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევადობა?

ამოცანა 2.

ბრტყელი კონდენსატორის თითოეული ფირფიტის ფართობია 157 სმ^2 . ფირფიტებს შორის არსებული დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევადობა 2-ის ტოლია. ერთმანეთისგან რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ ფირფიტები, რომ კონდენსატორის ტევადობა 80 პფ-ს ტოლი იყოს?

ამოცანა 3.

დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილი 3-ჯერ გაზარდეს. რამდენჯერ შეიცვლება კონდენსატორის ენერგია? განიხილე ორი შემთხვევა:

- ა. კონდენსატორი გამორთულია დაბვის წყაროდან;
- ბ. კონდენსატორი მიერთებულია მუდმივი დაბვის წყაროსთან.

ამოცანა 4.

500 პფ ტევადობის კონდენსატორზე მოთავსებულია 1 ნკ მუხტი. რა სიდიდის პოტენციალთა სხვაობა წარმოიქმნება ფირფიტებს შორის და როგორ შეიცვლება იგი ფირფიტებს შორის მანძილის 2-ჯერ გაზრდით?

ამოცანა 5.

კონდენსატორის ტევადობა $17,7 \text{ ნფ-ია}$, ფირფიტების ფართობი 500 სმ^2 -ია და ამ ფირფიტებს შორის მანძილი 0,1 მმ. რას უდრის დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევადობა, თუ ის მთლიანად ავსებს ფირფიტებს შორის სივრცეს?

ამოცანა 6.

რამდენჯერ შეიცვლება კონდენსატორის ტევადობა, თუ ფირფიტებს შორის პარაფინით გაჟღენთილი ქაღალდის ნაცვლად მოვათავსებთ იმავე სისქის ქარსის ფირფიტას (პარაფინის $\epsilon = 2,1$ და ქარსის $\epsilon = 6$)?

ამოცანა 7.

კონდენსატორები, 2 და 6 მკფ ტევადობით, შეერთებულია მიმდევრობით. რას უდრის ამ სისტემის ტევადობა?

ამოცანა 8.

რამდენჯერ შეიცვლება კონდენსატორის ენერგია, თუ მის ფირფიტებს შორის მანძილს სამჯერ გავზრდით, ხოლო გადაცემული მუხტის სიდიდეს ორჯერ შევამცირებთ?

ამოცანა 9.

16 მკფ ტევადობის ბრტყელი კონდენსატორი ფირფიტების მართობულ სიბრტყეში 4 ტოლ ნაწილად გაჭრეს. მიღებული კონდენსატორები შეაერთეს მიმდევრობით. გამოთვალე კონდენსატორების ბატერიის ელექტროტევადობა.

ამოცანა 10.

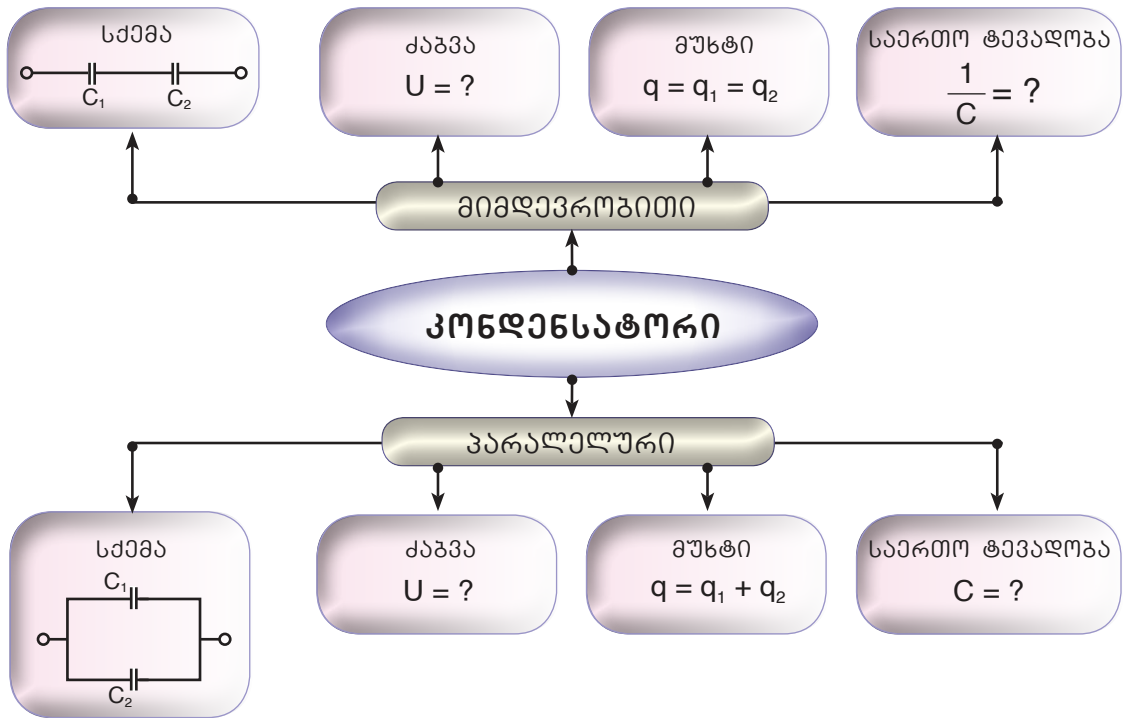
დენის წყაროდან გამორთულ ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მოათავსეს დიელექტრიკი, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა 2-ის ტოლია. დიელექტრიკის მოთავსებამდე კონდენსატორის ენერგია იყო 20 მკჯ. გამოთვალე კონდენსატორის ენერგია დიელექტრიკის მოთავსებისას იმავე დენის წყაროსთან შეერთებამდე და შეერთების შემდეგ.

ამოცანა 11.

10 პფ ტევადობის კონდენსატორის შემონაფენზე 0,3 ნკ მუხტია. რა სიჩქარეს შეიძენს ელექტრონი კონდენსატორის ერთი შემონაფენიდან მეორემდე მისვლისას, თუ მისი საწყისი სიჩქარე 0-ის ტოლია?

2.26. შემაჯამებელი გაკვეთილი

1 იმჯელე კონდენსატორების შეერთების სახეობების შესახებ და დაასრულე სქემა



2 იმჯელე და აზრობრივად დაუკავშირე ფიზიკურ სიდიდეებს ფორმულები.

- განმხილვითი გამტარის ელექტროტევადობა;
- გამტარი სფეროს ელექტროტევადობა;
- კონდენსატორის ტევადობა;
- ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა;
- კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია;
- ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე.

	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ
1						
2						
3						
4						
5						
6						

- ა. $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$
- ბ. $W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$
- გ. $C = \frac{q}{\phi}$
- დ. $w = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2}$
- ე. $C = \frac{q}{U}$
- ვ. $C = 4\pi \epsilon \epsilon_0 R$

ელექტროტექნიკის კვლევა. კონდენსატორის მოდელი



ბათუმი. ზღვის სანაპირო. „ნინოსა და ალის“ ქანდაკება. მეათეკლასელი ახალგაზრდების ჯგუფი, ციფრული ფოტოკამერით, ქანდაკებასთან სურათებს იღებდნენ. მოაზროვნე ახალგაზრდებს შორის ერთ-ერთმა მეტსახელად „აინშტაინამ“ მეგობრებს კითხვებით მიმართა: „რომელმა თქვენგანმა იცის, რომელ ხელსაწყოს ამსგავსებენ „ნინოსა და ალის“ ქანდაკებას და რომელი ხელსაწყო გამოიყენება ფოტოკამერის ნათურის ასანთებად“?



ამ კითხვებით დაინტერესებულმა მოაზროვნეებმა გადანევიტეს უფრო ღრმად შეესწავლათ ელექტროსტატიკა, რომელიც შესაძლებლობას მისცემდა სრულფასოვანი პასუხი გაეცათ ამ კითხვებზე.

ფიზიკის გაკვეთილზე მიღებული ცოდნის გამოყენებით გაიხსენეს, რომ არსებობს ქანდაკების მსგავსი ხელსაწყო — ჰაერიანი ცვლადი ტევადობის კონდენსატორი, რომელზეც შესაძლებელია მუხტებისა და შესაბამისად ენერგიის დაგროვება.

● მარტივი ექსპერიმენტის გეგმის მიხედვით აანეკვ კონდენსატორის მოდელი.

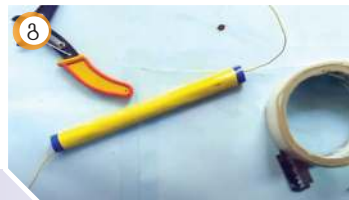
კონდენსატორის მოდელის აწყობა

I. მოცემული გაქვს: ქაღალდის ფურცლები, ფოლგის გრაგნილი, ნებო, მაკრატელი, 20 სმ-ის სიგრძის ლითონის მავთული, ფერადი ფურცლები (სასურველია ნებოვანი), სკოჩი.

მსვლელობა: გამოჭერი თაბახის ფურცელზე ოდნავ მცირე ზომის ფოლგის სამი ფურცელი. წაუსვი ნებო თაბახის ფურცელს და ზედ მჭიდროდ დააწე ფოლგის ფურცელი. მის ერთ-ერთ კუთხეში სკოჩით დააკარი იზოლაციაგაცლილი მავთულის ბოლო. წაუსვი ნებო სხვა თაბახის ფურცელს და დააწე ფოლგის ფურცელს (რომელზეც გამტარია დამაგრებული). კვლავ წაუსვი ნებო იმავე თაბახის მეორე გვერდს და მჭიდროდ დააწე ფოლგა. ფოლგის მეორე კუთხეში (რომელიც მდებარეობს პირველი გამტარის დამაგრების წერტილიდან დიამეტრულად) სკოჩით დაამაგრე მეორე მავთულის იზოლაციაგაცლილი ბოლო. მავთულიანი ფოლგა დაფარე ნებონასმული თაბახით და დაახვიე ისე, რომ გრაგნილი მიიღო.

კონდენსატორის მოდელს გარედან შემოახვიე ფერადი ქაღალდები.

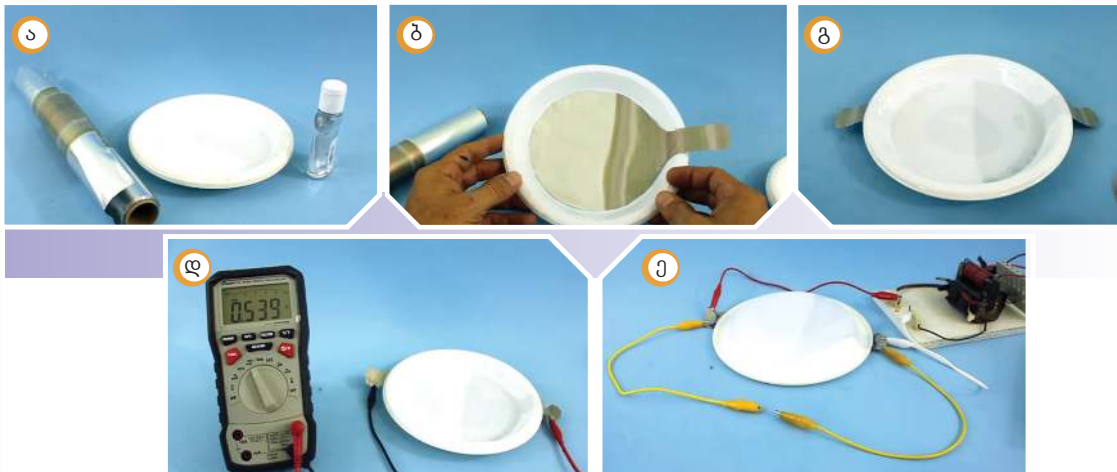
ანალოგიურად შეგიძლია ააწყო სხვადასხვა ზომის რამდენიმე კონდენსატორი.



II. მოცემული გაქვს: ფოლგის გრაგნილი, სამი ერთჯერადი თეფში, მაკრატელი, საბავშვო ზეთი, ლითონის მავთული, სკოჩი (სურ. ა).

მსვლელობა: გამოჭერი ფოლგისაგან თეფშის საყრდენი ფართობის ზომის ორი წრე შეერილთ. წაუსვი თეფშს ფსკერზე ზეთი და მჭიდროდ დააკარი ფოლგის წრე (სურ. ბ). შემდეგ მეორე თეფშის ფსკერს წაუსვი ზეთი და ძირით მათავსე ფოლგიან თეფშზე. იმავე თეფშს ზედაპირზე წაუსვი ზეთი და დააკარი ფოლგა ისე, რომ ფოლგის შვერილებს ურთიერთსაწინააღმდეგო მდებარეობა ჰქონდეთ (სურ. გ). წაუსვი მესამე თეფშის ძირს ზეთი და მათავსე ფოლგიან თეფშზე. გამტარების ბოლოები გაასუფთავე იზოლაციისაგან და სკოჩით დაამაგრე ფოლგის შვერილებზე (სურ. დ, ე).

ანალოგიურად შეგიძლია ააწყო რამდენიმე კონდენსატორი.



ექსპერიმენტი

კონდენსატორების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

მსვლელობა: თვითნაკეთი დაუმუხტავი კონდენსატორები შეაერთე ისე, რომ:

- ა. გაიზარდოს საერთო ტევადობა,
- ბ. შემცირდეს საერთო ტევადობა.

თითოეული შეერთებისათვის დახაზე შესაბამისი სქემა (თვითნაკეთი დამუხტული კონდენსატორის გამოყენება მასწავლებლის გარეშე მიზანშეწონილი არ არის, სახიფათოა).

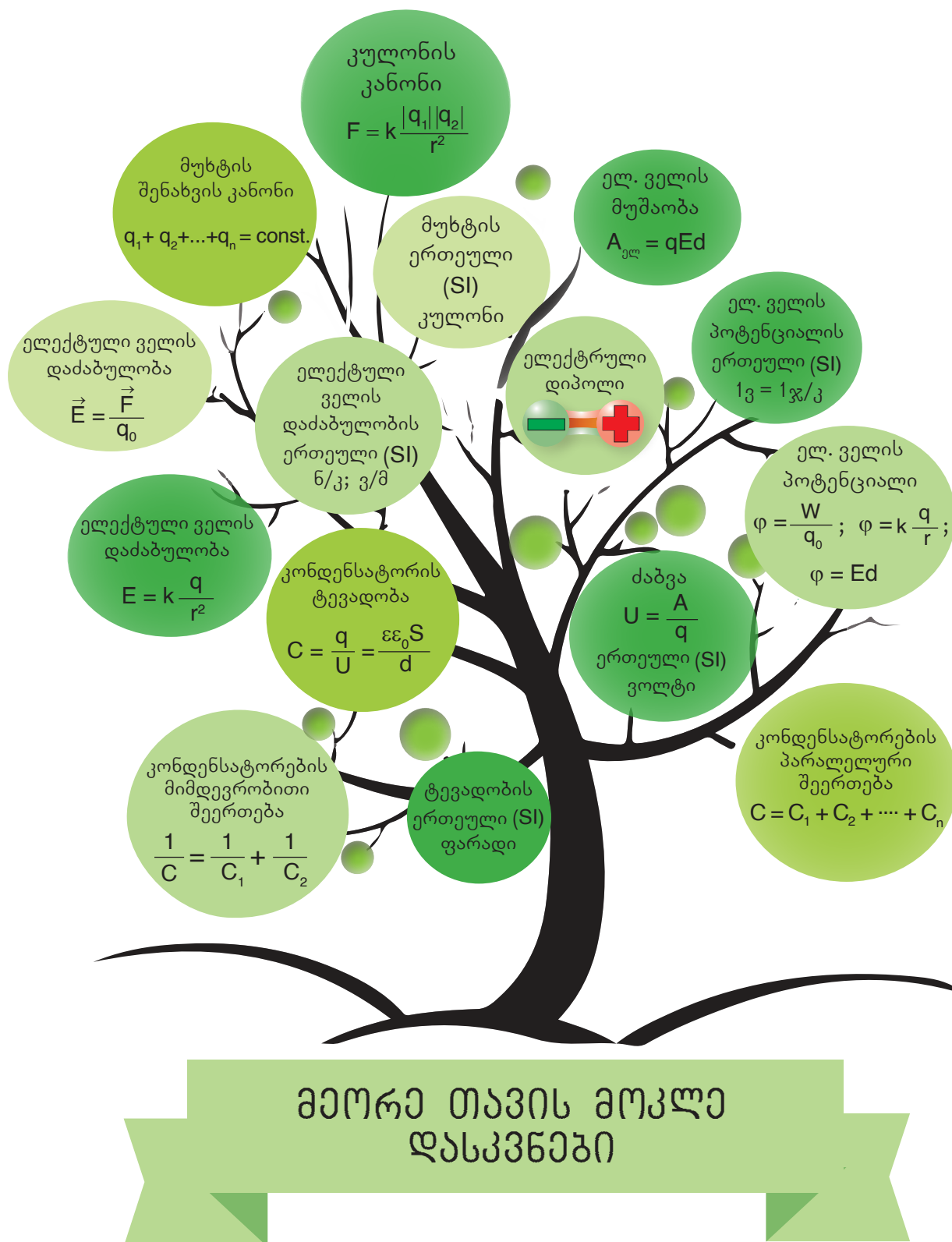
აღწერე შენ მიერ შესრულებული სამუშაო და უპასუხე კითხვებს:

1. კონდენსატორების მოდელში, რომელია შემონაფენები და დიელექტრიკი?
2. კონდენსატორების როგორ შეერთებას ეწოდება მიმდევრობითი და რომელი ფორმულით გამოითვლება საერთო ტევადობა?
3. კონდენსატორების როგორ შეერთებას ეწოდება პარალელური და რომელი ფორმულით გამოითვლება საერთო ტევადობა?
4. იმსჯელე კონდენსატორების გამოყენების შესახებ.

ექსპერიმენტების ჩატარების თანმიმდევრობისთვის შეგიძლია ისარგებლო ვიდეოებით ინტერნეტიდან:

<https://www.youtube.com/watch?v=n1hP3HKje3k>

https://www.youtube.com/watch?v=JOaVpnG_pQ4



ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე (ρ) 20°C-ზე

ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³	ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³
აგური	1800	1,8	ოქრო	19300	19,3
ალუმინი	2700	2,7	ორგანული მინა	1200	1,2
გრანიტი	2600	2,6	პლატინა	21500	21,5
ვერცხლი	10500	10,5	რეზინი	910-1400	0,9-1,4
თითბერი	8500	8,5	სანერი ქალაღი	1000	1,0
თუჯი	7000	7,0	სპილენძი	8900	8,9
თუთია	7100	7,1	სუფრის მარილი	2160	2,16
კალა	7300	7,3	ფაიფური	2300	2,3
კორპი	240	0,24	ქარვა	1070	1,07
მინა ფანჯრის	2500	2,5	ყინული	900	0,90
ნიკელი	8900	8,9	ცარცი	2200	2,2
ბენზინი	710	0,71	წყალი	1000	1,0
მანქანის ზეთი	900	0,90	ჰაერი (0°C-ზე)	1,290	0,00129
სპირტი	800	0,80	წყლის ორთქლი (100°C-ზე)	0,590	0,00059
გლიცერინი	1260	1,26	ვერცხლისწყალი	13600	13,6
რკინა, ფოლადი	7800	7,8	მზესუმზირის ზეთი	930	0,93
რძე	1030	1,03	ზღვის წყალი	1030	1,03
ტყვია	11300	11,3	შაქარი-რაფინირებული	1600	1,6
წყალბადი	0,09	0.00009	ჰელიუმი	0,18	0,00018
მკვდარი ზღვის წყალი	1190	1,19	ფისი	2023	2,023
კუპრი	1016	1,016	ჟანგბადი	1,430	0,00143

ზოგიერთი ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა

ნივთიერება	ϵ	ნივთიერება	ϵ
ჰაერი	1.0006	რეზინი	4
ნავთი	2.1	ფაიფური	5
ზეთი	2.2	მინა	5.5
პარაფინი	2	ქალაღი	2,5
პოლიეთილენი	2.3	ქარვა	12.8
ეპონიტი	2.7	გამოხდილი წყალი	81
ორგანული მინა	3	მარმარილო	9

მცირე განმარტებითი ლექსიკონი

ანიჰილაცია – ფიზიკური პროცესი, როდესაც ნაწილაკი და მისი შესაბამისი ანტინაწილაკი ურთიერთქმედებისას გარდაქმნიებიან ფოტონად ან სხვა ნაწილაკად – სხვა ბუნების ფიზიკური ველის კვანტად.

დრო – მატერიის არსებობის ერთ-ერთი ძირითადი ფორმაა, რომელიც მოვლენების კანონზომიერი მონაცვლეობით გამოიხატება. სივრცე და დრო განუყოფლადაა ერთმანეთთან დაკავშირებული – ყველაფერი სადღაც და ოდესღაც ხდება.

ეკრანილება – ფრანგული სიტყვაა – დანადგარების, ბიოლოგიური ობიექტების და ადამიანების დაცვა ელექტრული, ელექტრომაგნიტური და სხვა სახის გამოსხივებისგან. ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისგან დაცვას აწარმოებენ დამინებული ლითონით ან ლითონის ეკრანით (ბადით), რომელშიც ათავსებენ პარაზიტული (ხელშემშლელი) ველის წყაროს, ან მოწყობილობას, რომლის დაცვაც არის საჭირო მაგნე გამოსხივებისგან.

ელემენტარული მუხტი – მინიმალური მუხტი, რო მელიც ელემენტარულ ნაწილაკებს (ელექტრონს, პროტონს) გააჩნიათ. ელექტრონის მუხტია $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ კ, პროტონის მუხტია $p = 1,6 \cdot 10^{-19}$ კ.

ელექტრონის მუხტი – ელექტრული მუხტის გაყოფადობის ზღვრული სიდიდე, რის გამოც მას უწოდებენ ელემენტარულ მუხტს.

ელექტრული მუხტი – ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ინტენსივობის (ძალის) განმსაზღვრელი ფიზიკური სიდიდეა.

ელექტრული მუხტი დისკრეტულია – დაკვანტულია, ანუ ყველა სხეული შეიცავს ელემენტარული მუხტის ჯერად მუხტს.

ელექტრული ჩამინება, დამინება – მანქანების, აპარატების, ხელსაწყოებისა და მისთანების ელექტრული შეერთება მიწასთან. დანიშნულების მიხედვით განასხვავებენ დამცავ ჩამინებას (ადამიანებს იცავს ელექტრული დენით დაზიანებისაგან, მაგ., ელექტრული მანქანებისა და აპარატების კორპუსების ჩამინება) და მუშა ჩამინებას (მაგ., ტრანსფორმატორების ან რადიოტექნიკური ანტენების, ნეიტრალური წრედების ჩამინება). ჩამინება ხდება ჩამამინებლის (ფოლადის მილები, ზოლების, მავთულების და ა. შ.) დახმარებით.

ელვა – გიგანტური ელექტრული განმუხტვა ატმოსფეროში, რომელსაც თან სდევს ქუხილი. ელვას წინ უსწრებს ღრუბლის დაელექტროება, სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული ნაწილაკების განცალკევება და მნიშვნელოვანი სიდიდის მუხტების წარმოქმნა.

ვაკუუმი – ყოველდღიურ ცხოვრებაში არის რაიმე მოცულობა სივრცეში, რომელშიც (თითქმის) არ არის მატერია. ტერმინი მომდინარეობს ლათინური სიტყვიდან, რომელიც ცარიელს ნიშნავს. კლასიკუ-

რი იდეალური ვაკუუმის ცნება, რომელიც გულისხმობს, რომ აირის წნევა უნდა იყოს ნულის ტოლი, მხოლოდ აბსტრაქტული ცნებაა და რეალობაში არასოდეს რეალიზდება.

ინტენსიურობა – დაძაბულობა, გაძლიერება.

კვანტი – ფიზიკაში უწოდებენ რალაც სიდიდის განუყოფელ ნაწილს. ზოგადი სახელია ენერგიის გარკვეული პორციების. საფუძვლად უდევს წარმოდგენა კვანტურ მექანიკაში, რომ ზოგიერთ ფიზიკურ სიდიდეებს შუძლიათ მიიღონ მხოლოდ გარკვეული სიდიდეები (ამბობენ, რომ ფიზიკური სიდიდე იკვანტება). ცალკეულ შემთხვევებში ეს სიდიდე ან მისი ცვლილების ბიჯი შეიძლება იყოს მხოლოდ ჯერადი რომელიმე ფუნდამენტური მნიშვნელობის. ამ უკანასკნელს უწოდებს კვანტი. მაგალითად, ფოტონი არის ელექტრომაგნიტური ველის კვანტი, გრავიტონი – ჰიპოთეტური კვანტი გრავიტაციული ველის, ქრონონი – დროის ჰიპოთეტური კვანტი.

კოლაიდერი – ნაწილაკების მძლავრი ამაჩქარებლის ერთ-ერთი ტიპი, რომელიც აგებულია საფრანგეთისა და შვეიცარიის საზღვარზე.

მატერია – ყველაფერი, რაც სამყაროში არსებობს ჩვენგან დამოუკიდებლად.

რობოტი – მანქანა, რომელსაც განსაზღვრული პროგრამის მიხედვით შეუძლია სხვადასხვა ამოცანის დამოუკიდებლად შესრულება. ტერმინი „რობოტი“ შემოიღო ჩეხმა მწერალმა კარელ ჩაპეკმა.

სასინჯი მუხტი – ერთეულოვანი დადებითი წერტილოვანი მუხტი, რომელსაც იყენებენ ელექტროსტატიკური ველის აღმოსაჩენად და შესასწავლად. აღნიშნავენ q_+ -ით.

სივრცე – სამგანზომილებიანი უსაზღვრო არე, რომელშიც მიმდინარეობს მოვლენები და სხეულებს აქვთ ერთმანეთის მიმართ გარკვეული მდებარეობა.

სუპერპოზიციის პრინციპი – მტკიცებულება, რომლის თანახმადაც რამდენიმე დამოუკიდებელი ფაქტორის ეფექტი ცალკე აღებული ყოველი ფაქტორით გამოწვეული ეფექტების ჯამია.

ცენტრული ძალა – ძალა, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ურთიერთქმედ სხეულებს შორის მანძილზე და მიმართულია მათ ცენტრებს შორის შემავრთებელი წრფის გასწვრივ.

ციკლოტრონი – ნაწილაკების ამაჩქარებლის ერთ-ერთი ტიპი, რომელიც გამოიგონა ამერიკელმა მეცნიერმა ერნესტ ლოურენსმა 1932 წელს.

წერტილოვანი მუხტი – დამუხტული სხეული, რომლის ზომები გაცილებით ნაკლებია იმ მანძილთან შედარებით, რომელზეც განიხილება სხვა მუხტებთან ურთიერთქმედება.

ამპერი ანდრე მარი - გვ. 26
ახლოქმედების თეორია - გვ. 26
არაპოლარული დიელექტრიკი - გვ. 51
ბეჯამენ ფრანკლინი - გვ. 18
გამტარი — გვ. 48
გრეხითი სასწორი - გვ. 30
დაელექტროება - გვ. 18
დამუხტვის ხერხები - გვ. 22, 23
დაძაბულობა - გვ. 42
დიელექტრიკის პოლარიზაცია - გვ. 52
დიელექტრიკული შეღწევადობა - გვ. 52
ელექტრული ველი - გვ. 26
ელექტრული ძალა - გვ. 42
ელექტროსტატიკა - გვ. 23
ელექტროსტატიკური ველი - გვ. 26
ელექტროსკოპი - გვ. 27
ელექტრული დიპოლი - გვ. 51
ელექტრომეტრი - გვ. 27
ელექტრული მუდმივა - გვ. 31
ელექტროსტატიკური ინდუქცია - გვ. 49
ელექტრონი - გვ. 18
ელემენტარული მუხტი - გვ. 19
ელექტრული მუხტი - გვ. 19
ელექტროტევადობა - გვ. 67
ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე - გვ. 73
ერთგვაროვანი ველი - გვ. 44
ენერგია კონდენსატორის ელექტრული ველის - გვ. 72
ვოლტი - გვ. 53
თაღეს მიღეთელი - გვ. 18
თავისუფალი ელექტრონები - გვ. 48
იონი - გვ. 18
კულონი - გვ. 30, 31
კულონის კანონი - გვ. 31
კულონური ძალა - გვ. 31
კონდენსატორი - გვ. 68
კონდენსატორის შემონაფენი - გვ. 70
კონდენსატორის მუხტი - გვ. 70
კონდენსატორის ელექტროტევადობა - გვ. 71
კონდენსატორების პარალელური შეერთება - გვ. 74
კონდენსატორების მიმდევრობითი შეერთება - გვ. 75
მუშაობა ელექტრული ძალის - გვ. 54

მუხტების ადიტიურობა - გვ. 19
მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე - გვ.49, 70
მუხტის შენახვის კანონი - გვ. 23
მუხტის დისკრეტულობა - გვ. 19
მილიკენის ცდა - გვ.25
პოლარული დიელექტრიკი - გვ. 51
პოტენციალური ველი - გვ. 55
პოტენციალური ენერგია - გვ. 56
პოტენციალი - გვ. 57
პოტენციალთა სხვაობა - გვ. 60
სასინჯი მუხტი - გვ. 42
სუპერპოზიციის პრინციპი - გვ. 43
ფარადი - გვ. 67
ფარადეი მაიკლ - გვ. 26
ცენტრული ძალა - გვ. 31
ძაბვა - გვ. 60
ძალწირი - გვ. 44
ნერტილოვანი მუხტი - გვ. 31

თავი 2

2.1

1. $2 \cdot 10^{10}$ ელექტრონი
2. $-9,6 \cdot 10^{-9}$ კ
3. $5 \cdot 10^{11}$ ელექტრონი

2.3

1. $6e$
2. ა – უარყოფითი,
ბ – დადებითი
3. $q/2$

2.4

1. $3,64 \cdot 10^{-30}$ კგ; $14e$
2. $3e$

2.6

2. $8,1 \cdot 10^{-6}$ გ
3. 1,25-ჯერ

2.7

1. ა — 16-ჯერ გაიზრდება,
ბ — 16-ჯერ შემცირდება
2. 1,5 სმ
3. $7 \cdot 10^{-6}$ კ
4. $2,2 \cdot 10^{39}$ -ჯერ
5. $2,7 \cdot 10^{-7}$ გ
6. 15/16
7. 10 სმ პირველი მუხტიდან
8. $-2q$
9. 7,5 მმ
10. 6 სმ
11. 1,5 გ
12. 2 მკვ

2.9

1. $5 \cdot 10^3$ გ/კ
2. $9 \cdot 10^6$ გ/კ
3. 0,25 გ
4. 2 სმ

2.10

1. $9 \cdot 10^{-3}$ გ
2. 4 kg/a^2
3. 50 კნ/კ

2.11

1. პირველი მუხტიდან 1 მ
2. პირველი მუხტიდან 4 სმ
3. 10 კნ/კ
4. 5 სმ
5. 2925 ნ/კ; 675 ნ/კ
6. 280 ნ/კ
7. 24 მკნ
8. 14 ერთ.; 6 ერთ.
9. $1,6 \cdot 10^{15}$ ელექტრონი

2.11

1. 0; 22,5 კნ/კ
2. 73 გ
3. 4 სმ

2.12

1. 2,2-ჯერ შემცირდება
2. 9-ჯერ გაიზრდება
3. 2,5
4. 2,3 სმ

2.14

1. $3 \cdot 10^{-5}$ ჯ
2. 18 ჯ; 18 ჯ

2.15

- $\approx 3,5$ კვ/მ; $\approx 5,6$ კვ

2.17

1. – 10 მკვ
2. 25 კვ/მ

2.18

1. $4 \cdot 10^{-8}$ კ

2. 0,1 მგ
3. 10^{-3} ჯ
4. 5000 გ
5. $\approx 1 \cdot 10^7$ მ/წმ
6. 300 გ
7. 540 გ
8. $1,7 \cdot 10^{-3}$ გ/კ
9. 2,275 კვ
10. 0,8 მკნ
11. -30 გ

2.20

1. $2,9 \cdot 10^{-3}$ კ
2. 4 მკვ

2.22

1. 1,8 ნგ
2. 1 სმ

2.23

1. 10^{-3} ჯ
2. 15 ნგ

2.24

1. ა. 9 მკვ; ბ. 1,5 ნგ
2. 4,27-ჯერ მეტია
3. 1 მკვ

2.25

1. 3
2. 3,5 მმ
3. ა. $1/3$; ბ. 3
4. 23; 2-ჯერ
5. 4
6. 2,86-ჯერ
7. 1,5 მკვ
8. $4/3$
9. 1 მკვ
10. 40 მკვ
11. $3,2 \cdot 10^6$ მ/წმ



ISBN 978-9941-496-38-7



9 789941 496387