

მეცნიერება

10

მოსწავლის ნიბნი
I ნაწილი

ფიზიკა

ქეთევან ტატიშვილი



საქართველოს სახელმწიფო ჰიმნი

„თავისუფლება“

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

ქეთევან ტატიშვილი

ფიზიკა

10

მოსწავლის წიგნი

I ნაწილი

გრიფინიჭებულია საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების
სამინისტროს მიერ 2022 წელს



ქეთევან ტატიშვილი

ფიზიკა 10

მოსწავლის წიგნი

რედაქტორები

ლალი ბაქრაძე

სოლომონ ნოზაძე

დიზაინი და დაკაბადონება

ალექსანდრე ჯიქურიძე

გარეკანის დიზაინი

ნინო ხვინგია, ალექსანდრე ჯიქურიძე

© გამომცემლობა „დიოგენე“, 2022, | გამოცემა

ყველა უფლება დაცულია

ISBN 978-9941-11-733-6

გამომცემლობა „დიოგენე“ – თბილისი, აფაქიძის ქ. 9

ტელეფონი 221 33 21

[www. diogene.ge](http://www.diogene.ge)

შინაარსი

თავი I. ელექტრული მოვლენები

შესავალი. ფიზიკის საგანი და კვლევის მეთოდები	5
ამბავი რწყილისა და ჭიანჭველასი, ანუ სამყაროს დამატებითი განზომილებები	11
1.1 ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება	14
1.2 ელექტრული მოვლენები	19
1.3 ელექტროსკოპი. გამტარები და არაგამტარები	23
პროექტი №1: სტატიკური ელექტრობა – სახიფათო მეგობარი	28
1.4 ელექტრული მუხტის თვისებები	30
1.5 კულონის კანონი	35
1.6 ფიზიკა ამოცანებში: კულონის კანონი	39
პროექტი №2: ელექტროსტატიკური გენერატორი	45
შეამოწმე შენი ცოდნა. ტესტი №1	49
I თავის დამატებითი კითხვები, ამოცანები	52
I თავის მოკლე შინაარსი	61

თავი II. ელექტრული ველი

პროექტი №3: ფარადეის გალია	63
2.1 ელექტრული ველი	67
2.2 ელექტრული ველის ძალნიერები	72
2.3 ფიზიკა ამოცანებში: ველების სუპერპოზიციის პრინციპი	76
პროექტი №4: ვერსორიუმი – ელექტროსკოპის შორეული წინაპარი	79
2.4 გამტარები ელექტროსტატიკურ ველში	82
2.5 დიელექტრიკები ელექტროსტატიკურ ველში	87
2.6 ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა	92
2.7 ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი. დაბვა	97
დედამიწის ელექტრული ველი	106
2.8 ფიზიკა ამოცანებში: ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა. პოტენციალი. დაბვა	107
პროექტი №5: ქილა, რომელმაც ევროპა შეძრა	115
2.9 კონდენსატორი	119
2.10 ამოცანები ფიზიკაში: კონდენსატორის ელექტროტევადობა	125
შეამოწმე შენი ცოდნა. ტესტი №2	129
II თავის დამატებითი კითხვები, ამოცანები	131
II თავის მოკლე შინაარსი	145
საგნობრივი საძიებელი	149
თავის შემაჯამებელი ტესტების პასუხები	157
დამატებითი კითხვების, ამოცანების პასუხები	157
ფიზიკურ სიდიდეთა ცხრილები	164
დანართი 1. ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილი	165
დანართი 2. კვლევის ანგარიშის ფორმა	166

სახელმძღვანელოში მოცემული მასალა თქვენგან აქტიურ მონაწილეობას მოითხოვს. ამ მიზნით მასში ჩართულია მრავალფეროვანი სავარჯიშოები, რომელთაგან ნაწილს მასწავლებლის ხელმძღვანელობით მთელი კლასი ერთად შეასრულებს, ნაწილი კი ინდივიდუალური, წყვილებში და ჯგუფური მუშაობისათვის არის განკუთვნილი. მათი ამოცნობა არ გაგიჭირდებათ, რადგან თითოეული მათგანი წიგნში შესაბამისი სიმბოლოთი (ლოგოთი) არის აღნიშნული:

1 დავალება და მისი ნომერი
(თუ ლოგო არ ადევს, ის ინდივიდუალური სამუშაოა)



წყვილებში სამუშაო



ჯგუფური სამუშაო



ცდის ჩატარება სიფრთხილეს მოითხოვს!



საინტერესო, დამატებითი ინფორმაცია

გამაფრთხილებელი ნიშნები



ცხელი ზედაპირი



მომწამვლელი ნივთიერება



ცეცხლსაშიშა



ვარდნილი სხეულების საფრთხე



მსხვერვალი ჭურჭელი



მჩხვლეტავი საგნები



სტატიკური ელექტრობა

ცდის ჩატარებისას საჭირო აღჭურვილობა:



წინსაფარი



ნილაბი



ხელთათმანები



დამცავი სათვალე

- შელდონ, შეგიძლია, ცოტა ფიზიკა მასწავლო?
- ცოტა? ფიზიკა არ შეიძლება იყოს „ცოტა“. ეს მეცნიერება მთელ სამყაროს მოიცავს, დაწყებული ელემენტარული ნაწილაკებიდან, დამთავრებული ზეახალი ვარსკვლავებით... მბრუნავი ელექტრონებიდან მბრუნავ გალაქტიკებამდე...

ეს დიალოგი ამერიკული სერიალის, „დიდი აფეთქების თეორიის“ („The Big Bang Theory“), ერთ-ერთი ეპიზოდიდანაა. სერიალი კომედიურ ჟანრს მიეკუთვნება, თუმცა ნაწყვეტს დიალოგიდან სრულიად სერიოზული შინაარსი აქვს...

1. ფიზიკის კვლევის საბანი

ხშირად ყველაფერს, რაც სამყაროში ნამდვილად არსებობს, **მატერიას** უწოდებენ. ამ თვალსაზრისით, ისეთი ცნებები, როგორიცაა **მატერია, მატერიალური სამყარო, ობიექტური რეალობა**, სინონიმებია. **მატერია ობიექტური რეალობაა**, ანუ ის ადამიანის ცნობიერებისგან დამოუკიდებლად არსებობს და მისი შეგრძნების ორგანოებზე მოქმედებს.

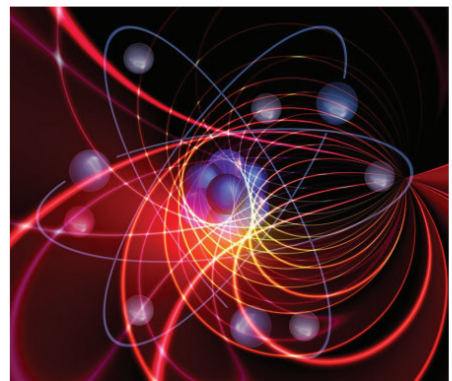
მატერიალურია ჩვენ გარშემო არსებული ნებისმიერი სხეული: ცხოველთა და მცენარეთა სამყარო, შენობები, მანქანა-დანადგარები, წყალი, ჰაერი, პლანეტები, ვარსკვლავები და ა. შ. მატერიალურია ბგერაც, სინათლეც და ელექტრული დენიც, მიუხედავად იმისა, რომ ისინი სხეულები არ არიან.

მატერიის ფორმას, რომლისგანაც სამყაროში არსებული ფიზიკური სხეულები შედგება, **ნივთიერება** ჰქვია. მატერიის არსებობის განსხვავებული ფორმაა – **ველი**. ის მატერიალურია იმ თვალსაზრისით, რომ ნამდვილად არსებობს (ველს საკმაოდ რთულად გასააზრებელი შინაარსი აქვს, თუმცა სასკოლო ფიზიკის კურსში ჩვენ მხოლოდ იმ უმარტივეს შემთხვევებს შევისწავლით, რომლებიც მეცნიერებს ველის კონცეფციის გააზრებაში დაეხმარა).

მატერიის ძირითადი თვისება განუწყვეტელი მოძრაობაა. მოძრაობაში ყველა ის ცვლილება იგულისხმება, რომელიც ბუნებაში მიმდინარეობს (ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილება, მცენარეებისა და ცხოველების ზრდა, ნივთიერების ქიმიური გარდაქმნები, სინათლისა და ბგერის გავრცელება, ელექტრული და მაგნიტური მოვლენები და ა.შ.).

ყველა ცვლილებას, რომელიც მატერიალურ სამყაროში ადამიანის ჩარევის გარეშე ხდება, **ბუნების მოვლენა** ჰქვია.

ბუნებაში მიმდინარე ნებისმიერი ცვლილება (მოძრაობა) სივრცესა და დროში ხდება (მაგ., ყოველი სხეული დროის ნებისმიერ მომენტში სივრცის რომელიმე წერტილში იმყოფება. ვამბობთ, რომ სხეული მოძრაობს, თუ ის დროის განმავლობაში სხვა სხეულების მიმართ სივრცეში ადგილმდებარეობას იცვლის).



სურ. 1. მიკროსამყარო



სურ. 2. მაკროსამყარო



სურ. 3. ციური სხეულების სამყარო

ფიზიკის კვლევის საგანი მთელი სამყაროა, რომელიც შეიძლება, პირობითად, სამ ნაწილად დავყოთ:

მიკროსამყარო: მოლეკულები, ატომები და მათი შემადგენელი ნაწილაკები;

მაკროსამყარო: დაკვირვების დროს თვალით მისაწვდომი, ჩვენ გარშემო არსებული ჩვეულებრივი სხეულები: ქვიშის მარცვლები, ქვა, მთა, შენობა, პლანეტები და ა.შ.

ციური სხეულების სამყარო: ვარსკვლავები, გალაქტიკები, ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების გროვები, შავი ხვრელები და ა.შ.

ფიზიკა ის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის სამყაროს, მის კანონზომიერებებს, მატერიისა და ენერგიის თვისებებს, მოძრაობას (ცვლილებას) სივრცესა და დროში.

2. კვლევის სამეცნიერო მეთოდი

ადამიანი ბუნებით ცნობისმოყვარეა. მას აინტერესებს ყველაფერი, რაც გარემომცველ სამყაროში ხდება, უჩნდება კითხვები და ეძებს პასუხებს: რატომ ხდება ესა თუ ის მოვლენა? რა არის მისი გამომწვევი მიზეზი და რა შედეგი მოჰყვება მას?

სწორედ კითხვებზე პასუხების ძიების პროცესია სამეცნიერო საქმიანობა, რომელიც ცოდნის დაგროვებას ემსახურება. სამეცნიერო ცოდნა კი ადამიანს ეხმარება თავისი მიზნების განხორციელებაში, მაგ., ისეთი მოწყობილობების შექმნაში, რომლებიც მას ფიზიკურ და გონებრივ შრომას გაუადვილებს, ენერგიის ახალ-ახალი წყაროების აღმოჩენაში, სამყაროს დაბადებისა და ევოლუციის ეტაპების კვლევაში და ა.შ.

რა გზით დავაგროვოთ სამეცნიერო ცოდნა? ამ გზას **სამეცნიერო მეთოდს** უწოდებენ. **სამეცნიერო მეთოდი** კვლევის მოწესრიგებული პროცესია, რომლის დროსაც მეცნიერი თანამიმდევრულად გადის რამდენიმე ეტაპს, კითხვის დასმიდან დასაბუთებული პასუხის მიღებამდე.

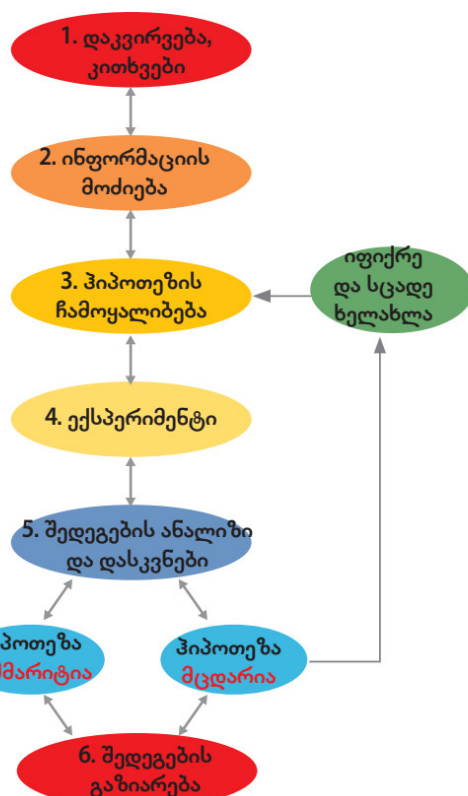
მე-4 სურათზე მოცემულ დიაგრამაზე სქემატურადაა გამოსახული **სამეცნიერო მეთოდის ძირითადი ეტაპები**:

1. დაკვირვება. კითხვები. ადამიანმა მრავალი მოვლენის შესახებ ცოდნა დაკვირვების შედეგად მიიღო. მეცნიერები უცნობი მოვლენის შესწავლას ზოგადი დაკვირვებით იწყებენ. ამ დროს **საინტერესო შეკითხვებიც** უჩნდებათ.

2. ინფორმაციის მოძიება. კითხვებზე პასუხების მისაღებად მკვლევარი პირველ რიგში სხვა მეცნიერთა მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგებს ეცნობა, მოიძიებს გამოქვეყნებულ მასალებს (ბეჭდურსა თუ ინტერნეტურს). ეს იმისთვის სჭირდება, რომ სამოქმედო გეგმა შეადგინოს და არ გაიმეოროს სხვათა მიერ დაშვებული შეცდომები.

3. ჰიპოთეზის ჩამოყალიბება. კითხვებზე სავარაუდო პასუხების ძიებისას მეცნიერი გამოთქვამს ჰიპოთეზას, ვარაუდს იმის შესახებ, თუ რა არის, მისი აზრით, მოვლენის გამომწვევი მიზეზი, როგორ წარიმართება იგი შემდგომში, რა შედეგი მოჰყვება მას.

4. ექსპერიმენტი. ფიზიკა ექსპერიმენტული მეცნიერებაა. მოვლენებზე დაკვირვების შედეგად გამოთქმული ჰიპოთეზის ჭეშმარიტებას მეცნიერები აუცილებლად ექსპერიმენტის საშუალებით ამოწმებენ: მოვლენის კვლევას ლაბორატორიაში, ხელოვნურად შექმნილ პირობებში აგრძელებენ და ცდას ატარებენ. ჰიპოთეზის ჭეშმარიტების დასადგენად მათემატიკურ ანალიზსა და მოვლენის კომპიუტერულ მოდელირებასაც მიმართავენ. სამეცნიერო ექსპერიმენტი სანდოა მაშინ, როცა ის მიუკერძოებელია და ობიექტური (ანუ, როცა მისი შედეგი მეცნიერის სურვილებსა და მოლოდინებზე დამოკიდებული არ არის), როცა ის იმდენად კარგადაა აღწერილი, რომ სხვა მეცნიერებს მისი ხელახლა ჩატარება და შედეგების გადამოწმება მარტივად შეუძლიათ.



სურ.4 სამეცნიერო მეთოდის ეტაპები

5. შედეგების ანალიზი და დასკვნები. სამეცნიერო ექსპერიმენტი შეკითხვაა, რომელსაც მეცნიერი ბუნებას უსვამს. ექსპერიმენტის შედეგების ანალიზი სამეცნიერო მეთოდის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ეტაპია: სწორედ ამ ეტაპზე ხვდება მეცნიერი, თუ რას პასუხობს ბუნება დასმულ კითხვაზე...

შედეგების ანალიზი ცხადყოფს, ჭეშმარიტია თუ მცდარი ჰიპოთეზა. თუ ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით ჰიპოთეზა ჭეშმარიტია, ეს, შესაძლოა, ახალ აღმოჩენაზეც მიუთითებდეს. თუმცა, როგორც წესი, ახალი აღმოჩენის დასამტკიცებლად ექსპერიმენტის შედეგები მრავალჯერადად მოწმდება, ზოგჯერ კი თავად ექსპერიმენტსაც განმეორებით ატარებენ.

თანამედროვე სამეცნიერო მეთოდი სწორედ მაშინ დაიბადა, როცა მეცნიერებმა საუკუნეების განმავლობაში აღიარებული შეხედულებების ცდით გადამოწმება დაიწყეს. ზოგი შეხედულება მართლდებოდა, ზოგი კი არა. ასეთ შემთხვევაში ახალ ჰიპოთეზას გამოთქვამდნენ და მის ჭეშმარიტებას კვლავ ექსპერიმენტით ამოწმებდნენ.

6. შედეგების გაზიარება. ეს არანაკლებ მნიშვნელოვანი ეტაპია სამეცნიერო საქმიანობაში. მეცნიერი საკუთარი კვლევის თითოეულ ეტაპს დანვრილებით აღწერს სამეცნიერო სტატიაში და კოლეგებს განსახილველად წარუდგენს.

სამეცნიერო კვლევა სანდოდ ითვლება, თუ მისი შედეგების გამეორებასა და დადასტურებას სხვა მეცნიერებიც შეძლებენ.

გახსოვდეს: თუ სამეცნიერო საქმიანობას გადანყევთ, შენმა კვლევამ, ამა თუ იმ სახით, ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ეტაპი უნდა გაიაროს.

ნახე ვიდეო სამეცნიერო მეთოდის შესახებ: <http://bitly.ws/rSvi>



3. ფიზიკის დარგები

მრავალფეროვანი ფიზიკური მოვლენების შესწავლისას დაგროვილმა უზარმაზარმა მეცნიერულმა ცოდნამ ფიზიკის განსხვავებული დარგების ჩამოყალიბება განაპირობა. სასკოლო ფიზიკის კურსში ჩვენ **ფიზიკის რამდენიმე ძირითად დარგს გავეცნობით**, ისეთებს, როგორიცაა: მექანიკა, ელექტრომაგნიტიზმი (ელექტროდინამიკა, მაგნიტური მოვლენები), რხევები და ტალღები, ოპტიკა, მოლეკულური ფიზიკა, თერმოდინამიკა, ატომური, ბირთვული და კვანტური ფიზიკა, ასტროფიზიკა.

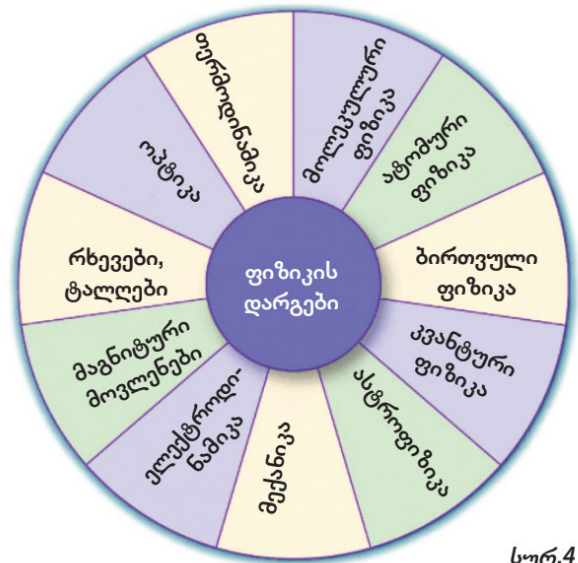
გაიხსენე: მე-9 კლასის ფიზიკის კურსი მოიცავდა მექანიკას, რომელიც სხეულთა მოძრაობას და ურთიერთქმედებას შეისწავლის. მე-10 კლასის ფიზიკის კურსს კი **კლასიკური ელექტროდინამიკის** საფუძვლების შესწავლით ვინწყებთ. კლასიკური ელექტროდინამიკა მაკროსამყაროში ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თეორიას შეისწავლის, მიკროსამყაროში კი ასეთი ტიპის ურთიერთქმედებას კვანტური ელექტროდინამიკა სწავლობს.

კლასიკური ელექტროდინამიკის ძირითადი ცნებებია ელექტრული მუხტი და ელექტრული ველი. ელექტროდინამიკა ფიზიკის ერთ-ერთი დარგია, რომელიც ელექტრულ მუხტებს (დამუხტულ სხეულებს) შორის ურთიერთქმედებასა და მათზე ელექტრული ველის ზემოქმედებას შეისწავლის.

ელექტროდინამიკის განვითარების ისტორია იმ მოვლენების შესწავლით იწყება, რომელიც მოიცავს სხეულთა ელექტრიზაციას (XVII საუკუნე), ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედებას (XVIII საუკუნე), ატმოსფერულ ელექტრობას (XVIII საუკუნე), ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირს (XIX საუკუნე).

თანამედროვე კავშირგაბმულობის საშუალებები, ელექტროძრავები, დენის გენერატორები, გასანათებელი და საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ხელსაწყოები, ჩარხები, მართვისა და კონტროლის ავტომატიზებული სისტემები, კომპიუტერები – ეს არის მცირე ჩამონათვალი მოწყობილობებისა, რომელთა მუშაობის პრინციპს სწორედ ელექტროდინამიკის კანონები უდევს საფუძვლად.

ელექტროდინამიკა, თავის მხრივ, ორ მიმართულებად იყოფა: ერთი მათგანი უძრავ მუხტებსა (დამუხტულ სხეულებს) და მათ შორის ურთიერთქმედებას შეისწავლის, მეორე კი – იმ მოვლენებს, რომლებიც დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ მოძრაობას უკავშირდება. ელექტროდინამიკის იმ ნაწილს, რომელიც უძრავ ელექტრულ მუხტებსა და მათ შორის ურთიერთქმედებას შეისწავლის, **ელექტროსტატიკა** ჰქვია.



სურ.4

4. ფიზიკის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან

ფიზიკა ფუნდამენტური მეცნიერებაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების დადასტურებულ ფაქტებს ეფუძნება. ამასთან, ფიზიკის ცნებებს, კანონებს, თეორიებსა და კვლევის მეთოდებს მეცნიერების სხვა დარგები საკუთარი კვლევებისას იყენებენ. განუზომელია ფიზიკის როლი მეცნიერების სხვადასხვა დარგისა და ტექნიკის სფეროს განვითარებაში.

ფიზიკას განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებს შორის.

სწორედ ფიზიკასა და სხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებს შორის მჭიდრო კავშირის შედეგად წარმოიქმნა ფიზიკის ისეთი დარგები, როგორიცაა მაგ., ასტროფიზიკა, გეოფიზიკა, ბიოფიზიკა, სამედიცინო ფიზიკა, ფიზიკური ქიმია და ა.შ.



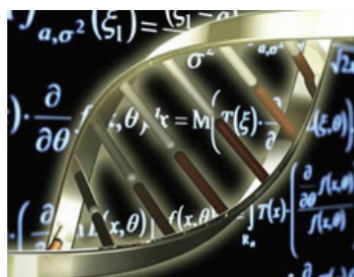
სურ.5

ასტროფიზიკა ასტრონომიის მიმართულებაა, რომელიც იყენებს ფიზიკის მეთოდებსა და კანონებს ციურ სხეულთა სამყაროში მიმდინარე მოვლენების შესასწავლად. გრავიტაციული ურთიერთქმედება, ელექტრომაგნიტიზმი, ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა, ტემპერატურა, სიმკვრივე, თერმოდინამიკა... ეხმარება ასტროფიზიკოსებს, გამოიკვლიონ ციური სხეულების ბუნება, ურთიერთქმედება მათ შორის, შეისწავლონ მათი წარმოშობისა და ევოლუციის ეტაპები.

გეოფიზიკა მეცნიერების დარგია, რომელიც დედამიწის მყარ, თხევად და აირად გარსებში მიმდინარე ფიზიკურ მოვლენებს (მაგ., მიწისძვრებს, ვულკანებს, წყლის წრებრუნვასა და ოკეანის ჰიდროდინამიკას) შეისწავლის, იკვლევს დედამიწის გრავიტაციულ და მაგნიტურ ველებს. გეოფიზიკა ფართოდ იყენებს კვლევის ფიზიკურ და მათემატიკურ მეთოდებს.



სურ.6



სურ.7

ბიოფიზიკა ბიოლოგიურ სისტემებში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს შეისწავლის. ელექტრონული და პროტონული მიკროსკოპები, რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი, ელექტრონოგრაფია, ნეიტრონული ანალიზი – ეს ის მეთოდები და საშუალებებია, რომლებსაც ბიოლოგები მოლეკულური ბიოლოგიისა და გენეტიკის საკითხების კვლევისას იყენებენ და რომლებიც სწორედ ფიზიკის დამსახურებითაა მათთვის ხელმისაწვდომი.

ფიზიკური ქიმია მეცნიერებაა, რომელიც ხსნის ქიმიურ მოვლენებს და ადგენს მათ კანონზომიერებებს ფიზიკის კანონებისა და ფიზიკის ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით. მისი ძირითადი მიმართულებებია ქიმიური თერმოდინამიკა, ქიმიური კინეტიკა, მოძღვრება კატალიზის შესახებ, კოლოიდური ქიმია, ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზი, ელექტროქიმია, ფოტოქიმია, რადიაციული ქიმია, კრისტალ-ქიმია და სხვ.



სურ.8



სურ.9

სამედიცინო ფიზიკა ბიოფიზიკის ერთ-ერთი მიმართულებაა, რომელიც ფიზიკის კანონებზე დაყრდნობით ეძებს დაავადებათა დიაგნოსტიკის, მკურნალობისა და პროფილაქტიკის ახალ, ეფექტიან გზებს. სხივური თერაპია, რენტგენი, ულტრაბგერითი გამოკვლევა, კომპიუტერული და მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია სწორედ ამ მიმართულების მიღწევებია. ნახე ვიდეო სამედიცინო ფიზიკის ექსპერტებზე:

<http://bitly.ws/rSvj>



ყოველწლიურად 7 ნოემბერს სამედიცინო ფიზიკის საერთაშორისო დღეს აღნიშნავენ და ეს შემთხვევითი არ არის: 1867 წლის 7 ნოემბერს რადიოაქტიურობის აღმოჩენი, ფიზიკისა და ქიმიის დარგში ორგზის ნობელის პრემიის ლაურეატი, **მარია სკლოდოვსკაია-კიური** დაიბადა.

რადიოაქტიურობა სამედიცინო ფიზიკის ჩამოყალიბებისა და განვითარების საფუძველი გახდა და სულაც არ არის გასაკვირი, რომ ტრადიციულად ამ დღის მაუწყებელ საინფორმაციო პლაკატებზე ცენტრალურ ადგილს მარია სკლოდოვსკაია-კიურის ფოტო იკავებს (სურ.10).

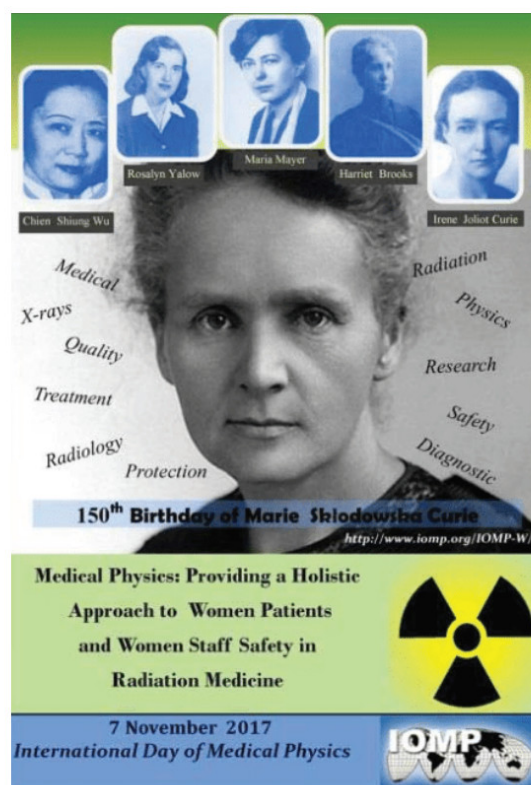
კავშირი ფიზიკასა და მათემატიკას შორის ორივეს დასაბამიდან იღებს სათავეს და როგორც ჩანს, დასასრული არ აქვს იმ ისტორიებს, როცა ფიზიკაში არსებული კითხვები ახალი მათემატიკური თეორიების შთაგონების წყაროდ იქცევა და, პირიქით, როცა მათემატიკა თავისი შესაძლებლობებით მოვლენის ღრმად წვდომის საშუალებას აძლევს ფიზიკოსს (მაგ., ისააკ ნიუტონმა, რომელიც სხეულთა მოძრაობის განტოლების დაწერას ცდილობდა, მათემატიკის ისეთ დარგს ჩაუყარა საფუძველი, როგორიცაა დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა...).

მხოლოდ მათემატიკამ (და არა ფიზიკამ... არა ექსპერიმენტულმა კვლევამ) მისცა საშუალება ავსტრიელ ფიზიკოსს, ერვინ შრედინგერს (1887–1961), დაენერა განტოლება, რომელიც მიკროსამყაროში (კვანტურ მექანიკაში) ისეთივე მნიშვნელოვანია, როგორც ნიუტონის II კანონი კლასიკურ მექანიკაში...

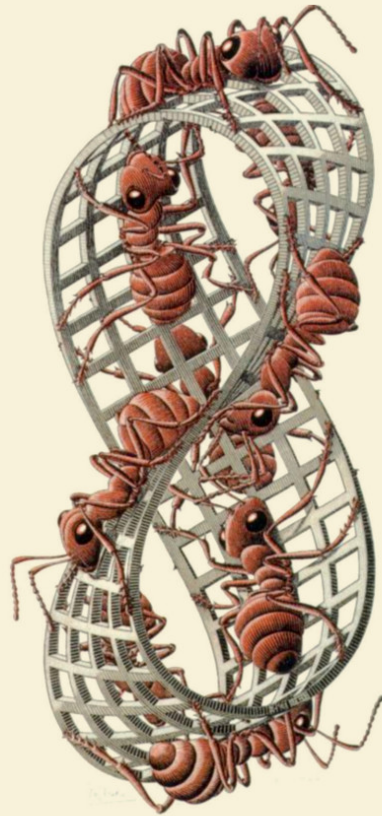
ფიზიკის გარეშე წარმოუდგენელია თანამედროვე ტექნიკა და ყოფა-ცხოვრება. შესაბამისად, მნიშვნელოვანი როლი აკისრია **გამოყენებითი ფიზიკის დარგებს** (ელექტროტექნიკას, რადიოტექნიკას, მიკროელექტრონიკას, მანქანათა თეორიას და ა.შ.), რომლებიც ფიზიკაში დაგროვილ ფუნდამენტურ ცოდნას ეფუძნება. გამოყენებითი ფიზიკა დაკავშირებულია ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნოლოგიებში გამოყენებული სხვადასხვა მოწყობილობის პროექტირებასთან, შექმნასა და გამოყენებასთან. ეს დარგები ერთგვარი ხიდია ფიზიკის თეორიულ ცოდნასა და მის პრაქტიკულ გამოყენებას შორის.

და ბოლოს...

დაფიქრდი: რა გახსენდება, როცა თანამედროვე სამყაროში ტექნოლოგიურ მიღწევებზე საუბრობენ? ალბათ, კომპიუტერი, უსადენო ინტერნეტი, სმარტფონი, პლანშეტი, ადგილმდებარეობის განმსაზღვრელი სისტემა („ჯიპიისი“)... სამგანზომილებიანი პრინტერი, ვირტუალური რეალობის სათვალე, ხელოვნური ინტელექტი... ყველა ამ ნოვატორული მიღწევის საფუძველი **ფიზიკაა...** ფიზიკა, რომელიც ყოველთვის დგას ამქვეყნიური „სასწაულების“ მიღმა, ფიზიკა, რომელიც გასწავლის დაკვირვებას, ფიქრს და შენ შეძლებ უბრალო საგნებში, ჩვეულებრივ მოვლენებში მთელი სამყარო დაინახო... ვინ იცის... ოდესმე იქნებ შენც გხვდეს წილად ახალი აღმოჩენის, ახალი გამოგონების ბედნიერება.



სურ.10



სურ. 1. მორის ეშერი. „მეზიუსის ლენტი“

წარმოიდგინე სიბრტყე, რომელზეც ჭიანჭველები და რწყილები ცხოვრობენ. ჭიანჭველები მთელი ცხოვრების განმავლობაში სიბრტყეზე დაცოცავენ და ფიქრობენ, რომ სამყარო ორგანზომილებიანია, რადგან ისინი ვერასდროს ტოვებენ სიბრტყის ზედაპირს. თუმცა ჭიანჭველები ამჩნევენ, რომ მათთან ერთად მცხოვრები რწყილები დროდადრო უკვალოდ ქრებიან სიბრტყის ზედაპირიდან და გარკვეული დროის შემდეგ კვლავ ჩნდებიან.

ჭიანჭველების „გამოჩენილი მეცნიერები“ ბოლოს და ბოლოს იმ აზრამდე მივლენ, რომ სამყაროს მესამე განზომილებაც აქვს, წინააღმდეგ შემთხვევაში მათ ფიზიკის კანონების უარყოფა მოუწევთ, რადგან არ შეიძლება, რაიმე უკვალოდ გაქრეს ან არაფრისგან წარმოიქმნას.

რწყილისა და ჭიანჭველას ისტორიას გაგრძელება აქვს... ოღონდ ზღაპარში კი არა, ჩვენს რეალობაში:

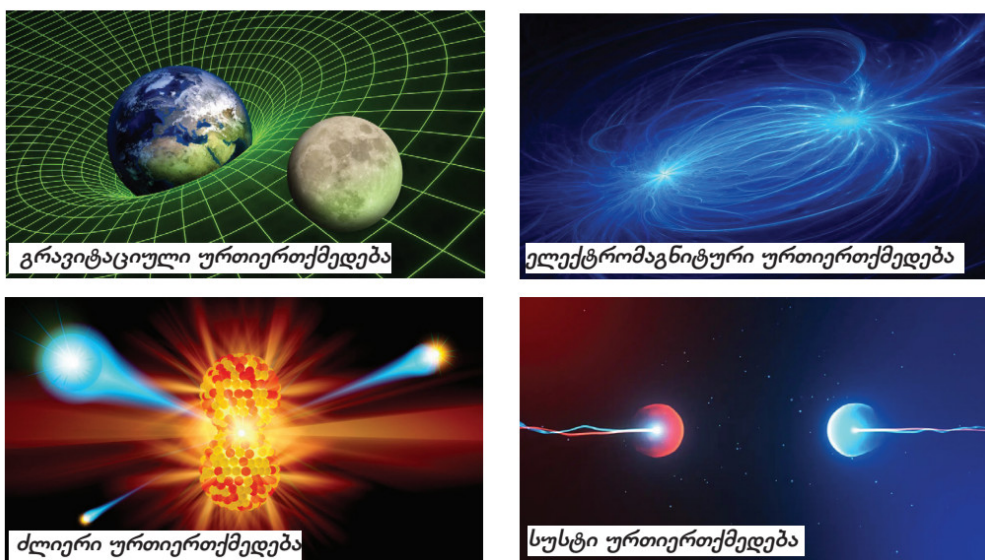
ჰიპოთეზა, რომ ჩვენს სამყაროს, სივრცის სამი განზომილების გარდა (დრო მეოთხე განზომილებად ითვლება), დამატებითი განზომილებებიც აქვს, საკმაოდ ძველია და მეცნიერებმა ის ჯერ კიდევ XIX საუკუნეში გამოთქვეს. იდეა ძალიან პოპულარული იყო XX საუკუნეში: მეცნიერთა სხვადასხვა ჯგუფი სხვადასხვა დროს მრავალგანზომილებიანი სივრცის განსხვავებულ მოდელებზე მუშაობდა. თუმცა ამ იდეებმა ექსპერიმენტული დადასტურება ვერ პოვა.

მრავალგანზომილებიანი სივრცის აღწერა მათემატიკურად საკმაოდ ადვილია, თუმცა სამგანზომილებიან რეალობას მორგებულ ადამიანს სამზე მეტგანზომილებიანი სივრცის წარმოდგენა არ ძალუძს. დამატებით განზომილებებს ვერ ვხედავთ და ვერ ვგრძნობთ. მაშ, რა აძლევს ჰიპოთეზის ავტორებს ასეთი მოსაზრების გამოთქმის საბაბს?

თუ დამატებითი განზომილებები მართლაც არსებობს, მაშინ ისინი გავლენას უნდა ახდენდეს ჩვენს სამყაროში მიმდინარე გარკვეულ მოვლენებზე. ასეთ მოვლენებზე დაკვირვებით კი შესაძლებელია მათი რეალურად არსებობის დადასტურება, ანუ თუ კარგად დაგფიქრდებით და იმ „რწყილებს“ (მოვლენებს) აღმოვაჩინოთ, რომლებიც დრო-დადრო უკვალოდ ქრებიან ჩვენი სამყაროდან და გარკვეული დროის შემდეგ კვლავ ჩნდებიან, დავრწმუნდებით, რომ სამყაროს დამატებითი განზომილებები აქვს.

რომელი მოვლენა შეიძლება „რწყილის“ როლში აღმოჩენილიყო?

თანამედროვე ფიზიკაში ბუნებაში არსებული **ოთხი ფუნდამენტური ურთიერთქმედებაა** (ფუნდამენტურია ურთიერთქმედება, რომელიც სხვა სახის ურთიერთქმედებებით არ აღიწერება) ცნობილი (სურ. 2): გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი.

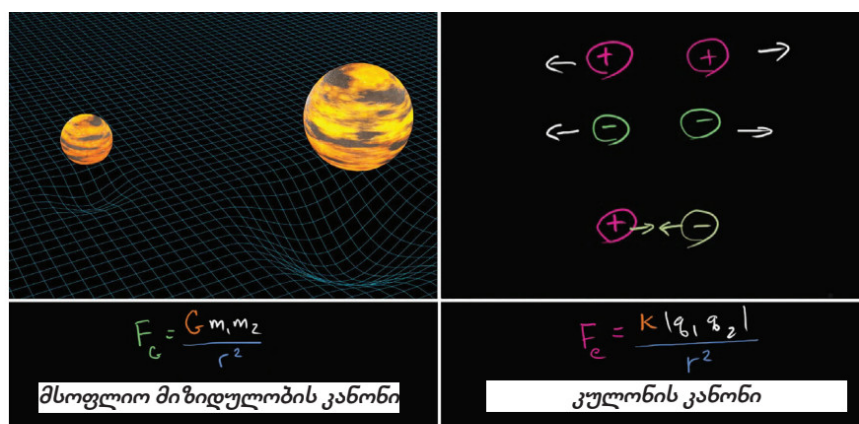


სურ. 2

ძლიერი და სუსტი ურთიერთქმედება ატომბირთვებში მიმდინარე პროცესებს აღწერს. შენტონის კარგად ცნობილი გრავიტაციული ურთიერთქმედება, რომელსაც ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის თეორია (კიდევ უფრო ზუსტად კი – აინშტაინის ფარდობითობის თეორია) აღწერს, მაკრო- და ციური სხეულების სამყაროშია შესამჩნევი. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება კი ვლინდება როგორც მიკრო-, ისე მაკროსამყაროში.

XX საუკუნის უკანასკნელ წლებში მსოფლიოს ფიზიკოსებს ერთი ძირითადი იდეა აერთიანებდათ: ისინი ცდილობდნენ, მოეძებნათ სამყაროს აგებულების ერთიანი საწყისი, შეექმნათ ბუნებაში არსებული ყველა ძალის გაერთიანებული თეორია, რომლის მიხედვით ყველა ტიპის ურთიერთქმედება ერთი ძალის სხვადასხვა გამოვლინებაა, ოთხივე ტიპის ურთიერთქმედება ერთი პირველწყაროს შედეგია. ეს აზრი მას შემდეგ გაჩნდა, რაც მეცნიერებმა დაასაბუთეს, რომ შეიძლება ყველა ტიპის ურთიერთქმედების განხორციელების მექანიზმი ერთსა და იმავე პრინციპებზე იყოს დაფუძნებული (მომდევნო გაკვეთილებზე შენ კულონის კანონს გაეცნობი, რომელიც დამუხტულ სხეულებს შორის ელექტრულ ურთიერთქმედებას აღწერს და არ გაგიჭირდება იმ საოცარი მსგავსების აღმოჩენა, რომელიც მას ნიუტონის მიზიდულობის კანონთან აკავშირებს (გვ.13. სურ. 3)).

გასული საუკუნის 60-იან წლებში დამტკიცდა ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედების ერთიანი ბუნება (ამ თეორიის ავტორებმა გლემოუმ, ვაინბერგმა და სალამმა 1979 წელს ნობელის პრემია მიიღეს). 2012 წელს (მას შემდეგ, რაც ახალი ნაწილაკი, ე.წ.



სურ. 3

ჰიგსის ბოზონი, აღმოაჩინეს) მათ ძლიერი ურთიერთქმედებაც შეურთდა. თუმცა ბუნების ძალთა ერთიან თეორიაში გრავიტაციული ურთიერთქმედების ჩართვა ვერ ხერხდება, რისი მიზეზიც გრავიტაციული ძალის გასაოცარი სისუსტეა სხვა ძალებთან შედარებით. რატომაა სამყაროში არსებული ოთხი ფუნდამენტური ურთიერთქმედებიდან ერთ-ერთის ბუნება გამონაკლისი? იქნებ არც არის გამონაკლისი და გრავიტაციული ურთიერთქმედების ნიუტონისეული თეორიაა გადასასინჯი?

...დამატებითი განზომილებების შესახებ ჰიპოთეზის მიხედვით მილიმეტრზე ნაკლებ მანძილებზე დამატებითი განზომილებები ჩნდება და მათი გათვალისწინებით ამ მანძილებზე აქამდე ფუნდამენტურ სიდიდედ აღიარებული გრავიტაციული მუდმივას, G -ს, მნიშვნელობა იცვლება. შესაბამისად, ხდება მიზიდულობის კანონის სახეცვლილებაც. გაიხსენე: სამგანზომილებიანი სივრცის შემთხვევაში მიზიდულობის ძალის მოდული $1/r^2$ -ის პროპორციულია.

ერთი დამატებითი განზომილების არსებობისას მიზიდულობის ძალის მოდული $1/r^3$ -ის პროპორციულად იზრდება, ორი დამატებითი განზომილების არსებობისას კი $1/r^4$ -ის პროპორციულად და ა. შ. ყოველი n დამატებითი განზომილების არსებობისას მიზიდულობის ძალის მოდული $1/r^{n+1}$ -ის პროპორციულად გაიზრდება და უკვე მილიმეტრის რიგის მანძილებზე (რაც, ატომური ფიზიკის თვალსაზრისით, ძალიან დიდი მანძილებაა) გრავიტაციის ძალა თავისი სიძლიერით დანარჩენ ძალებს გაუტოლდება!

ასე რომ, დამატებითი განზომილებების არსებობისას გრავიტაციული ურთიერთქმედება არცთუ სუსტ ურთიერთქმედებად მოჩანს...

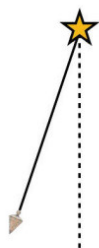
დამატებითი განზომილებები მხოლოდ გრავიტაციული ურთიერთქმედების ხასიათს ცვლის, ყველა სხვა ტიპის ურთიერთქმედებით გამოწვეულ მოვლენებში ახალი განზომილებების შემოტანით არაფერი იცვლება.

ბუნებრივია, ტარდება კვლევები ჰიპოთეზის შესამოწმებლად და მისი დადასტურების შემთხვევაში სწორედ გრავიტაციული ურთიერთქმედება შეიძლება აღმოჩნდეს იმ „რწყილის“ როლში, რომელიც დროდადრო სხვა განზომილებაში უჩინარდება.

...და ნუ დაგავიწყდება ყველაზე მთავარი: ნებისმიერი შედეგის შემთხვევაში ეს ჰიპოთეზა უდიდესი მეცნიერული გმირობის გამოვლენაა, რადგან მისმა ავტორებმა შეძლეს და ისეთი გაბატონებული თეორიის გადასინჯვა სცადეს, როგორიც ნიუტონის მიზიდულობის თეორიაა. მათ კიდევ ერთხელ დაამტკიცეს, რომ მეცნიერებაში კერპები არ არსებობენ. ბუნება ამოუწურავია და ყოველი დიდი მეცნიერული აღმოჩენა მხოლოდ სამყაროს ახალი, შეუცნობი მხარეების კვლევის დასაწყისია.

ასე რომ, კვლევები გრძელდება. სამყაროს დამატებითი განზომილებების შესახებ თეორია უკანასკნელ წლებში თანამედროვე ფიზიკის იდეებზე უდიდეს ზეგავლენას ახდენს და შესაძლოა, მომავალში ფიზიკის ახალი დარგის განვითარებასაც მისცეს ბიძგი.

1.1.1. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება



სურ. 1. შოტლანდია. შიჰალიენის მთა (1083 მ).

1 XVIII საუკუნეში ლონდონის სამეფო საზოგადოების თაოსნობით შოტლანდიაში, შიჰალიენის მთასთან, ჩატარდა ისტორიული ექსპერიმენტი, რომლის მიზანი საკიდზე დაკიდებული სხეულის (შვეულის) დახმარებით დედამიწის მასის განსაზღვრა იყო.

შიჰალიენის მთის მახლობლად შვეული ვერტიკალური მდებარეობიდან მთისკენ იხრებოდა (სურ. 1). როგორ ფიქრობ, რა იყო ამის მიზეზი? რომელი ტიპის ურთიერთქმედებით იყო გამოწვეული ექსპერიმენტის შედეგი?

შენ იცი, რომ **ბუნებაში ოთხი ტიპის (გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, სუსტი და ძლიერი) ფუნდამენტური ურთიერთქმედება არსებობს** და ყველა ფიზიკური მოვლენა ამა თუ იმ ტიპის ურთიერთქმედებას უკავშირდება. მაგ., შენთვის კარგად ცნობილი გრავიტაციული ურთიერთქმედების გამოვლინებაა მთვარის მოძრაობა დედამიწის გარშემო, სხეულთა ვარდნა დედამიწის ზედაპირზე, შიჰალიენის ექსპერიმენტის შედეგიც...

გრავიტაციული ურთიერთქმედება სამყაროში არსებულ ნებისმიერ სხეულებს შორის არსებობს, მაგრამ თვალსაჩინო მხოლოდ მაშინაა, თუ სხეულებიდან ერთ-ერთის მასა მაინც საკმარისად დიდია. მოდი, ჩაატარე მარტივი ცდა და შეეცადე, გამოიცნო, რა ტიპის ურთიერთქმედების გამოვლინებაა ცდის შედეგი.

**ცდა I**

1. გამოჭერი ქალაქისგან 1 სმ სიგანის ზოლი და მიუახლოვე მას პლასტმასის ღერო (კალამი). ამჩნევ თუ არა მათ შორის ურთიერთქმედებას?
2. ქალაქის ზოლი ფურცელზე დადე და ზემოდან მსუბუქი დანოლით რამდენჯერმე გაუსვი ღერო.
3. მოჰკიდე ქალაქის ზოლს ხელი და მეორე ხელით ღერო მიუახლოვე. რას ამჩნევ?
4. არის თუ არა ეს ურთიერთქმედება მსოფლიო მიზიდულობის ძალით გამოწვეული? რატომ?

ქალაქის ზოლსა და ღეროს შორის მიზიდულობა მხოლოდ მას შემდეგ აღიძრა, რაც სხეულები ერთმანეთს შეახე (გაუხახუნე). ურთიერთქმედება, რომელიც სხეულების შეხების (ხახუნის) შედეგად აღიძრა და სხეულთა მასებზე დამოკიდებული არ არის, **ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებაა**.

**ცდა II**

1. მიუახლოვე ერთმანეთს პოლიეთილენისგან გამოჭრილი 2 სმ სიგანის ორი ზოლი. ამჩნევ თუ არა მათ შორის ურთიერთქმედებას?
2. დაადე ზემოდან ერთი ზოლი მეორეს და მოათავსე ისინი ფურცელზე. ზოლებზე ზემოდან მსუბუქი დანოლით რამდენჯერმე გაუსვი პლასტმასის ღერო (კალამი, სავარცხელი).
3. მიუახლოვე ერთმანეთს ზოლები. რას ამჩნევ? აღწერე, როგორ ურთიერთქმედებს ზოლები?

4. მიუახლოვე ერთ-ერთ ზოლს პლასტმასის ღერო. რა შეამჩნიე? აღწერე, როგორ ურთიერთქმედებს ეს სხეულები?

გრავიტაციული ურთიერთქმედებისგან განსხვავებით, რომლის დროსაც სხეულებს შორის ყოველთვის მიზიდულობის ძალები მოქმედებს, **ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება როგორც მიზიდვის, ისე განზიდვის სახით ვლინდება.**

ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკები (მოლეკულები, ატომები, იონები), ისევე როგორც სამყაროში არსებული ნებისმიერი სხეული, მსოფლიო მიზიდულობის ძალებით ურთიერთმიზიდებიან, თუმცა მასების სიმცირის გამო ნაწილაკებს შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედება იმდენად სუსტია, რომ ჩვეულებრივ, მხედველობაში არც მიიღება.

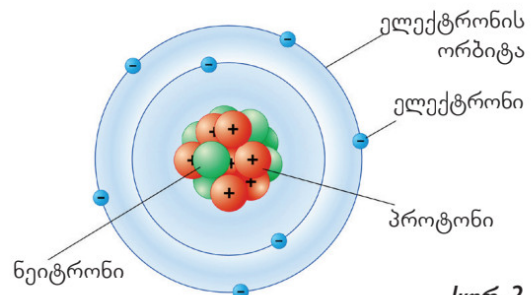
ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედება (მიზიდვა და განზიდვა), რომელიც ნივთიერების მყარ და თხევად აგრეგატულ მდგომარეობებს განაპირობებს, ელექტრომაგნიტური ბუნებისაა. ელექტრომაგნიტური ძალებით განისაზღვრება ატომის აგებულება, ატომთა ბმები მოლეკულებში, მაკროსკოპული სხეულების წარმოქმნა.

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებითაა გამოწვეული ყველა ელექტრული, მაგნიტური და ოპტიკური მოვლენა. სწორედ მისი დამსახურებით ვხედავთ გარემომცველ სამყაროს, რადგან სინათლე ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ერთ-ერთი გამოვლინებაა. ამ ტიპის ურთიერთქმედებით აიხსნება დრეკადობისა და ხახუნის ძალების არსებობა. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება პრაქტიკულად ყველა ბიოლოგიურ პროცესს განსაზღვრავს, რაც იმას ნიშნავს, რომ მის გარეშე სიცოცხლე არ იარსებებდა. როგორ ჩნდება ნაწილაკებს (სხეულებს) შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად გავიხსენოთ ატომის აგებულება.

1.1.2. ატომის აგებულება

შენ იცი, რომ **ნებისმიერი სხეული უმცირესი ნაწილაკებისგან (მოლეკულებისგან, ატომებისგან, იონებისგან) შედგება.** თავის მხრივ, მოლეკულები ატომებისგან შედგება, ხოლო ატომი – ატომბირთვისა და მის გარშემო მოძრავი ელექტრონებისგან (სურ. 2).

ატომის ბირთვის შემადგენლობაში შედის პროტონი და ნეიტრონი (სურ. 2).



სურ. 2

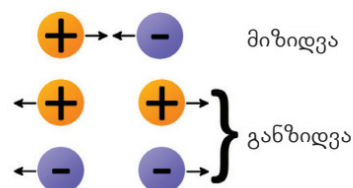
პროტონს, ელექტრონსა და ნეიტრონს (მათ **სუბატომურ ნაწილაკებს** უწოდებენ) მასა აქვს, ამიტომ ამ ნაწილაკებს შორის არსებობს გრავიტაციული ურთიერთქმედება, ე. ი. ისინი ერთმანეთს იზიდავენ ძალით, რომლის მოდული მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია.

გარდა გრავიტაციული ურთიერთქმედებისა, ბირთვსა და ელექტრონებს შორის გაცილებით ძლიერი, **ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებაც** არსებობს. მაგ., ცნობილია, რომ წყალბადის ატომში ბირთვი ელექტრონს იზიდავს **ელექტრომაგნიტური ძალით**, რომელიც 10^{39} -ჯერ აღემატება გრავიტაციულ ძალას. ელექტრომაგნიტური ძალა, გრავიტაციულის მსგავსად, ნაწილაკებს შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია, თუმცა გრავიტაციულისგან განსხვავებით, მისი მოდული ნაწილაკების მასებზე დამოკიდებული არ არის.

თუ ნაწილაკებს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების უნარი ახასიათებს, მაშინ ამბობენ, რომ მათ **ელექტრული მუხტი** აქვს და ასეთ ნაწილაკებს **დამუხტული ნაწილაკები** ჰქვია. **ნაწილაკების ელექტრული მუხტი განსაზღვრავს მათ შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ძალას:** რაც მეტია ნაწილაკების მუხტი, მით მეტია მათ შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ძალა, თუ მუხტებს შორის მანძილი

უცვლელია (მსგავსად იმისა, როგორც მასა განსაზღვრავს სხეულთა შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალას).

დამუხტულ ნაწილაკებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება როგორც მიზიდვის, ისე განზიდვის სახით ვლინდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ **ბუნებაში არსებობს საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ნაწილაკები: ერთნაირნიშნის მუხტის მქონე ნაწილაკები ერთმანეთს განიზიდავენ, ხოლო საპირისპირო ნიშნის მქონენი ერთმანეთს მიიზიდავენ** (სურ. 3).



სურ. 3

1.1.3. სუბატომური ნაწილაკები

მიჩნეულია, რომ **პროტონის მუხტი დადებითია, ხოლო ელექტრონის მუხტი – უარყოფითი** (ასე პირობითადაა მიჩნეული და პირიქითაც რომ იყოს, ამით ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ხასიათი მათ შორის არ შეიცვლება) (სურ. 2).

ატომში პროტონებსა და ელექტრონებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების (მიზიდვის) ძალაა სწორედ ის ძალა, რომელიც „აიძულებს“ ელექტრონებს, ატომბირთვის გარშემო წრიულ ორბიტებზე იმოძრაონ.

პროტონის მუხტი აბსოლუტური სიდიდით ელექტრონის მუხტის ტოლია. ელექტრონისა და პროტონის მასები კი მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ერთმანეთისგან: ელექტრონის მასა თითქმის 2000-ჯერ (უფრო ზუსტად, 1836,1-ჯერ) ნაკლებია პროტონის მასაზე.

გარდა ელექტრონებისა და პროტონებისა, ბუნებაში სხვა დამუხტული ნაწილაკებიც არსებობს, მაგრამ მათ თავისუფლად არსებობა ძალიან მცირე, წამის მემილიონედზე უფრო ხანმოკლე დროის განმავლობაში შეუძლიათ.

ელექტრონსა და პროტონს შეუძლიათ იარსებოს თავისუფლად, განუსაზღვრელად დიდხანს. **ელექტრონისა და პროტონის მუხტზე უფრო მცირე სიდიდის მუხტი ბუნებაში დამოუკიდებლად არ არსებობს** (მათ მინიმალური მუხტი აქვთ და შეუძლებელია ამ ნაწილაკებს მუხტის ნაწილი მოვაცილოთ ან მისი მოდული გავზარდოთ). ელექტრონისა და პროტონის ელექტრული მუხტის აბსოლუტურ სიდიდეს (მოდულს) **ელემენტარული მუხტი** ჰქვია და მას e ასოთი აღნიშნავენ.

ელექტრული მუხტი ყოველთვის ნაწილაკთანაა დაკავშირებული, ის ნაწილაკის ისეთივე განუყოფელი თვისებაა, როგორიც მასა. **არ არსებობს მუხტი ნაწილაკის გარეშე, მაგრამ უმუხტო ნაწილაკი არსებობს, მაგ., ნეიტრონი. ნეიტრონის მუხტი 0-ის ტოლია. ის ნეიტრალური ნაწილაკია.** ნეიტრონის მასა ელექტრონისას 1838,7-ჯერ აღემატება (ანუ ნეიტრონის მასა გარკვეული მიახლოებით პროტონის მასას უტოლდება და მნიშვნელოვნად აღემატება ელექტრონის მასას, თითქმის 2000-ჯერ, ისევე როგორც პროტონის მასა).

№1 ცხრილში მოცემულია ელექტრონის, პროტონისა და ნეიტრონის მასები (გრამებში და მასის ატომურ ერთეულებში, $1 \text{ მაე} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ გ}$) და ელექტრული მუხტი (პირობითი ერთეულებში).

ცხრილი I

ნაწილაკი	მუხტი პირობით ერთეულებში	მასა გრამებში	მასა მასის ატომურ ერთეულებში (მაე)
ელექტრონი	-1	$9,11 \cdot 10^{-28} \text{ გ}$	0,0005 (1/1840)
პროტონი	+1	$1,6726 \cdot 10^{-24} \text{ გ}$	1
ნეიტრონი	0	$1,6749 \cdot 10^{-24} \text{ გ}$	1

ატომის ბირთვში პროტონების რიცხვი ემთხვევა შესაბამისი ქიმიური ელემენტის რიგით ნომერს (ატომურ ნომერს) (Z) ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილში (სურ.4). იმის გამო, რომ ნეიტრონები უმუხტო ნაწილაკებია, ატომის ბირთვის ელექტრული მუხტი დადებითია და მასში შემავალი პროტონების ჯამური მუხტის ტოლია.

ატომბირთვის მასური რიცხვი –
ნეიტრონებისა და პროტონების
საერთო რაოდენობა:

$$A = N + Z$$

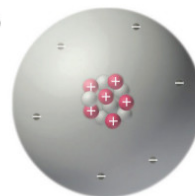
ელემენტის ატომური ნომერი –
პროტონების რიცხვი ატომის ბირთვში



ნახშირბადი

12
6 C

6 პროტონი
6 ნეიტრონი
6 ელექტრონი



სურ. 4

ატომის ბირთვის გარშემო ორბიტებზე ზუსტად იმდენი ელექტრონი მოძრაობს, რამდენი პროტონიცაა ბირთვში (გვ.15. სურ. 2). ელექტრონების ჯამური უარყოფითი მუხტი ბირთვში შემავალი პროტონების ჯამური დადებითი მუხტის ტოლია და ამიტომ ატომი მთლიანობაში ელექტრულად ნეიტრალურია.

ელემენტის რიგითი ნომრის გარდა, პერიოდულობის ცხრილში კიდევ ერთი რიცხვია მითითებული, რომელიც, თუ მთელ რიცხვამდე დავამრგვალებთ, ბირთვში ნეიტრონებისა და პროტონების საერთო რაოდენობას გვიჩვენებს (ანუ მაე-ში გამოსახულ მათ საერთო მასას). ეს რიცხვი A ასოთი აღინიშნება და მას **მასური რიცხვი** ჰქვია.

1.1.4. ბირთვული ძალები

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები მოწმობს, რომ ატომის ბირთვი საკმაოდ მდგრადი სისტემაა, რომლის დაშლაც საკმაოდ ძნელია.

2 როგორ ფიქრობ, რა ძალები აკავებს ბირთვში პროტონებსა და ნეიტრონებს? შეიძლება თუ არა, რომ ეს ძალები იყოს:

ა) გრავიტაციული ბუნების? რატომ? ბ) ელექტრომაგნიტური? რატომ?

ბირთვში შემავალი ნაწილაკები (პროტონები და ნეიტრონები) ერთმანეთთან დაკავშირებულია **ბირთვული ძალებით**, რომლებიც თავისი ბუნებით განსხვავდება როგორც გრავიტაციული, ისე ელექტრომაგნიტური ძალებისგან. ბირთვული ძალები მოდულით დაახლოებით 100-ჯერ აღემატება ელექტრომაგნიტურ ძალებს. ისინი ბუნებაში არსებულ ძალთა შორის ყველაზე მძლავრია, ამიტომ ბირთვული ნაწილაკების ურთიერთქმედებას **ძლიერ ურთიერთქმედებას** უწოდებენ. ბირთვული ძალების მნიშვნელოვანი თავისებურებაა **ახლოქმედება**. „მოკლესხელებიანი გოლიათი“ – ასე უწოდებენ ბირთვულ ძალებს, რომელთა მოქმედება მხოლოდ ისეთ მანძილებზე ვლინდება, რომლებიც ბირთვის ზომის ($10^{-12} - 10^{-13}$ სმ) რიგისაა.

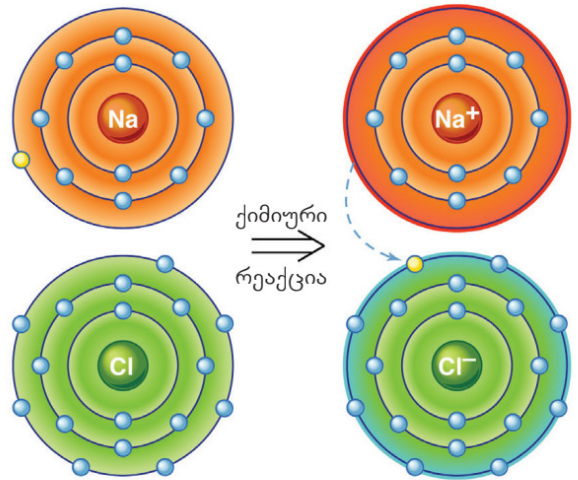
1.1.5. თავისუფალი ელექტრონი. იონი

სწორედ ბირთვული ძალების დამსახურებაა ის, რომ პროტონების რიცხვის ცვლილება ატომის ბირთვში ძალიან ძნელია (პროტონების რიცხვის ცვლილება ატომის გარდაქმნას იწვევს), მაგრამ ატომში ელექტრონების რაოდენობის გაზრდა ან შემცირება გაცილებით ადვილია: გარე შრეზე მოძრავი ერთი ან რამდენიმე ელექტრონი დანარჩენებთან შედარებით სუსტადაა დაკავშირებული ბირთვთან, ამიტომ შესაძლებელია, ისინი ბირთვს მოსწყდნენ და ატომთაშორის სივრცეში მიმოიფანტონ. ასეთ

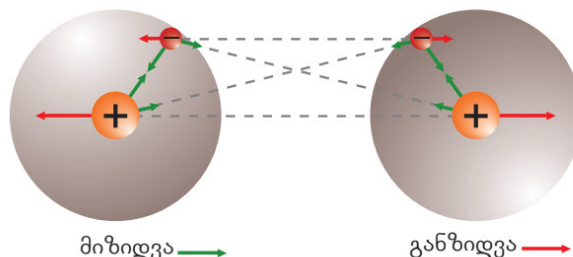
ელექტრონებს თავისუფალი ელექტრონები ჰქვია. გაიხსენე: თუ ატომი ელექტრონს დაკარგავს, მაშინ დადებითი იონი წარმოიქმნება. შეიძლება ატომმა მიიერთოს კიდევ ზედმეტი ელექტრონი. ასეთ შემთხვევაში უარყოფითი იონი მიიღება (სურ. 5).

1.1.6. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება მაკროსკოპულ სხეულებს შორის

დამუხტული ნაწილაკები (ატომბირთვები, ელექტრონები) ყველა სხეულის შემადგენლობაში შედის. მათ შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ძალიან ძლიერია, მაგრამ მაკროსკოპულ სხეულებს შორის ელექტრომაგნიტური ძალების მოქმედება ყოველთვის არ შეინიშნება, რადგან ისინი ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ელექტრულად ნეიტრალურია (მათში შემავალი დამუხტული ნაწილაკების ჯამური მუხტი ნულის ტოლია). ყოფა-ცხოვრებაში დაუმუხტავ სხეულებს შორის ელექტრულ მიზიდვასა და განზიდვას ვერ ვამჩნევთ, მიუხედავად იმისა, რომ ერთსა და იმავე სხეულში (მყარში, თხევადში) ატომის შემადგენელი დამუხტული ნაწილაკები საკმაოდ ძლიერი ელექტრომაგნიტური ძალებით ურთიერთქმედებს (სურ. 6): დადებითი ატომბირთვები სხვა ატომების ელექტრონებს მიიზიდავს, ხოლო მათ ატომბირთვებს განზიდავს.



სურ. 5



სურ. 6

მაკროსკოპული სხეული ელექტრულად დამუხტულია იმ შემთხვევაში, თუ ის შეიცავს ერთი ნიშნის მქონე დამუხტული ნაწილაკების ჭარბ რაოდენობას: თუ სხეულში პროტონებთან შედარებით ელექტრონების სიჭარბეა, მაშინ სხეული უარყოფითადაა დამუხტული, ხოლო თუ ელექტრონების დანაკლისია, მაშინ სხეული დადებითადაა დამუხტული. როგორ დავმუხტოთ მაკროსკოპული სხეული? ამ შეკითხვას მომდევნო გაკვეთილზე გავცემთ პასუხს.

დამუხტულ სხეულთა შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება მათი შემადგენელი ნაწილაკების ურთიერთქმედების შედეგია. დამუხტული სხეულები ურთიერთქმედებენ და შედეგად ერთმანეთზე მოქმედებენ ძალით, რომელსაც **ელექტრული ძალა** ჰქვია. იმავდროულად, ერთმანეთის მიმართ მოძრავი მუხტები, ელექტრული ძალის გარდა, **მაგნიტური ძალითაც** ურთიერთქმედებენ.

სწორედ ელექტრულ და მაგნიტურ ურთიერთქმედებას შორის მჭიდრო კავშირის გამო ჰქვია დამუხტულ ნაწილაკთა (სხეულთა) შორის ურთიერთქმედებას **ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება**. მაგნიტურ მოვლენებს ჩვენ უფროს კლასებში დავუბრუნდებით. მე-10 კლასის ფიზიკის კურსში მხოლოდ **ელექტრულ მოვლენებს** განვიხილავთ.

ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი თალეს მილეტელი (ძვ. წ. VII-VI სს.) ერთ-ერთი პირველი იყო, ვინც ქარვის საოცარი თვისება შეამჩნია: ქარვა შალის ქსოვილზე გახახუნების შედეგად ჩალის პანანინა ღეროებს, ბუმბულსა და მტვრის ნაწილაკებს იზიდავდა (სურ. 1). ამ მოვლენას ბერძნები ქარვის თვისებებით ხსნიდნენ და რადგანაც ქარვას ბერძნულად „ელექტრონი“ ჰქვია, მოვლენას **ელექტრული მოვლენა** უწოდეს. ელექტრულ მოვლენებს მალე პრაქტიკული გამოყენებაც მოუძებნეს: იმისათვის, რომ დაბერტყვისას ძვირფასი ტანსაცმელი არ დაზიანებულიყო, მისგან მტვრის მოსაცილებლად იყენებდნენ ქარვის მიზიდულობის უნარს, რომელსაც ქარვა შალის ქსოვილთან ხახუნის შედეგად იძენდა.



სურ. 1

ორი ათასი წლის შემდეგ ინგლისის დედოფალ ელისაბედ I-ის კარის ექიმმა უილიამ გილბერტმა (1544 – 1603) აღმოაჩინა, რომ ხახუნის შედეგად მიზიდულობის უნარს არა მარტო ქარვა, არამედ საფირონი, ალმასი და მინაც იძენდა. ამ თვისების მქონე სხეულებს პირველად გილბერტმა უწოდა „ქარვის მსგავსი“, ანუ **დაელექტროებული** სხეულები და ტერმინი „ელექტრობაც“ მეცნიერებაში სწორედ მან დაამკვიდრა.

1.2.1. ელექტრული მოვლენა

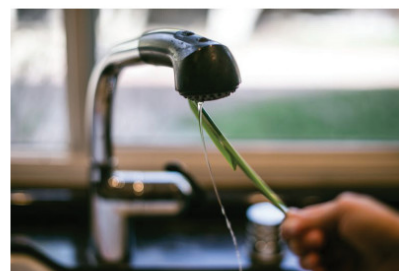
ჩაატარე მარტივი ცდები და დააკვირდი ელექტრულ მოვლენებს – მოვლენებს, რომლის დროსაც ზოგიერთი სხეული სხვა სხეულებთან ხახუნის შედეგად მიზიდულობის უნარს იძენს.

ცდა I

- მიუახლოვე პლასტმასის სავარცხელი:
 - ქაღალდის ნაკუნებს;
 - ონკანიდან ჩამომდინარე წყლის სუსტ ჭავლს.
 შეამჩნიე თუ არა მათ შორის ურთიერთქმედება?
- ამჯერად სავარცხელი თმაზე რამდენჯერმე გადაისვი ან შალის ქსოვილს გაუხახუნე და გაიმეორე ცდა. შეიცვალა თუ არა ცდის შედეგი? აღწერე, რა შეამჩნიე (სურ. 2,3).



სურ. 2



სურ. 3

გილბერტის შემდეგ ლამის ერთი საუკუნის განმავლობაში ელექტრული მოვლენებით სერიოზულად თითქმის არავინ დაინტერესებულა. ამ მოვლენების ნამდვილი კვლევა-ძიება მხოლოდ XVIII საუკუნეში დაიწყო. აღსანიშნავია, რომ ამ ეპოქის მეცნიერები, რომლებიც ელექტრულ მოვლენებს შეისწავლიდნენ, ელექტრობას ფიზიკისგან განცალკევებულ მეცნიერებად მიიჩნევდნენ. იმის ახსნა, თუ რატომ იძენდა სხეულები ხახუნის შედეგად მიზიდულობის უნარს, მეცნიერებმა მხოლოდ მას შემდეგ შეძლეს, რაც ელექტრონი აღმოაჩინეს და გაჩნდა ვარაუდები ატომის აგებულების შესახებ.

1.2.2. როგორ ელექტროვდება სხეული ხახუნისას

როგორ ელექტროვდება სხეული? რატომ არის საჭირო ხახუნი სხეულთა დაელექტროებისთვის? შენ იცი, რომ სხეულები ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ელექტრულად ნეიტრალურია (მასში შემავალი ელექტრონებისა და პროტონების რიცხვი ერთნა-

რია და ამ ნაწილაკების ჯამური მუხტი ნულის ტოლია). ატომბირთვები ელექტრონებს ელექტრომაგნიტური მიზიდულობის ძალებით აკავებენ. სხვადასხვა ნივთიერებაში ეს ძალები სხვადასხვა სიძლიერისაა. ორი სხეულის შეხებისას იმ სხეულიდან, რომლის ატომებშიც ეს კავშირი სუსტია, ელექტრონთა ნაწილი მეორე სხეულში გადადის და თუ სხეულებს გავაცალკევებთ, ორივე დაელექტროებული (დამუხტული) აღმოჩნდება: **თუ სხეული დაკარგავს ელექტრონებს, მასში ელექტრონების დანაკლისი გაჩნდება და სხეული დადებითად დაიმუხტება. სხეული, რომელშიც ელექტრონები გადაინაცვლებს, უარყოფითად იმუხტება**, რადგან მასში ელექტრონების ჭარბი რაოდენობა შეიქმნება.

ასე რომ, სხეული ელექტროვდება (იმუხტება) იმ შემთხვევაში, თუ ის შეიძენს ან დაკარგავს ელექტრონებს. **დაელექტროების პროცესში ახალი დამუხტული ნაწილაკები არ წამოიქმნება. მხოლოდ არსებული ელექტრონული მუხტები გაცალკევდება, გადანაწილდება ურთიერთშემხებ სხეულებს შორის: ელექტრონების ნაწილი ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის. სწორედ ეს არის დაელექტროების არსი.**

იმისათვის, რომ სხეულები დაელექტროვდეს, შეხებისას მათ შორის მჭიდრო კონტაქტია საჭირო: ერთ ატომს მეორემ ელექტრონი რომ „ნაართვას“, ატომები საკმაოდ მცირე, $\approx 10^{-8}$ სმ რიგის, მანძილზე უნდა მიუახლოვდეს ერთმანეთს. რადგან სხეულთა ზედაპირი იდეალურად გლუვი არ არის, მათი შეხებისას ერთმანეთს მჭიდროდ მხოლოდ ცალკეული უბნები ეხება. თუ შეხების ნაცვლად სხეულებს ერთმანეთს გავუხახუნებთ, ასეთი უბნების რიცხვი გაიზრდება. შესაბამისად, გაიზრდება ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასული ელექტრონების რიცხვი და სხეულები უფრო ძლიერად დაელექტროვდება. **დაელექტროებისას ხახუნი პრინციპულ როლს არ თამაშობს. მთავარია დასაელექტროებელი სხეულების მჭიდროდ შეხება. ხახუნი მხოლოდ მჭიდროდ შეხების ფართობს ზრდის.**

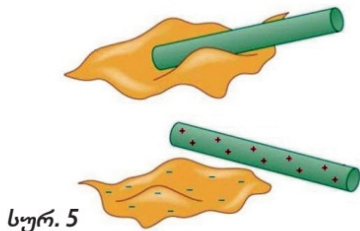
მიუხედავად იმისა, რომ ხახუნით დაელექტროების მოვლენა ჩვენს წელთაღრიცხვამდე იყო ცნობილი, მისი ბუნება დღემდე ბოლომდე შესწავლილი არ არის.

1

აღმოჩნდა, რომ

1. მინის ჯოხის აბრეშუმის ქსოვილთან ხახუნისას მინის ჯოხი დადებითად იმუხტება (სურ. 5). ახსენი მინის ჯოხის დაელექტროების მექანიზმი. როგორ დაიმუხტება ამ დროს აბრეშუმის ქსოვილი? რატომ?

2. ებონიტის ჯოხის შალის ქსოვილთან ან ბეწვთან ხახუნისას ებონიტის ჯოხი უარყოფითად იმუხტება (სურ. 6). ახსენი ებონიტის ჯოხის დაელექტროების მექანიზმი. როგორ დაიმუხტება ამ დროს შალის ქსოვილი? რატომ?



სურ. 5



სურ. 6

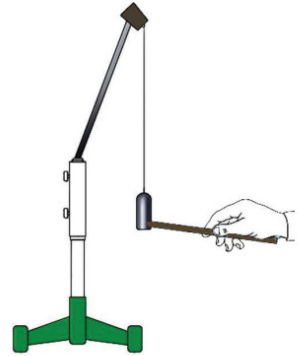
1.2.3. დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედება

დააკვირდი დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას მარტივი ცდებით:

ცდებისთვის საჭიროა: შტატივი – 2 ცალი, აბრეშუმის ან კაპრონის ძაფი, ებონიტისა (პლასტმასის) და მინის ჯოხები; აბრეშუმისა და შალის ქსოვილი. ფოლგისგან დამზადებული მასრა (ჰილზი): მრგვალ ფანქარზე გადაახვიე ფოლგისგან გამოჭრილი ზოლი (30 x 50 მმ). ფანქარი ფრთხილად გამოაძრე და მიღებულ მასრას ერთი ბოლო მოუკარი.

**ცდა II**

1. დაკიდე შტატივზე აბრეშუმის (კაპრონის) ძაფით მასრა (სურ. 7);
2. დააელექტროვე (დამუხტე) ებონიტის ჯოხი შალის ქსოვილზე ხახუნით (რა ნიშნის მუხტით დააელექტროვდა ჯოხი?);
3. შეახე ებონიტის ჯოხი მასრას (რა ნიშნის მუხტით დაიმუხტება ამ დროს მასრა? რატომ?);
4. აღწერე, რა მოხდა მას შემდეგ, რაც ჯოხი მასრას შეეხო: როგორია ურთიერთქმედების ხასიათი მასრასა და ჯოხს შორის? ახსენი ცდის შედეგი.
5. მიუახლოვე მასრას შალის ქსოვილი, რომელზე ხახუნის შედეგადაც ებონიტი დაიმუხტა. რა შეამჩნიე: მიიზიდა თუ განიზიდა ქსოვილმა მასრა? რატომ?



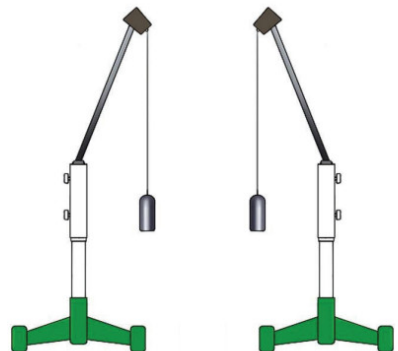
სურ. 7

გამოიტანე დასკვნა:

1. როგორ ურთიერთქმედებენ ერთნაირნიშნის მუხტით დააელექტროებული სხეულები? სხვადასხვა ნიშნის მუხტით დააელექტროებული?
2. ორი სხეულის ხახუნისას ერთი მათგანი იმუხტება თუ ორივე? როგორია მათი მუხტის ნიშნები?

**ცდა III**

1. დაკიდე აბრეშუმის (კაპრონის) ძაფით ორი მასრა ცალ-ცალკე ორ სხვადასხვა შტატივზე, რომლებიც ერთმანეთისგან დაახლოებით 60-70 სმ-ითაა დაშორებული (სურ. 8);
2. დამუხტე ებონიტის ჯოხი შალის ქსოვილზე ხახუნით;
3. შეახე ებონიტის ჯოხი ჯერ ერთ, შემდეგ კი მეორე შტატივზე დაკიდებულ მასრას (რა ნიშნის მუხტით დაიმუხტება ამ დროს მასრები?);
4. მიუახლოვე შტატივები ერთმანეთს. აღწერე, როგორია ურთიერთქმედების ხასიათი მასრებს შორის: განიზიდა თუ მიიზიდა მასრებმა ერთმანეთი? ახსენი ცდის შედეგი.



სურ. 8

გამოიტანე დასკვნა:

როგორ ურთიერთქმედებენ ერთნაირნიშნის მუხტით დააელექტროებული სხეულები?

რეკომენდაცია: იმისათვის, რომ მასრები მომავალი ცდისთვისაც გამოიყენო, ცდის დასრულების შემდეგ დამუხტულ მასრებს თითოთ შეეხე: მასრები განეიტრალები, განიმუხტება.

გაითვალისწინე:

დამუხტულ სხეულებზე ხელით შეხება ხშირად უსაფრთხო სულაც არ არის!

დამუხტულ სხეულზე ხელით შეხება მხოლოდ მაშინ შეიძლება, თუ ცდის ინსტრუქცია ამის უფლებას გაძლევს!

ცდა IV



1. დაკიდე აბრეშუმის (კაპრონის) ძაფით ორი მასრა ცალ-ცალკე ორ სხვადასხვა შტატივზე, რომლებიც ერთმანეთისგან დაახლოებით 60-70 სმ-ითაა დაშორებული;
2. დამუხტე
 - ა) ებონიტის ჯოხი შალის ქსოვილზე ხახუნით;
 - ბ) მინის ჯოხი აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნით;
3. შეახე ებონიტის ჯოხი ერთ მასრას, ხოლო მინის ჯოხი – მეორე მასრას (რანიშნის მუხტით დაიმუხტება ამ დროს მასრები)?
4. მიუახლოვე შტატივები ერთმანეთს. აღწერე, როგორია ურთიერთქმედების ხასიათი მასრებს შორის: განიზიდა თუ მიიზიდა მასრებმა ერთმანეთი? ახსენი ცდის შედეგი.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ ურთიერთქმედებენ სხვადასხვანაშნიანი მუხტით დამუხტული სხეულები?

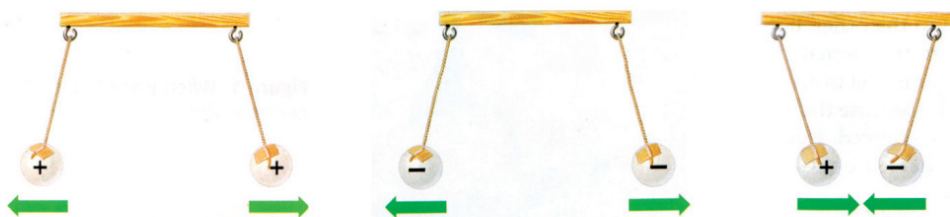
1.2.4. ორგვარი მუხტი

1733 წელს ფრანგმა მეცნიერმა შარლ დიუფემ (1698 – 1739) ელექტრობის განვითარების ისტორიაში უმნიშვნელოვანესი ნაბიჯი გადადგა. მან უამრავი ექსპერიმენტის საფუძველზე დაადგინა, რომ **ბუნებაში ორი სახის ელექტრული მუხტი არსებობს:** „ქარვისებური“ (რომელიც მიიღება ქარვაზე, როცა მას შალის ქსოვილზე ახახუნებენ) და „მინისებური“ (რომელიც მიიღება მინაზე, როცა მას აბრეშუმის ქსოვილზე ახახუნებენ).

მოგვიანებით ამერიკელმა მეცნიერმა და გამოჩენილმა პოლიტიკურმა მოღვაწემ ბენჯამინ ფრანკლინმა (1706 – 1790) მუხტებს, განსხვავებულობის აღსანიშნავად, „დადებითი“ (იგივეა, რაც „მინისებური“) და „უარყოფითი“ (იგივეა, რაც „ქარვისებური“) უწოდა.

ფრანკლინი ორგვარი მუხტის არსებობას სხეულებში „ელექტრული სითხის“ არსებობით ხსნიდა. მისი თეორიის მიხედვით, თუ სხეულს ელექტრული სითხე აკლდა, უარყოფითად იმუხტებოდა, ხოლო სხეული, რომელიც ამ სითხეს ჭარბი რაოდენობით შეიცავდა – დადებითად. როგორც დიუფეს, ისე ფრანკლინის მოსაზრება დამუხტულ სხეულებს შორის ორი განსხვავებული სახის ურთიერთქმედების არსებობას ეფუძნებოდა: დამუხტული სხეულები განიზიდავდნენ ან მიიზიდავდნენ ერთმანეთს.

ელექტრონის აღმოჩენამ მეცნიერებს საშუალება მისცა, დაეღეტრობის არსი და ორგვარი მუხტის არსებობა აეხსნათ: ელექტრული სითხე არ არსებობს. დაეღეტროება შემხებ სხეულებს შორის ელექტრონების, უმცირესი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების, გადანაწილებას უკავშირდება. დადგინდა არა მარტო ორგვარი მუხტის არსებობა, არამედ მათი ურთიერთქმედების ორი განსხვავებული პრინციპიც: **სხეულები, რომლებიც ერთი სახის მუხტითაა დაეღეტროებული, ერთმანეთს განიზიდავენ, ხოლო სხვადასხვა სახის მუხტებით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს მიიზიდავენ, ანუ როგორც მოკლედ ამბობენ: ერთნაირნაშნიანი მუხტები განიზიდავენ, სხვადასხვანაშნიანები მიიზიდავენ** (სურ. 9.).



სურ. 9

გერმანული სამეცნიერო ჟურნალის ერთ-ერთ ნომერში აღწერილია ისტორია, რომელიც 1872 წლის ზამთარში ნიუ-იორკში გახშირებულ შემთხვევებს უკავშირდება:

...ქალაქში ძლიერი და მშრალი ყინვები იდგა. მოქალაქეები ცდილობდნენ, საცხოვრებელი ბინები ყველა შესაძლო ხერხით დაეთუნებინათ: ფანჯრებისა და კარის ღრიჭოებს გმანავდნენ, სქელ ფარდებს კიდებდნენ, იატაკზე შალის ხალიჩებს აგებდნენ...

იმ სახლების მცხოვრებლები, რომლებშიც აირზე მომუშავე სანათებს იყენებდნენ, უცნაურ ამბავს ჰყვებოდნენ: სანათი ხშირად, ასანთის გარეშე, თითიდან გამოტყორცნილი ნაპერწკლით ინთებოდა. მკვეთრი, გრძელი ნაპერწკალი მაშინ ჩნდებოდა, როცა თითი სანათის ღია, ლითონის სარქველთან (საიდანაც აირი გამოდის) მიჰქონდათ. ნაპერწკლები ჩნდებოდა სხვა საგნებთან შეხებისას, ადამიანებს შორისაც, ცხვირთან ხელის მიტანისას...

შენ, ალბათ, ხვდები, რომ ამ „უცნაურობის“ მიზეზი ელექტრული მოვლენებია, მაგრამ რა შემთხვევაში წარმოიქმნება ნაპერწკალი? როგორ აღმოვაჩინოთ სხეულებზე ელექტრული მუხტი? ყველა სხეულზე გროვდება თუ არა მუხტი? ამ და სხვა კითხვებზე პასუხს ამ პარაგრაფში შეიტყობ.

1.3.1. ელექტროსკოპი



ცდა I

1. დაამაგრე გამაგრებელი სასმელის ალუმინის ქილა ქალაღდის (ან პლასტმასის) ქილაზე წებოვანი ლენტით;
2. მოკეცე შუაზე ფოლგისგან გამოჭრილი მართკუთხედის ფორმის ზოლი (5 X 50 მმ) და შუა ნაწილით მიამაგრე ქილის გასახსნელ დეტალს (სურ.1);
3. შეახე ქილას ბუშტი, რომელიც
 - ა) დაუმუხტავია;
 - ბ) დაელექტროვებულია თმაზე ხახუნით;

როგორ ფიქრობ, გამოგადგება თუ არა შენ მიერ დამზადებული ხელსაწყო სხეულებზე ელექტრული მუხტის აღმოსაჩენად? რატომ?

რა მოხდება, თუ დაელექტროვებულ ბუშტს თმასთან მიიტან (სურ. 2)? სცადე და ამ შემთხვევაში შენ მეტად „სერიოზული“ მისია დაგეგმის: შენც იმ ხელსაწყოს როლში აღმოჩნდები, რომლის საშუალებითაც შეიძლება დავადგინოთ, დამუხტულია თუ არა ესა თუ ის სხეული. ამ ხელსაწყოს **ელექტროსკოპი** ჰქვია: „სკოპო“ ბერძნულად „დაკვირვებას“, „აღმოჩენას“ ნიშნავს.

რას ეფუძნება ელექტროსკოპის მოქმედება? სანამ ამ კითხვაზე გავცემთ პასუხს, გავეცნოთ ელექტროსკოპის აგებულებას. მე-3 და მე-4 სურათებზე (გვ. 24) სხვადასხვა კონსტრუქციის ელექტროსკოპებია გამოსახული.

ელექტროსკოპის ძირითადი ნაწილებია:

(1) – **კორპუსი** – ლითონის ჩარჩო, რომლის ორივე მხარე შემინულია (გვ. 24. სურ. 3) ან მინის ჭურჭელი (გვ.24. სურ. 4);



სურ. 1

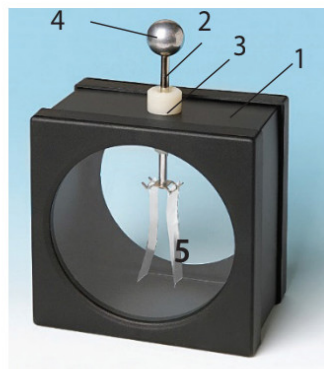


სურ. 2

(2) – **ლითონის ღერო**, რომელიც ჩარჩოზე მჭიდროდ მორგებულ პლასტმასის (რეზინის, ებონიტის) საცობშია (3) გაყრილი (ანუ ღერო კორპუსს უშუალოდ არ ეხება, მისგან საცობითაა იზოლირებული);

(4) – **ლითონის სფერო**, რომელიც ღეროს ერთ ბოლოზეა ჩამოცმული;

(5) – **ორი თხელი ფურცელი** (ქაღალდის ან ფოლგის ვიწრო ზოლი), რომლებიც ღეროს მეორე ბოლოზეა დაკიდებული და თავისუფლად მოძრაობს.



სურ. 3



სურ. 4

დამუხტულია სხეული, ნიშნავს, რომ მასზე ან ელექტრონების ჭარბი რაოდენობაა (თუ სხეული უარყოფითადაა დამუხტული), ან მათი დანაკლისია (თუ სხეული დადებითადაა დამუხტული). შეიძლება ითქვას, რომ ორივე შემთხვევაში სხეულზე გაუნონასწორებელი ელექტრული მუხტია დაგროვილი. თუ დამუხტულ სხეულს მეორე სხეულს **შევახებთ**, დამუხტული სხეული „შეეცდება“, მას ჭარბი ელექტრონები გადასცეს ან ელექტრონების დანაკლისი შეეცდოს – „მიიტაცოს“ ელექტრონები მეორე სხეულიდან. ასეთ შემთხვევაში მეორე სხეულიც დაიძუტება და თანაც იმავე ნიშნის მუხტით, რა ნიშნის მუხტითაა იმ სხეულზე, რომელიც მას ეხება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ შესაძლებელია, **ელექტრული მუხტი დამუხტული სხეულიდან მეორე სხეულს გადაეცეს. ამისათვის მხოლოდ მათი შეხებაა საჭირო.**

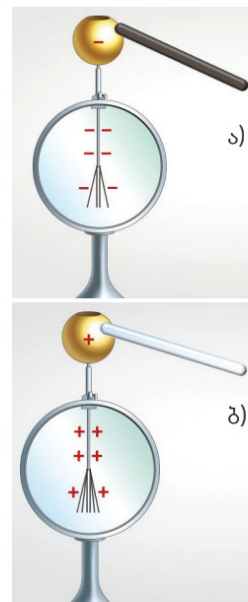
თუ ელექტროსკოპის ღეროს (მასზე დამაგრებულ სფეროს) დამუხტულ სხეულს **შევახებთ** (სურ. 5), ღეროც იმავე ნიშნის მუხტით დაიძუტება, როგორითაც სხეულია დამუხტული:

ა) თუ სხეული უარყოფითადაა დამუხტული, მაშინ მასზე არსებული ჭარბი ელექტრონები ღეროს გადაეცემა და ღეროც უარყოფითად დაიძუტება (სურ. 5ა);

ბ) თუ სხეული დადებითადაა დამუხტული (ანუ მასზე ელექტრონების დანაკლისია), მაშინ ელექტრონები ღეროდან სხეულზე გადავა და ღეროც დადებითად დაიძუტება (სურ. 5ბ).

შესაბამისად, დაიძუტება ღეროს ბოლოზე დაკიდებული ფურცლებიც (სურ. 5): ერთი ნიშნის მუხტით დამუხტული ფურცლები ერთმანეთს განიზიდავს და ისინი გარკვეული კუთხით გაიშლება. ამასთან, რაც უფრო მეტადაა სხეული (შესაბამისად, ღეროც და ფურცლებიც) დამუხტული, მით მეტი იქნება ფურცლების გაშლის კუთხე. ფურცლების გაშლის კუთხის ცვლილებით, შესაძლებელია, შევაფასოთ, გაიზარდა თუ შემცირდა მათი მუხტი. ელექტროსკოპი საშუალებას გვაძლევს, აღმოვაჩინოთ სხეულზე მუხტი და შევადაროთ სხვა დამუხტული სხეულის მუხტის მოდულსა და ნიშანს.

ასე რომ, **ელექტროსკოპის მოქმედებას ელექტრული მუხტის ერთი სხეულიდან მეორეზე გადაცემა და დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედება უდევს საფუძვლად.**



სურ. 5

1.3.2. ელექტრომეტრი

ელექტროსკოპის კიდევ ერთი სახეობაა **ელექტრომეტრი** – ხელსაწყო, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, არა მარტო აღმოვაჩინოთ, არამედ რაოდენობრივად შევაფასოთ დამუხტული სხეულის ელექტრული მუხტი („მეტრეო“ ბერძნულად ნიშნავს „ზომავ“).

ელექტრომეტრს, ელექტროსკოპისგან განსხვავებით, **სკალაც** აქვს (სურ.6).

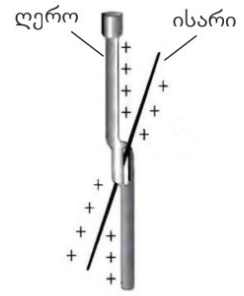
ელექტრომეტრის ღეროზე დამაგრებულია **ისარი**, რომელიც თავისუფლად ბრუნავს ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო. როცა ელექტრომეტრი დამუხტული არ არის, მაშინ ისარი ვერტიკალურ მდგომარეობაშია განწონასწორებული (სურ. 6).

თუ ელექტრომეტრის ღეროს (მასზე დამაგრებულ სფეროს) დამუხტულ სხეულს **შევახებთ**, სხეული ღეროს მუხტს გადასცემს. მუხტი ღეროსა

და ისარზე გადანაწილდება, ორივე მათგანი ერთნაირნიშნის მუხტით დაიძვრება და შედეგად ისარი ღეროსგან განიზიდება – ვერტიკალური მდგომარეობიდან გადაიხრება (სურ. 7). ისრის გადახრის კუთხე მუხტის მოდულზეა დამოკიდებული.



სურ. 6



სურ. 7

1.3.3. მუხტის გამტარები და არაგამტარები

გაიხსენე: ელექტროსკოპის აღწერისას ხაზგასმულია ის ფაქტი, რომ ღერო კორპუსს უშუალოდ არ ეხება, მისგან პლასტმასის (ეპონიტის, რეზინის) საცობითაა იზოლირებული. ელექტრულ მოვლენებზე დაკვირვებისას, ცდების ჩატარების დროს, ასეთ რეკომენდაციას გაძლევენ: სხეული, რომლის დამუხტვაც გსურს, აბრეშუმის (ან კაპრონის) ძაფზე უნდა დაკიდო. დამუხტული სხეულის განმუხტვისთვის კი მასზე ხელის შეხებაა საჭირო.

როგორ ფიქრობ, რა მოხდება, თუ ამგვარი ცდების ჩატარებისას სხეულს ლითონის „ძაფზე“ დაკიდებ? რატომ განიმუხტება სხეული მასზე ხელის შეხებისას? ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად ჩავატაროთ ცდები.

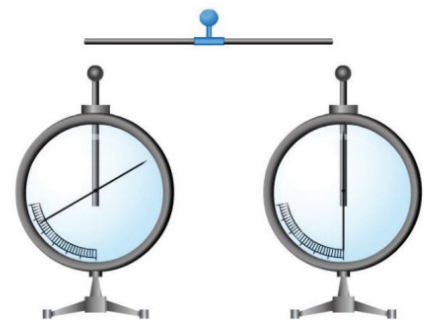
ცდა II

ცდისთვის საჭიროა: ორი ერთნაირი ელექტრომეტრი, ლითონის ღერო, რომელსაც პლასტმასის (ეპონიტის, რეზინის) სახელური აქვს, პლასტმასის სავარცხელი (ან სახაზავი, ეპონიტის ჯოხი, ბუშტი), შალის ქსოვილი.

1. ორი ელექტრომეტრი ერთმანეთის გვერდით მოათავსე მაგიდაზე (სურ. 8);
2. დამუხტე ერთი ელექტრომეტრი: შეახე მას შალის ქსოვილზე (თმაზე) ხახუნით დაელექტროვებული სავარცხელი ან ბუშტი;
3. მოჰკიდე ხელი ლითონის ღეროს სახელურით და შეაერთე მისი დახმარებით ელექტრომეტრები;

დააკვირდი მეორე, დაუმუხტავი ელექტრომეტრის ისარს: რა შეამჩნიე? გადაიხარა თუ არა მეორე ელექტრომეტრის ისარიც? როგორ ფიქრობ, რატომ?

4. ცდის დასრულების შემდეგ **ელექტროსკოპი განმუხტე**: დამუხტული ელექტროსკოპის სფეროს ხელით შეეხე.



სურ. 8



ცდა III

ცდისთვის საჭიროა: ორი ერთნაირი ელექტრომეტრი, პლასტმასის ან მინის ღერო, პლასტმასის სავარცხელი (ან სახაზავი, ეპონიტის ჯოხი,

1. გაიმეორე II ცდა, ოღონდ ამჯერად ელექტროსკოპები მინის ან პლასტმასის ღეროთი შეაერთე;

დააკვირდი მეორე, დაუმუხტავ ელექტროსკოპს: გადაიხარა თუ არა მეორე ელექტრომეტრის ისარიც? როგორ ფიქრობ, რატომ?

2. **გამოიტანე დასკვნა:** განსხვავდება თუ არა ნივთიერებები ერთმანეთისგან მუხტის გატარების უნარის მიხედვით?

1729 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა სტეფან გრეიმ ცდების ჩატარებისას შეამჩნია, რომ **სხვადასხვა ნივთიერებას ელექტრული მუხტის გატარების განსხვავებული უნარი აქვს**. სწორედ მას შემდეგ იყოფა ნივთიერებები (მასალები) **მუხტის გამტარებად და არაგამტარებად (ანუ დიელექტრიკებად)**. გამტარები და არაგამტარები ერთმანეთისგან **თავისუფალი მუხტების** (დამუხტული ნაწილაკები, რომლებიც თავისუფლად გადაადგილდება ნივთიერების მთელ მოცულობაში) **კონცენტრაციით** (ერთეულ მოცულობაში ნაწილაკების რაოდენობით) **განსხვავდება**.

გამტარები ისეთ ნივთიერებებს (მასალებს) ეწოდება, რომლებშიც თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია ძალიან დიდია ($\approx 10^{23} - 10^{29} \text{ მ}^{-3}$).

გამტარებს მიეკუთვნება: ლითონები, მარილებისა და მჟავების წყალხსნარები (ელექტროლიტები), გრაფიტი, ჩვეულებრივი წყალი (რადგან ის მარილებს შეიცავს), ნიადაგი.

გაიხსენე II ცდის შედეგი: გამტარი (ლითონის) ღეროს გავლით ელექტრული მუხტი მეორე ელექტრომეტრზე გადავიდა და ეს უკანასკნელიც დაიმუხტა. სწორედ ამიტომ გადაიხარა მისი ისარიც.

მუხტის კარგი გამტარია ადამიანის (ცხოველის, ფრინველის) სხეულიც. სწორედ ამიტომ, რომ დამუხტულ სხეულზე ხელით შეხებისას ელექტრული მუხტი ადამიანის ხელს (სხეულს) გადაეცემა და დამუხტული სხეული მუხტს კარგავს – განიმუხტება.

შეხსენება: დამუხტულ სხეულზე ხელით შეხება მხოლოდ მაშინ შეიძლება, თუ ცდის ინსტრუქცია ამის უფლებას გაძლევს!

არაგამტარებში (დიელექტრიკებში) დამუხტული ნაწილაკები, ელექტრონები და ატომბირთვები ძირითადად ატომში არიან ურთიერთბმულნი და მათ, გამტარის თავისუფალი მუხტებისგან განსხვავებით, ნივთიერების მთელ მოცულობაში გადაადგილება არ შეუძლიათ (დიელექტრიკებში თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია გამტარებთან შედარებით ძალიან მცირეა, $\approx 10^8 \text{ მ}^{-3}$).

არაგამტარები, ანუ დიელექტრიკებია: მინა, ფაიფური, ებონიტი, ქარვა, პლასტმასა, გამოხდილი წყალი, აირები ჩვეულებრივ მდგომარეობაში (გარკვეულ პირობებში აირები გამტარები ხდება).

გაიხსენე III ცდის შედეგი: როცა დამუხტული და დაუმუხტავი ელექტროსკოპი არაგამტარი (მინის, პლასტმასის) ღეროთი შეაერთე, მუხტი მეორე ელექტროსკოპზე არ გადავიდა. მისი ისარი არ გადაიხარა.

1

დაფიქრდი: ელექტროსკოპის ღერო ლითონისაა და კორპუსისგან პლასტმასის ან ებონიტის (დიელექტრიკის) საცობითაა იზოლირებული (სურ.9). რატომაც ეს მნიშვნელოვანია? რა მოხდება, თუ

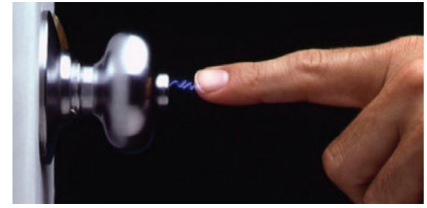
- ლითონის ღეროს პლასტმასით ჩავანაცვლებთ?
- ლითონის ღერო კორპუსისგან დიელექტრიკის საცობით იზოლირებული არ იქნება?



სურ. 9

1.3.4. ელექტროსტატიკური მოვლენები

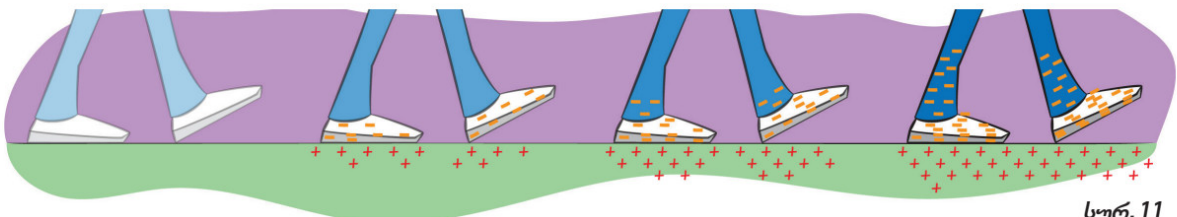
გაიხსენე: ზოგჯერ, როცა ტანსაცმელს იხდი, გრძნობ როგორ ტკაცუნობს და ნაპერწკლებს ყრის შენი სამოსი... ალბათ, ხშირად გეკონია შემთხვევა, როცა სრულიად უწყინარი საგანი ან სულაც შენივე მეგობარი შეხებისას „დენს გირტყამს“ (სურ. 10). ამის მიზეზი ხახუნისას წარმოქმნილი ელექტრული მუხტებია, რომელსაც **სტატიკურ ელექტრობასაც** უწოდებენ.



სურ. 10

შენ იცი, როგორ ელექტროვდება სხეულები შეხებისას (ხახუნისას): ელექტრონების ნაწილი ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის. ელექტრონების „მიტაცების“ უნარი ყველა სხეულს აქვს, იმის მიუხედავად, გამტარია ის თუ არაგამტარი. თუმცა გამტარებისგან განსხვავებით, დიელექტრიკების (ებონიტის, ქარვის, პლასტმასის, მინის) დაელექტროება ხახუნისას მეტად თვალსაჩინოა: მუხტი, რომელიც ხახუნისას დიელექტრიკზე ჩნდება, იმ კონკრეტულ ადგილას გროვდება, რომელიც უშუალოდ ეხება სხვა სხეულს: დაგროვილი ჭარბი (გაუკომპენსირებელი) მუხტი დიელექტრიკის მთელ მოცულობაში არ გადაადგილდება. დიელექტრიკის კონკრეტული უბანი დაელექტროებული რჩება მანამ, სანამ სხვა სხეულს არ შეეხება და არ განიმუხტება: მას ჭარბ ელექტრონებს გადასცემს ან ელექტრონების დანაკლისს შეივსებს.

ლითონის (გამტარის) სხვა სხეულთან გახახუნებისას მუხტი ლითონზეც ჩნდება (ლითონიც „მიიტაცებს“ ან გასცემს ელექტრონებს), მაგრამ მუხტი ლითონის მთელ მოცულობაში გადაადგილდება და მის ზედაპირზე განლაგდება. თუ ლითონს შიშველი ხელით შეეხებით ნებისმიერ ადგილას, მუხტი თქვენს სხეულში (რომელიც მუხტის კარგი გამტარია) გადაინაცვლებს და შესაძლებელია, თქვენი სხეულის გავლით სხვა გამტარ სხეულზე (მაგ., დედამიწაზე) გადავიდეს. ასეთ შემთხვევაში ლითონი არ დაელექტროვდება. გამტარი სხეულების (მაგ., ლითონის, ადამიანის სხეულის) დაელექტროება იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ ისინი იზოლირებული არიან: არ ეხებიან ისეთ სხეულებს, რომლებზეც განიმუხტებიან. მაგ., ადამიანის სხეული, შესაძლებელია, ხალიჩასთან, ტანსაცმელთან შეხებისას საკმაოდ ძლიერად დაელექტროვდეს, რადგან ხალიჩიდან (ტანსაცმლიდან) ელექტრონებს მიიტაცებს (სურ. 11). თუ ასეთ შემთხვევაში ადამიანი მეორე ადამიანს ან კარის ლითონის სახელურს (ან ნებისმიერ გამტარ სხეულს) შეეხება, ჭარბი ელექტრონები მათზე გადადის და ადამიანის სხეული განიმუხტება. მუხტის ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასვლას ნაპერწკლის წარმოქმნა და დამახასიათებელი ტკაცუნის ახლავს თან. დააკვირდი ადამიანის სხეულის დაელექტროების მოვლენას სიმულაციის საშუალებით: <http://bitly.ws/okwH>



სურ. 11

(საიდან ჩნდებოდა ნაპერწკალი პარაგრაფის დასაწყისში აღწერილ შემთხვევაში? აღმოჩნდა, რომ მთავარი დამნაშავე იატაკზე დაფენილი შალის ხალიჩები იყო. ჰაერის დაბალი ტენიანობა ხელშემწყობ პირობებს ქმნიდა იმისათვის, რომ ხალიჩაზე სიარულისას ადამიანები დაელექტროებულიყვნენ...).

ხახუნით (შეხებით) დაელექტროებულ სხეულებზე დაგროვილ მუხტს **ელექტროსტატიკურ მუხტს** უწოდებენ. დაელექტროებული სხეულების ურთიერთქმედება ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების მაგალითია, ხოლო ზემოთ აღწერილი ელექტრული მოვლენები **ელექტროსტატიკურ მოვლენებს** მიეკუთვნება.



სტატიკური ელექტრობა ხშირად ადამიანის სიცოცხლისთვის სასიფათო სულაც არ არის, თუმცა მის გამო ადამიანებს უსიამოვნო სიურპრიზები ყველა ფეხის ნაბიჯზე ხვდება. მაგ., სტამბაში მუშები იძულებული არიან, რეზინის ხელთათმანებით იმუშაონ, რადგან ხელზე ხახუნის შედეგად ქაღალდი ელექტროვდება და ხელს ეკვრის. ხშირად საშრობიდან გამოღებული სარეცხი ერთმანეთს ეკვრის და მათი გაცალკეება ჭირს, ასევე ყველასათვის ნაცნობი უსიამოვნო მოვლენაა, როცა ახალდაბანილი, დაელექტროვებული თმა „ყალყზე დგას“. სტატიკური ელექტრობა თავს განსაკუთრებით მაშინ იჩენს ხოლმე, როცა ჰაერის ტენიანობა ნაკლებია (შეამჩნევდი: ხახუნით სხეულების დაელექტროება ზოგჯერ, როცა ჰაერის ტენიანობა მაღალია, გაძნელებულია).

არსებობს გაცილებით სერიოზული საფრთხეები, რომლებსაც სტატიკური ელექტრობა ქმნის. მაგ., მომუშავე პერსონალის სხეულზე დაგროვილი სტატიკური მუხტის განმუხტვა ელექტრონულ მოწყობილობებზე, პლასტმასის, ქაღალდისა და ტექსტილის წარმოების დროს ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება (ნაწარმის მიზიდვა-განზიდვა), ხანძარი, რომელიც შეიძლება გამოიწვიოს დამინების გარეშე მომუშავე ხელსაწყო-დანადგარებმა, განმუხტვისას წარმოქმნილმა ნაპერწკალმა და ა. შ.



სურ.1. გამაფრთხილებელი ნიშანი: ფრთხილად! სტატიკური ელექტრობა საშიშია!



დავალეზა 1. ელექტროსტატიკურ მოვლენებს ყოველდღიურობაში ხშირად ვხვდებით: დაელექტროვებული თმები, ნაპერწკალი ტანსაცმლის გახდისას, მსუბუქი „დენის დარტყმა“ ხელის ჩამორთმევისას ყველა ადამიანისთვის ნაცნობი მოვლენებია. ეს მოვლენები ადამიანისთვის მხოლოდ უსიამოვნო სიურპრიზებია და სიცოცხლეს საფრთხეს არ უქმნის. **მოიძიე ინფორმაცია:**



ა) რა არის ასეთი მოვლენების ხელშემწყობი პირობები და როგორ ავიცილოთ ისინი თავიდან (მაგ., დაინტერესდი და გაარკვიე, რატომაა, რომ ზოგიერთი ადამიანი უფრო ხშირად ელექტროვდება, ზოგი კი – იშვიათად, როგორ „ებრძვიან“ ისეთ უსიამოვნო მოვლენას, როგორიცაა შალის, აბრეშუმისა და ნეილონის ტანსაცმლის დაელექტროება, რის შედეგადაც ისინი სხეულს ეკვრის, რა გავლენას ახდენს გარემო პირობები სტატიკური ელექტრობის წარმოქმნაზე)?
ბ) რატომ წარმოიქმნება ნაპერწკალი ტანსაცმლის გახდისას და რატომ არ არის საშიში „დენის დარტყმა“ ხელის ჩამორთმევისას?

გ) ახდენს თუ არა არასასურველ გავლენას ადამიანის ჯანმრთელობაზე სტატიკური ელექტრობის ხანგრძლივი ზემოქმედება? <http://bitly.ws/rYs4>



დავალეზა 2. მოიძიე ინფორმაცია: რა საფრთხეებს ქმნის ელექტროსტატიკური მოვლენები ფაბრიკა-ქარხნებში, საწარმოებში, ელექტრონულ მოწყობილობებთან მუშაობისას და როგორ ავირიდოთ ისინი თავიდან.



დავალეზა 3. შექმენი უსაფრთხოების წესების ჩამონათვალი სტატიკური ელექტრობის მავნე ზეგავლენისა და მისგან გამონეული საფრთხეების თავიდან ასაცილებლად.

ადამიანმა მოახერხა და სტატიკური ელექტრობა თავისი მიზნებისათვის გამოიყენა. მაგალითად, ხახუნისას დაელექტროვებული სხეულების ურთიერთქმედება საფუძვლად

უდევს ასლის გადამღები აპარატის – „ქსეროქსის“ მოქმედებას, საკონდიტრო საწარმოებში ცომის ზელის პროცესს (დაელექტროებული ფქვილი და წყალი ერთმანეთს ერევა და ცომის ერთგვაროვანი მასა მიიღება), ჰაერის გაწმენდას მტვრის ნაწილაკებისგან და ა. შ.



დავლება 4. დააკვირდი „ქსეროქსის“ გამართვებულ სქემას (სურ. 2). ახსენი აპარატის მოქმედების პრინციპი: აღწერე, როგორ მიიღება ორიგინალის ასლი.

ფურცელს, რომელზეც გადასაღები ტექსტია, აპარატში ათავსებენ და მძლავრი, კაშკაშა სინათლით ასხივებენ (ბ). ფურცლის თეთრი, დაუნერვლი ადგილებიდან სინათლე აირეკლება და აპარატის ძირითად ნაწილს – მბრუნავ ცილინდრს (ა) ხვდება. იმ ადგილებიდან კი, სადაც ნაწერია, სინათლე შედარებით ნაკლებად აირეკლება.

სპეციალური ნივთიერებით დაფარული ცილინდრის ზედაპირი უარყოფითადაა დამუხტული (ა). ცილინდრის ის ადგილები, რომლებსაც ფურცლიდან არეკლილი სინათლე ხვდება, განეიტრალდება. ის ადგილები (ბ), რომლებიც ორიგინალის ასობის მოხაზულობას იმეორებს, კვლავ უარყოფითად დამუხტული რჩება. რატომ?

ცილინდრს დამუხტული მელნის ფხვნილი – ტონერი ეყრება (გ) და იგი მხოლოდ იმ ადგილებს ეკრება, რომლებიც ორიგინალის მოხაზულობას იმეორებს. რა მოხდება ამ დროს? როგორ ფიქრობ, რა ნიშნის მუხტითაა დამუხტული ტონერი? რატომ? ცილინდრიდან ფხვნილი დამუხტული ქაღალდის სუფთა ფურცელზე გადადის (დ). გამოთქვი ვარაუდი, რა ნიშნის მუხტი უნდა ჰქონდეს ქაღალდს? რატომ?

რა მოხდება ამის შემდეგ? როგორ მიიღება ორიგინალის ასლი? მოიძიე ინფორმაცია და ახსენი „ქსეროქსის“ მოქმედების პრინციპი. შენთვის საჭირო ინფორმაცია, შეგიძლია, მოიძიო ინტერნეტში მისამართებზე:

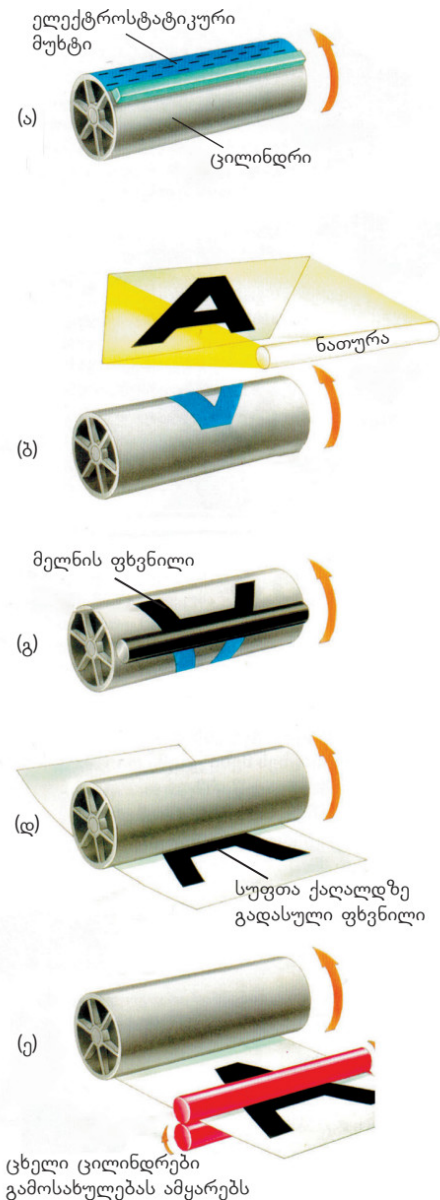
<http://bitly.ws/okEm>

<http://bitly.ws/okEo>

<http://bitly.ws/okEv>

წარმოადგინე პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. როგორ წარმოიქმნება სტატიკური მუხტები, მიზეზშედეგობრივი კავშირი პრეზენტაციაში აღწერილ ყველა ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამოწვეული, რა შედეგი მოჰყვება);
2. მაგალითები/მოვლენები, რომლებიც ასახავს ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნიკაში სტატიკური ელექტრობის გამოვლინებას;
3. როგორ იყენებს ადამიანი დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას სასარგებლო მიზნებისთვის;
4. საფრთხეები, რომლებიც ელექტროსტატიკურ მოვლენებს ახლავს თან;
5. რა ზომების მიღებაა საჭირო სტატიკური ელექტრობის თანამდევ მოვლენებისა და საფრთხეების თავიდან ასაცილებლად.



სურ. 2





სურ. 1

მკვეთრი ფერების პალიტრა და თავბრუდამხვევი არომატები – ეს ყვავილთა ერთგვარი „სარეკლამო“ შეთავაზებაა, რომლითაც ფუტკრებს ეპატიჟებიან... მეცნიერებმა დაამტკიცეს, რომ დამტვერვის პროცესში ელექტრული მუხტი არანაკლებ როლს თამაშობს, ვიდრე მხედველობა და ყნოსვა: როცა ფუტკრები ჰაერში დაფრინავენ, ჰაერის მოლეკულებსა და მტვრის ნაწილაკებს ეჯახებიან, რის შედეგადაც მათი სხეულის ზედაპირი დადებითად იმუხტება...

მეორე მხრივ, აღმოჩნდა, რომ ყვავილებს, როგორც წესი, უარყოფითი მუხტი აქვს (მეტადრე ნათელ და მზიან დღეებში). დადებითად დამუხტული ფუტკარი უარყოფითად დამუხტული ყვავილისკენ მიიზიდება და ყვავილის უარყოფითად დამუხტული მტვერი ფუტკარს ეკვრის (სურ.1)... ნახე ვიდეო, როგორ „ეხმარება“ ელექტრული მუხტი ყვავილსა და ფუტკარს ერთმანეთის აღმოჩენაში: <http://bitly.ws/rPGb>

რა არის ელექტრული მუხტი და რა თვისებები აქვს მას, ამ პარაგრაფში შეიტყობ.

1.4.1 ელექტრული მუხტი

შენ იცი, რომ მიზიდულობის კლასიკურ თეორიაში გრავიტაციული ურთიერთქმედება ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონით აღინერგება: **ნებისმიერ ორ სხეულს შორის მიზიდულობის ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია ამ სხეულთა მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ ცენტრებს შორის მანძილის კვადრატისა:**

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

სადაც თითოეული სხეულის მასა (m_1 და m_2) გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალას (იმას, თუ რამდენად ძლიერია მიზიდულობა სხეულებს შორის) განსაზღვრავს და სხეულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულს (F) მათ ცენტრებს შორის მანძილთან (r) აკავშირებს. სხეულის მასას **გრავიტაციულ მუხტსაც** უწოდებენ.

მასის (გრავიტაციული მუხტის) ანალოგიურად განიმარტება **ელექტრული მუხტი** კლასიკურ ელექტროდინამიკაში:

ელექტრული მუხტი სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც განსაზღვრავს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ძალას და დამუხტულ სხეულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულს მათ შორის მანძილთან აკავშირებს.

ელექტრული მუხტი q ასოთი აღინიშნება. **მუხტის ერთეული ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) 1 კულონია (1 კ).** კულონის განმარტება დენის ძალის ერთეულს უკავშირდება და ამ საკითხს მოგვიანებით განვიხილავთ. თუმცა ამ ეტაპზე 1 კულონ მუხტზე წარმოდგენის შესაქმნელად შეიძლება ითქვას: 1 კულონი ისეთი მუხტია, რომელიც ვაკუუმში 1 მ მანძილით დაშორებულ ისეთივე მუხტთან 9 გიგანიუტონი ძალით ურთიერთქმედებს.

1.4.2. ელექტრული მუხტის გაყოფა

ცდა 1

ცდისთვის საჭიროა: ორი ელექტრომეტრი, რომელთა ღეროებზე ზუსტად ერთნაირი სფეროებია დამაგრებული; ლითონის ჯოხი, რომელსაც არაგამტარი სახელური აქვს.



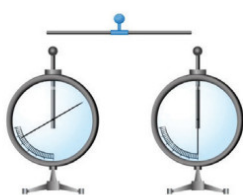
1. დამუხტე ერთი ელექტრომეტრის სფერო (სურ. 2). აიღე ელექტრომეტრის სკალაზე ანათვალი;

2. შეაერთე დამუხტული სფერო დაუმუხტავი ელექტრომეტრის **ზუსტად ისეთივე** სფეროსთან ლითონის ჯოხით, რომელსაც არაგამტარი სახელური აქვს (სურ. 3).

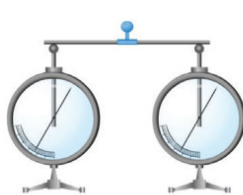
დააკვირდი: როგორც მოსალოდნელი იყო, მეორე ელექტრომეტრიც დაიმუხტა. ამასთან, მასზე პირველი ელექტრომეტრის მუხტის ნახევარი გადავიდა (შეადარე ორივე სკალის ანათვლები).

3. გააცალკევე ელექტრომეტრები და განმუხტე ერთ-ერთი მათგანი: შეეხე მას ხელით (სურ. 4);

4. კვლავ შეაერთე ლითონის ჯოხით დამუხტული ელექტრომეტრის სფერო (რომელზეც თავდაპირველი მუხტის ნახევარი დარჩა) დაუმუხტავი ელექტრომეტრის სფეროსთან (სურ. 5);



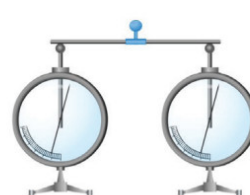
სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5

დააკვირდი და შეადარე: როგორია ელექტრომეტრების ჩვენება? რაზე მიგანიშნებს ეს? თავდაპირველი მუხტის რა ნაწილი დარჩა ამჯერად თითოეულ ელექტრომეტრზე?

გამოთქვი ვარაუდი, რა მოხდება, თუ ცდას კვლავ და კვლავ გაიმეორებ?

ელექტრული მუხტის გაყოფა შესაძლებელია: შეიძლება მივიღოთ თავდაპირველი მუხტის ნახევარი, მეოთხედი, მერვედი და ა. შ. დამუხტული გამტარი სფერული სხეული შეხებისას თავისი მუხტის ნახევარს გადასცემს მეორე, ისეთივე გამტარ სხეულს. რაც უფრო დიდია ზომით სხეული, რომელსაც მუხტი გადაეცემა, მით მეტია გადაცემული მუხტის მოდული. ამ მოვლენას ეფუძნება **დამინება** – დამუხტული სხეულის მუხტის დედამინისთვის გადაცემა: დედამინა იმდენად დიდია ყველა იმ სხეულთან შედარებით, რომლებიც მის ზედაპირზე იმყოფება, რომ მასთან შეხებისას დამუხტული სხეული **მთლიანად** გადასცემს დედამინას თავის მუხტს და ნეიტრალური ხდება. დამუხტული სხეულის გასანეიტრალეზად, განსამუხტავად, სხეულს გამტარით აერთებენ დედამინასთან.



სურ. 6.

1 ცნობილია, რომ ბენზინი ლითონთან ხახუნისას იმუხტება. ბენზინმზიდის კორპუსზე ლითონის ჯაჭვს კიდებენ, რომლის მეორე ბოლო მიწის ზედაპირს ეხება (სურ. 6). ახსენი, რატომ იქცევიან ასე.

1.4.3. ელემენტარული მუხტი

მტკიცდება, რომ მუხტის შემცირება უსასრულოდ შეუძლებელია, ანუ **არსებობს ელექტრული მუხტის დაყოფის ზღვარი**. 1897 წელს ინგლისელმა მეცნიერმა ტომსონმა აღმოაჩინა ნაწილაკი, რომელიც **უმცირესი, განუყოფელი**, ე. წ. **ელემენტარული მუხტის** მატარებელი აღმოჩნდა. ამ ნაწილაკს **ელექტრონი** უწოდეს.

როგორც უკვე იცით, ჩვეულებრივი სხეულების მუხტისგან განსხვავებით, ელექტრონის მუხტის მოდული მუდმივია: მისი შემცირება ან გაზრდა შეუძლებელია. **ელექტრონის მუხტის მოდულს ელემენტარულ მუხტს უწოდებენ და e ასოთი აღნიშნავენ:**

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ}$$

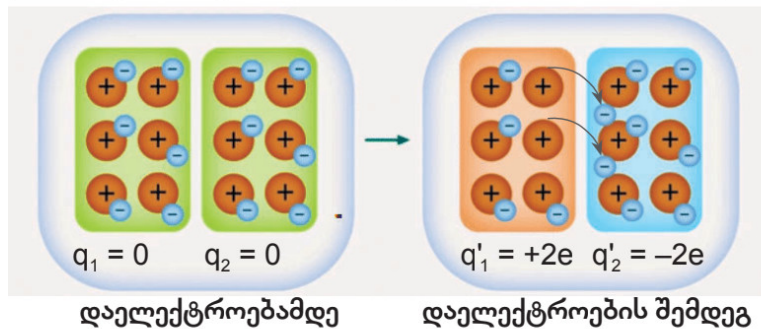
ბუნებაში ელემენტარულ მუხტზე უფრო მცირე მუხტი **დამოუკიდებლად** არ არსებობს.

1.4.4. მუხტის დისკრეტულობა

სხეული (ნაწილაკი) დაელექტროებისას კარგავს ან მიიერთებს ელექტრონების გარკვეულ რაოდენობას და, შესაბამისად, სხეულის (ნაწილაკის) მუხტი დაკარგული ან მიერთებული ელექტრონების რიცხვით განისაზღვრება (სურ. 7). **ნებისმიერი დამოუკიდებლად არსებული ნაწილაკისა და მაკროსკოპული სხეულის მუხტი ასე გამოითვლება:**

$$q = n e \quad (1)$$

სადაც e ელემენტარულ მუხტია, ხოლო n ნებისმიერი მთელი რიცხვი (ელექტრონისთვის $n = -1$, ხოლო პროტონისთვის $n = +1$, შესაბამისად $q_{\text{პრო}} = +e$ და $q_{\text{ელ}} = -e$).



სურ. 7

დაელექტროებად

დაელექტროების შემდეგ

იმის გამო, რომ **ბუნებაში ელემენტარულ მუხტზე უფრო მცირე მუხტი დამოუკიდებლად არ არსებობს**, ყველა ნაწილაკსა და მაკროსკოპულ სხეულზე არსებული მუხტის მოდული ან ელემენტარული მუხტის ტოლია ან მისი ჯერადია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **მუხტი დისკრეტულია**, მისი მოდული ნახტომისებურად იცვლება (e -თი, $2e$ -თი, $3e$ -თი... და ა. შ.).

2

1. ამოცანის ამოხსნისას ერთმა მოსწავლემ გამოთვლებში $8 \cdot 10^{-20}$ კ-ის ტოლი საკვლევი მუხტი მიიღო, მეორემ $-2,4 \cdot 10^{-20}$ კ, ხოლო მესამემ $-(-2,4 \cdot 10^{-18})$ კ. რომელმა დაუშვა გამოთვლებში შეცდომა?
2. რა რაოდენობის ელემენტარულ მუხტს შეესაბამება 1 კ ელექტრული მუხტი?

1.4.5. ელექტრული მუხტი ორგვარიანი

შენ უკვე იცით, რომ **ელექტრული მუხტი ორგვარიანი**: დადებითი და უარყოფითი. დაელექტროების დროს სხეული

- ა) დადებითად იმუხტება, თუ ის გასცემს ელექტრონებს ($q > 0$);
- ბ) უარყოფითად იმუხტება, თუ ის მიიერთებს ელექტრონებს ($q < 0$).

1.4.6. მუხტის ინვარიანტულობა

ელექტრული მუხტი ინვარიანტულია: სხეულის (ან ნაწილაკის) მუხტის მოდული ათვლის სისტემაზე დამოკიდებული არ არის. მუხტი სიჩქარეზე დამოკიდებული არ არის.

1.4.7. მუხტები იკრიბება

ელექტრული მუხტები იკრიბება: ნებისმიერი სისტემის მუხტი სისტემაში შემავალი სხეულების (ნაწილაკების) ჯამური მუხტის ტოლია:

$$q_{\text{სისტ}} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \quad (2)$$

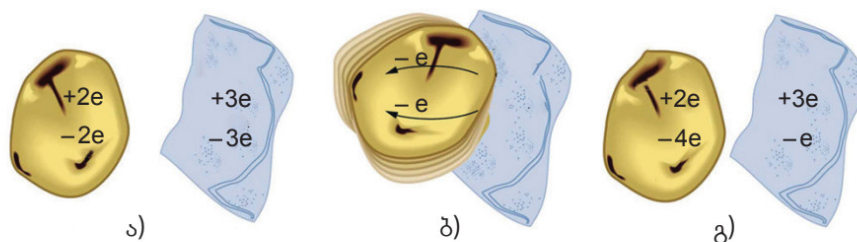
3 წვიმის წვეთი, რომელსაც $+6,72 \cdot 10^{-17}$ კ მუხტი ჰქონდა, შეერთდა წვეთთან, რომლის მუხტი $-10,08 \cdot 10^{-17}$ კ-ის ტოლია. როგორი იქნება შეერთების შედეგად მიღებული წვეთის მუხტი? რამდენი ზედმეტი ელექტრონი იქნება ასეთ წვეთზე?

1.4.8. მუხტის შენახვის კანონი

შენ იცი, რომ ორი სხეულის, მაგ., ქარვისა და შალის ქსოვილის, ერთმანეთზე გახახუნებისას **ორივე დაელექტროვდება**. ქარვა უარყოფითად იმუხტება: ელექტრონები შალის ქსოვილიდან ქარვაზე გადადის. შალის ქსოვილზე ელექტრონების (ანუ უარყოფითი მუხტის) დანაკლისი შეიქმნება და ქსოვილი დადებითად დაიმუხტება.

4

ქარვისა და შალის ქსოვილის დაელექტროების მოვლენა მე-8 სურათზე სქემატურადაა გამოსახული. ელექტრონებისა და პროტონების რაოდენობა სხეულებზე პირობითადაა აღნიშნული.



სურ. 8

1. აღწერე მოვლენის ა, ბ და გ ეტაპები;
2. **დაფიქრდი:** რისი ტოლია ქარვისა და ქსოვილის საერთო მუხტი:
 - ა) დაელექტროებამდე (სურ. 8 ა)? ბ) დაელექტროების შემდეგ (სურ. 8 გ)?
3. **გამოიტანე დასკვნა:** იცვლება თუ არა დაელექტროებისას შემხები სხეულების ჯამური მუხტი? ახსენი, რატომ?

მოდი, ჩავატაროთ ცდა და ექსპერიმენტულად შევამოწმოთ, რამდენად სწორია დასკვნა, რომელიც მე-4 დავალების ანალიზის შედეგად გამოიტანე.

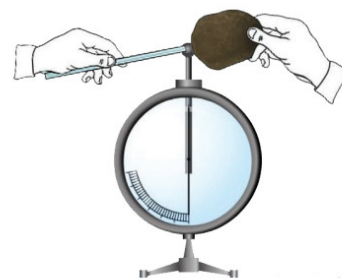
ცდა II



ცდისთვის საჭიროა: პლასტმასის (ებონიტის) ჯოხი, შალის ქსოვილი, ელექტროსკოპი.



1. შეახე ელექტროსკოპს ებონიტის ჯოხი და შალის ქსოვილი ერთდროულად (სურ. 9). დააკვირდი ელექტროსკოპის ფირფიტებს. რა შეამჩნიე? რისი ტოლია ჯოხისა და ქსოვილის ჯამური მუხტი?
2. დამუხტე ჯოხი ქსოვილზე ხახუნით;
3. შეახე ელექტროსკოპის სფეროს ჯერ დამუხტული ჯოხი, ხოლო შემდეგ ქსოვილი (ისე, რომ ჯოხი სფეროს არ მოაცილო). **აღწერე** ცდის შედეგი და ახსენი ის.



სურ. 9

4. შეადარე ერთმანეთს პლასტმასის სხეულისა და ქსოვილის მუხტები:

ა) მოდულით; ბ) ნიშნით.

5. გამოიტანე დასკვნა: იცვლება თუ არა დაელექტროებისას შემხები სხეულების ჯამური მუხტი?

ცხადია, ცდის შედეგის ახსნა არ გაგიჭირდება. შენ იცი, რომ ხახუნის შედეგად სხეულთა დაელექტროებისას დამუხტული ნაწილაკები (ელექტრონები) არც ქრება და არც ახალი წარმოიქმნება. ელექტრონები შემხებ სხეულთა შორის გადანაწილდება: ერთი სხეული გასცემს ელექტრონებს, ხოლო მეორე მათ მიიერთებს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **ხახუნისას (შეხებისას) ორივე სხეული იმუხტება**. მათი მუხტები მოდულით ტოლი და ნიშნით საპირისპიროა. სხეულთა ჯამური მუხტი კი ნულის ტოლი რჩება (ანუ ისეთივე, როგორც დაელექტროებამდე იყო) – არ იცვლება, ინახება.

სხეულთა დაელექტროება, გარდა შენთვის ცნობილი ხერხებისა, სხვა გზებითაცაა შესაძლებელი (მაგ., სინათლის ზემოქმედებით). ნებისმიერ შემთხვევაში დაელექტროების მოვლენა **მუხტის შენახვის კანონს** ემორჩილება. კანონი სამართლიანია სხეულთა (ნაწილაკთა) ჩაკეტილი, იზოლირებული სისტემისთვის, ანუ ისეთი სისტემისთვის, რომელშიც გარედან არ შედის და რომლიდანაც გარეთ არ გამოდის დამუხტული ნაწილაკები.

მუხტის შენახვის კანონის თანახმად,

ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი სხეულების (ნაწილაკების) ჯამური ელექტრული მუხტი არ იცვლება:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const} \quad (3)$$

მუხტის შენახვის კანონი შეიძლება შემდეგი ტოლობითაც ჩავწეროთ:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = q_1' + q_2' + \dots + q_n' \quad (4)$$

მე-4 ტოლობის მარცხენა და მარჯვენა მხარე სისტემის ჯამურ მუხტს გამოსახავს დროის სხვადასხვა მომენტში.

მიკროსამყაროში ნაწილაკების რიცხვი იზოლირებულ სისტემაშიც შეიძლება შეიცვალოს (მაგ., ელემენტარული ნაწილაკების ურთიერთგარდაქმნისას შესაძლებელია ახალი ნაწილაკების წარმოქმნა). მუხტის შენახვის კანონი ამ შემთხვევაშიც სრულდება.

5

1. ლითონის ორი ერთნაირი დამუხტული ბურთულა ჯერ ერთმანეთს შეახვს, შემდეგ კი გააცალკევებს. გამოთვალე თითოეული ბურთულის მუხტი შეხების შემდეგ. **განიხილე შემთხვევები:** ბურთულების სანწყისი მუხტები

ა) ერთნაირნიშნაანია და ერთის მუხტი მოდულით α -ჯერ აღემატება მეორისას;

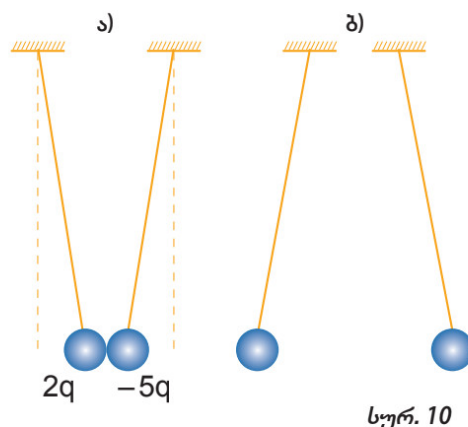
ბ) სხვადასხვანიშნაანია და ერთის მუხტი მოდულით α -ჯერ აღემატება მეორისას;

გ) ერთნაირია მოდულითა და ნიშნით;

დ) მოდულით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო.

გაანალიზე: როგორ იცვლება ბურთულების მუხტის მოდული თითოეულ შემთხვევაში?

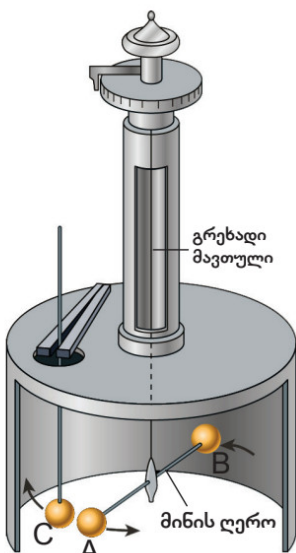
2. აბრეშუმის ძაფებზე დაკიდებულია ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულა. ბურთულებმა ერთმანეთი ჯერ მიიზიდეს (სურ. 10 ა), ხოლო შეხების შემდეგ განიზიდეს (სურ. 10 ბ). ახსენი, რატომ განიზიდეს ბურთულებმა ერთმანეთი.



1.5 კულონის კანონი



სურ. 1



სურ. 2

1785 წელს, პარიზის მეცნიერებათა აკადემიის წევრმა, ფრანგმა ფიზიკოსმა და სამხედრო ინჟინერმა, **შარლ ოგიუსტენ კულონმა** (სურ. 1) ისტორიული ცდა ჩაატარა და ექსპერიმენტულად დაადგინა **ელექტროსტატიკის ძირითადი კანონი**, რომელიც უძრავ ელექტრულ მუხტებს შორის ურთიერთქმედებას აღწერს. კანონს მოგვიანებით მის პატივსაცემად **კულონის კანონი** ეწოდა.

როგორ შეძლო კულონმა ფიზიკის ერთ-ერთი ფუნდამენტური კანონის აღმოჩენა მაშინ, როცა მას ზუსტი ლაბორატორიული ხელსაწყო პრაქტიკულად არ ჰქონდა? კულონის ექსპერიმენტი კიდევ ერთი დადასტურებაა იმისა, რომ ადამიანის გამომგონებლობას, მის გონებრივ შესაძლებლობას საზღვარი არა აქვს!

ცდებში კულონი ლითონის დამუხტულ ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულს ზომავდა და ამ მიზნით **გრეხით სასწორს** იყენებდა (რომლის დახმარებითაც თავის დროზე ჰენრი კავენდიშმა გრავიტაციული მუდმივას რიცხვითი მნიშვნელობა ექსპერიმენტულად განსაზღვრა).

1.5.1. კულონის ექსპერიმენტი

დააკვირდი მე-2 სურათს: მასზე გრეხითი სასწორის სქემატური ნახაზია გამოსახული: კულონმა ადვილად გრეხად წვრილ ვერცხლის მავთულზე მინის მსუბუქი ღერო შუანერტილით დაკიდა და მის ბოლოებზე ლითონის პატარა ბურთულები (A და B) დაამაგრა. ღერო ჰორიზონტალურ მდგომარეობაშია განონასწორებული. სასწორის სახურავზე არაგამტარი ვერტიკალური ღეროს დახმარებით კიდევ ერთი ბურთულაა (C) უძრავად დაკიდებული. კულონი A და C ბურთულებს ერთნაირნიშნის მუხტს გადასცემდა.

ბურთულები ერთმანეთს განიზიდავდა. კულონი მათ შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულს მინის ღეროს შემობრუნების კუთხით განსაზღვრავდა, დამუხტული ბურთულების ცენტრებს შორის მანძილს კი სკალაზე აითვლიდა.

ექსპერიმენტის შედეგებზე დაყრდნობით კულონი მივიდა დასკვნამდე, რომ **უძრავ, პატარა ზომის დამუხტულ ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია:**

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

1 დაფიქრდი:

- რა საჭირო იყო კულონის ცდაში B ბურთულა?
- როგორ შეიცვლებოდა ექსპერიმენტის შედეგი, თუ კულონი A და C ბურთულებს სხვადასხვანიშნის მუხტს მიანიჭებდა? როგორ აისახებოდა ეს ცვლილება კულონის დასკვნაზე?

კულონს არ ჰქონდა ხელსაწყო, რომლის დახმარებითაც დამუხტული ბურთულების მუხტს გაზომავდა. უფრო მეტიც, იმ დროს მუხტის საზომი ერთეულიც კი არ არსებ-

ბობდა! კულონი მიხვდა, რომ ბურთულების მუხტის აბსოლუტური სიდიდის ცოდნა აუცილებელი არც იყო. მთავარი იყო, ზუსტად განესაზღვრა, როგორ იყო დამოკიდებული ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული მათივე მუხტის მოდულზე.

მეცნიერმა მახვილგონივრული და მარტივი გამოსავალი იპოვა: თუ დამუხტულ გამტარ ბურთულას ისეთივე, ოდონდ დაუმუხტავ ბურთულას შეახებდა, დამუხტული ბურთულის მუხტი ნახევრდებოდა...

კულონი A და C ბურთულების მუხტს თანდათან ამცირებდა (2-ჯერ, 4-ჯერ და ა.შ.) და საცდელ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულს ყოველ ჯერზე ზომავდა. საბოლოოდ, ის მივიდა დასკვნამდე, რომ ძალის მოდული მუხტების მოდულების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია:

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

კულონის ექსპერიმენტი ძალიან ზუსტი არ იყო: გაზომვები ჰაერში ტარდებოდა, რაც მათ ცდომილებას უმნიშვნელოდ, მაგრამ მაინც ზრდიდა. ამასთან, ბურთულების ზომები მათ შორის ურთიერთქმედების ძალაზე გავლენას ახდენდა. ამიტომ კულონმა თავისი თეორია ვაკუუმში მოთავსებული დამუხტული ნერტილოვანი სხეულებისთვის, ანუ როგორც ხშირად ამბობენ ხოლმე, **ნერტილოვანი მუხტებისთვის**, ჩამოაყალიბა.

ნერტილოვანი მუხტი რეალურად არ არსებობს, ის ისეთივე აბსტრაქციაა, როგორიც მატერიალური ნერტილი (გაიხსენე, რა არის მატერიალური ნერტილი?), მაგრამ **თუ დამუხტულ სხეულთა ზომები გაცილებით მცირეა მათ შორის მანძილზე, დამუხტული სხეულები (მათი მუხტი) შეიძლება ნერტილოვნად ჩაითვალოს**. კულონი მიხვდა, რომ ასეთ შემთხვევაში ურთიერთქმედების ძალის მოდული დამუხტული სხეულების ზომასა და ფორმაზე დამოკიდებული არ არის.

2 დაფიქრდი:

შეიძლება თუ არა, ნერტილოვნად ჩაითვალოს მუხტი, რომელიც გადანაწილებულია იმ სფეროს ზედაპირზე, რომლის დიამეტრი 1 მ-ია, ხოლო მანძილი, რომლითაც სფერო მეორე ისეთივე დამუხტული სფეროსგანაა დაშორებული, არის ა) 1 მ; ბ) 1 კმ.

1.5.2. კულონის კანონი

ცდების შედეგებზე დაყრდნობით კულონმა ბუნების ერთ-ერთი ფუნდამენტური კანონი (ექსპერიმენტით დამტკიცებული კანონი, რომელიც არც ერთი სხვა კანონიდან არ გამომდინარეობს) ჩამოაყალიბა, რომელიც **კულონის კანონის** სახელითაა ცნობილი:

ვაკუუმში ორ ნერტილოვან უძრავ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

კულონის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad (1)$$

სადაც k პროპორციულობის კოეფიციენტია, $|q_1|$ და $|q_2|$ მუხტების აბსოლუტური სიდიდეებია (მოდულებია), ხოლო r მუხტებს შორის მანძილია.

უძრავ ელექტრულ მუხტებს შორის ურთიერთქმედებას ელექტროსტატიკური, ანუ კულონური, ურთიერთქმედება ეწოდება, ამ ურთიერთქმედებისას აღძრულ, 1-ლი ფორმულით გამოსახულ ძალას კი – **კულონური ძალა**.

1.5.3. პროპორციულობის კოეფიციენტი კულონის კანონში

დააკვირდი: კულონის კანონიდან გამომდინარეობს, რომ k პროპორციულობის კოეფიციენტი ასე გამოისახება:

$$k = \frac{Fr^2}{|q_1| \cdot |q_2|} \quad (2)$$

შესაბამისად, SI-ში k -ს ერთეულია: $\frac{\text{ნმ}^2}{\text{კ}^2}$.

ექსპერიმენტულად დადგენილია **SI-ში k -ს რიცხვითი მნიშვნელობა:**

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{ნმ}^2}{\text{კ}^2} \quad (3)$$

რა არის k -ს ფიზიკური არსი? დააკვირდი კულონის ძალის გამოსახულებას: k რიცხობრივად იმ ძალის მოდულის ტოლია, რომელიც ვაკუუმში მოთავსებულ 1 კ მუხტებს შორის 1 მ მანძილზე მოქმედებს.

მიღებულია, რომ **SI-ში k პროპორციულობის კოეფიციენტი ასეც შეიძლება ჩაიწეროს:**

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (4)$$

ϵ_0 -ს **ელექტრული მუდმივა** ჰქვია (ϵ ბერძნული ასოა და იკითხება, როგორც „ეფსი-ლონ“) და მისი რიცხვითი მნიშვნელობა ასე გამოისახება:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{კ}^2}{\text{ნმ}^2} \quad (5)$$

მე-4 ტოლობის გათვალისწინებით, **კულონის კანონი შეიძლება ასეც ჩაიწეროს:**

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (6)$$

1.5.4. მუხტის ერთეულები

3

1. გამოთვალე:

ა) ორ დამუხტულ სხეულს შორის ურთიერთქმედების კულონური ძალის მოდული, თუ თითოეული მუხტის აბსოლუტური სიდიდე 1 კ-ის ტოლია, ხოლო მათ შორის მანძილი 1 კმ-ია;

ბ) გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალის მოდული, რომლითაც დედამიწა ზედაპირის მახლობლად მოთავსებულ 1 ტ მასის სხეულს იზიდავს ($g \approx 9,8 \text{ მ/წმ}^2$);

2. შეადარე ერთმანეთს შენ მიერ გამოთვლილი ძალების მოდულები. შეეცადე, წარმოიდგინო, რამდენად დიდია იმ კულონური ძალის მოდული, რომლითაც 1 კმ-ით დაშორებული ორი, 1 კ-ის ტოლი, მუხტი ურთიერთქმედებს და შეაფასე: შენი აზრით, რამდენად დიდი მუხტია 1 კულონი?

იცი, რომ **მუხტის ერთეული SI-ში 1 კულონია**. იმ ექსპერიმენტების დროს, რომლებსაც სხეულთა დაელექტროების შესწავლისას ვატარებდით, სხეულებზე გროვდება მუხტები, რომელთა მოდულები მილიონჯერ და მილიარდჯერ ნაკლებია 1 კულონზე, ამიტომ პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება მუხტის სხვა ერთეულები:

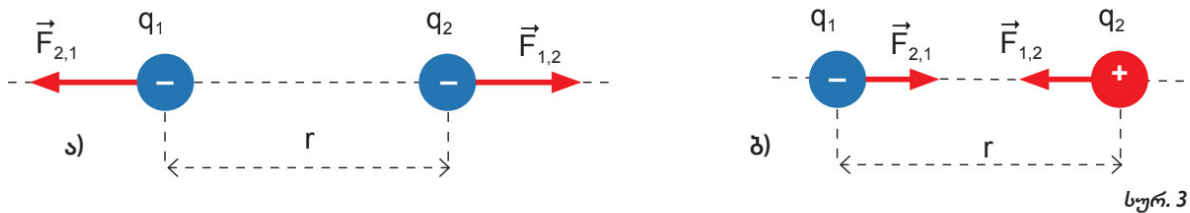
1 მიკროკულონი (1 მკკ) = 10^{-6} კ; 1 ნანოკულონი (1 ნკ) = 10^{-9} კ.

1.5.5. კულონური ძალის მიმართულება

კულონური ურთიერთქმედება ნიუტონის III კანონს ემორჩილება: მუხტები ერთმანეთზე მოქმედებს მოდულით ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალებით:

$$\vec{F}_{2,1} = -\vec{F}_{1,2}$$

კულონური ძალა მუხტების (მათი ცენტრების) შემაერთებული წრფის გასწვრივაა მიმართული (სურ. 3) და ძალის მიმართულება იმის მიხედვით განისაზღვრება, მუხტები ერთნაირნიშნაა (სურ. 3ა) თუ სხვადასხვანიშნაა (სურ. 3ბ):



4

ეს ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონის მათემატიკური ჩანაწერია:

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

ეს კი კულონის კანონის:

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

ჩამოაყალიბე, რა მსგავსება და განსხვავებაა ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობისა და კულონის კანონს შორის. წარმოადგინე მსგავსება და განსხვავება დიაგრამის ან ცხრილის სახით. თუმცა მანამდე დაფიქრდი:

- როგორი სხეულებისთვისაა დადგენილი მსოფლიო მიზიდულობის კანონი? როგორი მუხტებისთვისაა დადგენილი კულონის კანონი?
- რა როლს ასრულებს მასა გრავიტაციულ ურთიერთქმედებაში? მუხტი კულონურ ურთიერთქმედებაში?
- როგორ არის დამოკიდებული
 - მსოფლიო მიზიდულობის ძალის მოდული სხეულთა მასებზე? მათ ცენტრებს შორის მანძილზე?
 - კულონის ძალის მოდული მუხტების მოდულზე? მუხტებს შორის მანძილზე?
- ახდენს თუ არა გავლენას კულონურ ურთიერთქმედებაზე გარემო? გრავიტაციულზე?
- ემორჩილება თუ არა ნიუტონის III კანონს კულონური ურთიერთქმედება? გრავიტაციული? როგორია გრავიტაციული ძალის მიმართულება? კულონური ძალის?
- როგორი სახით (მიზიდვისა თუ განზიდვის სახით) ვლინდება გრავიტაციული ურთიერთქმედება? კულონური ურთიერთქმედება? როგორ ფიქრობ, რა არის ამის მიზეზი?
- რა ფიზიკური არსი აქვს პროპორციულობის კოეფიციენტს მსოფლიო მიზიდულობის კანონში? კულონის კანონში? რაზე მეტყველებს G -სა და k -ს რიცხვით მნიშვნელობებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება?
- გამოთვალე წყალბადის ატომში ელექტრონისა და პროტონს შორის კულონური და გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალების მოდულები და შეადარე (ჩათვალე, რომ ელექტრონი უძრავი ბირთვის, პროტონის, გარშემო მოძრაობს და მისი ორბიტის რადიუსია $r \approx 5 \cdot 10^{-11}$ მ).

1.6.1. კულონის კანონი

გაიხსენე, კულონის კანონით წერტილოვან მუხტებს შორის ურთიერთქმედება აღინერება. თუ მუხტები წერტილოვანი არ არის, მათ შორის ურთიერთქმედების ძალის გამოსათვლელად დამუხტული სხეულები უნდა განვიხილოთ, როგორც უამრავი წერტილოვანი მუხტის ერთობლიობა. შემდეგ კი ყველა იმ ძალის ტოლქმედი უნდა ვიპოვოთ, რომლებიც წერტილოვანი მუხტების ყოველ წყვილს შორის მოქმედებს. ეს საკმაოდ რთული ამოცანაა და ფიზიკის სასკოლო კურსში არ განიხილება.

ხშირად ამოცანების ამოხსნისას საჭიროა ურთიერთქმედების ძალის გამოთვლა ისეთ ორ დამუხტულ ბურთულას შორის, რომლებიც, ამოცანის პირობებიდან გამომდინარე, წერტილოვნად არ შეიძლება მივიჩნიოთ.

დადგენილია, რომ, თუ ბურთულების (ან სფეროების) მუხტი ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული, შეგვიძლია, ჩავთვალოთ, რომ მთელი მუხტი ბურთულების ცენტრშია თავმოყრილი. ასეთ შემთხვევაში ბურთულებს შორის ურთიერთქმედება კულონის კანონით აღინერება და იგულისხმება, რომ ბურთულებს შორის მანძილი მათ ცენტრებს შორის მანძილია. შევთანხმდეთ, რომ ამოცანების ამოხსნისას სწორედ ასეთ ბურთულებს (სფეროებს) შორის ურთიერთქმედება იქნება განხილული.



ამოცანა 1

ლითონის ორი ერთნაირი დამუხტული ბურთულიდან ერთი მათგანის მუხტის აბსოლუტური სიდიდე α -ჯერ მეტია მეორისაზე. ბურთულები ჯერ ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ ისევ თავდაპირველი მანძილით დააშორეს.

განსაზღვრე, როგორ შეიცვლება ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული შეხების შემდეგ, თუ ბურთულები დამუხტულია ერთნაირნიშნის მუხტებით.

ჩათვალე, რომ დამუხტული სხეულები ვაკუუმშია მოთავსებული.

მოც.: $q_1 = q$; $q_2 = \alpha q$; $r_1 = r_2 = r$. უკ.: $\frac{F'}{F}$

ამოხსნა:

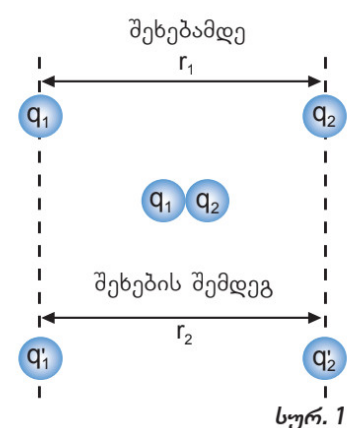
1. ბურთულების სისტემა იზოლირებულია. მუხტის შენახვის კანონის თანახმად

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2' \quad (1)$$

სადაც $q_1 + q_2$ სისტემის ჯამური მუხტია შეხებამდე, ხოლო $q_1' + q_2'$ სისტემის ჯამური მუხტია შეხების შემდეგ.

2. თუ ლითონის დამუხტულ ბურთულებს ერთმანეთს შეახებთ და შემდეგ ისევ დააშორებთ, იმის გამო, რომ ბურთულები ერთნაირია, ბურთულების ჯამური მუხტი მათ შორის ტოლად გადანაწილდება:

$$q_1' = q_2' = q' \quad (2)$$



3. 1-ლი და მე-2 ტოლობის გათვალისწინებით მივიღებთ: გაცალკევების შემდეგ თითოეულ ბურთულაზე აღმოჩნდება ერთნაირი მუხტი, რომლის მოდული ასე გამოითვლება:

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} \quad (3)$$

4. ამოცანის მოცემულობიდან გამომდინარე, ჩანს, რომ:

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q + \alpha q}{2} = \frac{q(1 + \alpha)}{2} \quad (4)$$

5. კულონის კანონის თანახმად, ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული ასე გამოითვლება:

ა) შეხებამდე:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = k \frac{|q| \cdot |\alpha q|}{r^2} = k \frac{\alpha \cdot q^2}{r^2} \quad (5)$$

ბ) შეხებისა და გაცალკევების შემდეგ (მე-4 თანაფარდობის გათვალისწინებით):

$$F' = k \frac{|q'_1| \cdot |q'_2|}{r^2} = k \frac{q'^2}{r^2} = \frac{k}{r^2} \cdot \frac{q^2(1 + \alpha)^2}{2^2} \quad (6)$$

6. იმისათვის, რომ შევადაროთ F და F' ძალების მოდულები, განვიხილოთ შეფარდება: $\frac{F'}{F}$. მივიღებთ, რომ

$$\frac{F'}{F} = \frac{(1 + \alpha)^2}{4\alpha} \quad (7)$$

1

1. ამოხსენი 1-ლი ამოცანა იმ შემთხვევისთვის, როცა ბურთულები დამუხტულია სხვადასხვანიშნის მუხტებით;

2. ლითონის ორი ერთნაირი დამუხტული ბურთულა ჯერ ერთმანეთს შეახეს, შემდეგ კი გააცალკევეს. განსაზღვრე, როგორ შეიცვლება ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული შეხების შემდეგ, თუ ბურთულების საწყისი მუხტები:

ა) ერთნაირია მოდულითა და ნიშნით;

ბ) მოდულით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო.

3. გაანალიზე ზემოთ განხილული შემთხვევები და გამოიტანე დასკვნა: რომელ შემთხვევაშია შესაძლებელი ცალსახად განვსაზღვროთ, როგორ შეიცვლება ურთიერთქმედების ძალის მოდული მას შემდეგ, რაც ბურთულებს ერთმანეთს ჯერ შევახებთ, შემდეგ კი საწყის მდებარეობაში დავაბრუნებთ?

2. გადაიტანე სამუშაო რვეულში I ცხრილი და შეავსე შენ მიერ გამოტანილი დასკვნების მიხედვით:

ცხრილი I

	ბურთულების მუხტები შეხებამდე	ურთიერთქმედების ძალის მოდული:
ა	ერთნაირნიშნისა;	გაიზრდება
ბ	სხვადასხვანიშნისა;	
გ	ერთნაირია მოდულითა და ნიშნით;	
დ	მოდულით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო.	

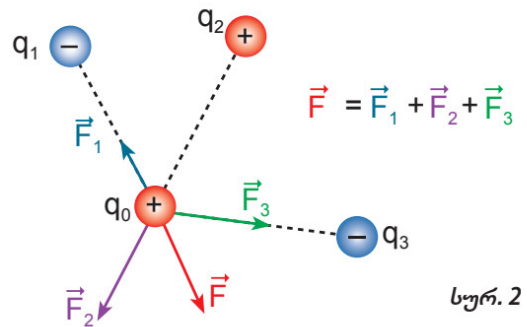
1.6.2. ძალთა სუპერპოზიციის პრინციპი

ნებისმიერ ორ წერტილოვან უძრავ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ხასიათი და-
მოკიდებული არ არის იმაზე, ურთიერთქმედებენ თუ არა ისინი იმავედროულად სხვა
მუხტებთანაც, ანუ სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, q_1 და q_2 წერტილოვან უძრავ მუხტებს
შორის ურთიერთქმედების ძალა არ შეიცვლება მათ ახლოს მესამე q_3 მუხტის (ან თუნდაც
კიდევ რამდენიმე მუხტის) გაჩენისას, მიუხედავად იმისა, რომ q_3 მუხტი, თავის მხრივ,
გარკვეული ძალით იმოქმედებს q_1 და q_2 მუხტებზე.

თუ წერტილოვან უძრავ q_0 მუხტზე დანარჩენი
 $q_1; q_2; q_3; \dots q_n$ წერტილოვანი უძრავი მუხტების
მხრიდან $\vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{F}_3; \dots; \vec{F}_n$ კულონური ძალები
მოქმედებს, მაშინ q_0 მუხტზე მოქმედი ტოლქმედი
ძალა ყველა ძალის გეომეტრიული ჯამის ტოლია:

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

ასე რომ, თითოეულ მუხტზე დანარჩენი
მუხტების მხრიდან ერთმანეთისგან დამოუკი-
დებლად მოქმედებს სხვადასხვა კულონური ძალა, რომელთა ტოლქმედი ამ ძალების
გეომეტრიული ჯამის ტოლია (სურ. 2). ეს ძალთა სუპერპოზიციის (ზედღების) პრინციპია.



სურ. 2



ამოსანა 2

ვაკუუმში მოთავსებული ორი წერტილოვანი მუხტი ($q_1 = -10$ ნკ, $q_2 = 20$ ნკ) ერთმა-
ნეთისგან 1 მეტრითაა დაშორებული. მუხტების შემაერთებელ წრფეზე, მათ შუაში,
მესამე წერტილოვანი მუხტი მოათავსეს ($q_3 = 3$ ნკ).

განსაზღვრე თითოეულ მუხტზე მოქმედი კულონურ ძალთა ტოლქმედი.

მოც.: $q_1 = -10$ ნკ; $q_2 = 20$ ნკ; $q_3 = 3$ ნკ; $r_{2,1} = 1$ მ; $r_{3,1} = r_{2,3} = 0,5$ მ.

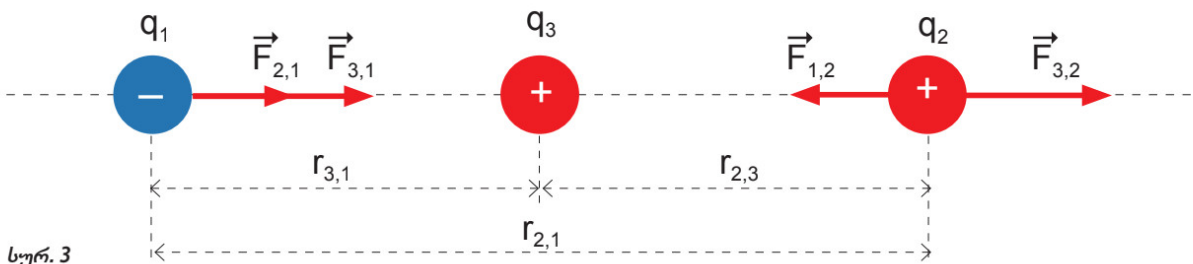
უ.ვ.: $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$.

ამოხსნა

1. გაიხსენე: კულონური ურთიერთქმედების ძალები მუხტების შემაერთებელი
წრფის გასწვრივაა მიმართული.

დააკვირდი მე-3 სურათს: q_1 მუხტზე მოქმედებს:

- q_2 მუხტის მხრიდან მიზიდვის $\vec{F}_{2,1}$ ძალა;
- q_3 მუხტის მხრიდან მიზიდვის $\vec{F}_{3,1}$ ძალა.



სურ. 3

2. ძალთა სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე, q_1 მუხტზე მოქმედი
ძალების ტოლქმედი ასე გამოითვლება:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{2,1} + \vec{F}_{3,1}$$

3. $\vec{F}_{2,1}$ და $\vec{F}_{3,1}$ ერთი წრფის გასწვრივ ერთ მხარეს მიმართული ძალებია, ამიტომ მათი ტოლქმედის მიმართულება ემთხვევა $\vec{F}_{2,1}$ და $\vec{F}_{3,1}$ ძალების მიმართულებას, ხოლო მოდული ასე გამოითვლება:

$$F_1 = F_{2,1} + F_{3,1} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{2,1}^2} + k \frac{|q_3||q_1|}{r_{3,1}^2} = 2,88 \text{ მკნ}$$

4. q_2 მუხტზე მოქმედებს:

- q_1 მუხტის მხრიდან მიზიდვის $\vec{F}_{1,2}$ ძალა;
- q_3 მუხტის მხრიდან განზიდვის $\vec{F}_{3,2}$ ძალა.

5. ძალთა სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე, q_2 მუხტზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ასე გამოითვლება:

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{3,2}$$

6. $\vec{F}_{1,2}$ და $\vec{F}_{3,2}$ ერთი წრფის გასწვრივ საპირისპიროდ მიმართული ძალებია, ამიტომ მათი ტოლქმედის მოდული

$$F_2 = |F_{1,2} - F_{3,2}| = \left| k \frac{|q_2||q_1|}{r_{2,1}^2} - k \frac{|q_3||q_2|}{r_{3,2}^2} \right| = 0,36 \text{ მკნ}$$

7. განზიდვის $\vec{F}_{3,2}$ ძალა მოდულით მეტია მიზიდვის $\vec{F}_{1,2}$ ძალაზე, ამიტომ q_2 მუხტზე მოქმედი $\vec{F}_2$ ტოლქმედის მიმართულება ემთხვევა $\vec{F}_{3,2}$ ძალის მიმართულებას.

2

გამოსახე q_3 მუხტზე (იხ. მე-2 ამოცანა) დანარჩენი მუხტების მხრიდან მოქმედი ძალები ნახაზზე. განსაზღვრე ამ ძალთა ტოლქმედი.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგელო:

- q_3 მუხტზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის მოდული $F_3 = 3,24$ მკნ.
- $\vec{F}_3$ ტოლქმედი მიმართულია მარცხნივ, მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ.



ამოსანა 3

ვაკუუმში მოთავსებული ორი წერტილოვანი მუხტი, რომელთა მუხტებია

$q_1 = -9 \text{ ნკ}$ და $q_2 = -36 \text{ ნკ}$, ერთმანეთისგან 3 მეტრითაა დაშორებული. როცა მუხტების მახლობლად, რომელიღაც წერტილში მესამე წერტილოვანი q_3 მუხტი მოათავსეს, სამივე მუხტი წონასწორობაში აღმოჩნდა. განსაზღვრე, სად მდებარეობს q_3 მუხტი, რისი ტოლია მისი მოდული და მანძილი, რომლითაც ის q_1 მუხტისგანაა დაშორებული. გაარკვე, მდგრადია თუ არა სისტემის წონასწორობა.

მოც.: $q_1 = -9 \text{ ნკ}$; $q_2 = -36 \text{ ნკ}$; $r_{1,2} = 3 \text{ მ}$.

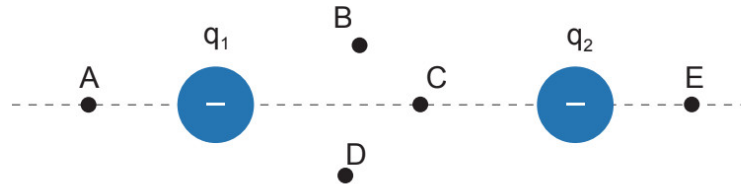
უკ.: q_3 , $r_{1,3}$.

ამოხსნა

1. გაიხსენე: „სხეული წონასწორობაში“ ნიშნავს, რომ სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია. შესაბამისად, სისტემა წონასწორობაში იქნება მაშინ, თუ მასში შემავალ ყველა მუხტზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია.

2. ვთქვათ, $q_3 < 0$. განიხილე q_3 მუხტის მდებარეობა სხვადასხვა (A, B, C, D, E) წერტილში (სურ. 4):

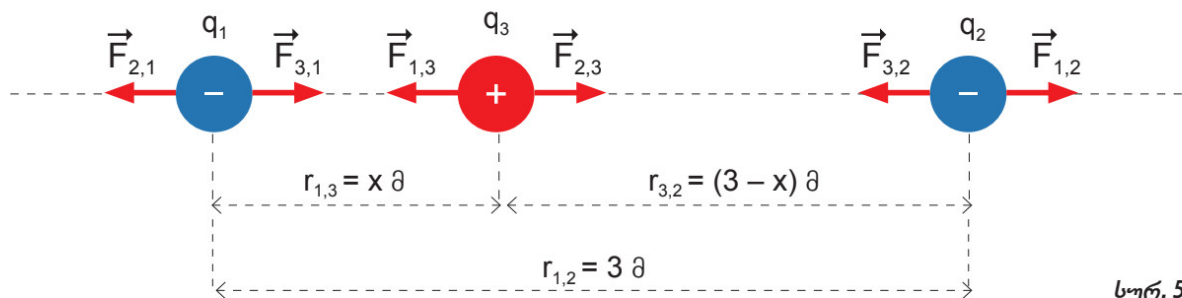
გამოსახე მუხტებზე მოქმედი ძალები თითოეულ შემთხვევაში და **დაამტკიცე**, რომ სისტემა (სამივე მუხტი) წონასწორობაში არ იქნება არც ერთ განხილულ შემთხვევაში: ერთი მუხტი მაინც აღმოჩნდება ისეთ მდგომარეობაში, რომ მასზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლი არ იქნება.



სურ. 4

3. იმსჯელე სისტემის წონასწორობაზე იმ შემთხვევაში, როცა $q_3 > 0$. განიხილე q_3 მუხტის მდებარეობა სხვადასხვა (A, B, C, D, E) წერტილში (სურ. 4) და **დაამტკიცე**, რომ სისტემა წონასწორობაში იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ q_3 მუხტი q_1 და q_2 მუხტებს შორის, მათ შუამდებარეობს.

4. ამოცხანათ ამოცანა იმ შემთხვევისთვის, როცა $q_3 > 0$. ამასთან q_3 მუხტი q_1 და q_2 მუხტებს შორის, მათ შუამდებარეობს (სურ. 5).



სურ. 5

5. დავწეროთ წონასწორობის პირობა

ა) q_1 მუხტისთვის: $F_{2,1} = F_{3,1}$ (1)

ბ) q_3 მუხტისთვის: $F_{1,3} = F_{2,3}$ (2)

6. თუ 1-ლ და მე-2 ტოლობებში ძალებს კულონის კანონის თანახმად გამოვსახავთ და გავამარტივებთ, მივიღებთ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} \frac{|q_2|}{r_{1,2}^2} = \frac{|q_3|}{r_{1,3}^2} & (3) \\ \frac{|q_1|}{r_{1,3}^2} = \frac{|q_2|}{r_{2,3}^2} & (4) \end{cases}$$

7. თუ გავითვალისწინებთ ამოცანის მოცემულობას, აღნიშვნებს ნახაზის (სურ. 5) მიხედვით და გავიხსენებთ, რომ $q_3 > 0$, მე-3 და მე-4 ტოლობები ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\begin{cases} \frac{36}{9} = \frac{q_3}{x^2} & (5) \\ \frac{9}{x^2} = \frac{36}{(3-x)^2} & (6) \end{cases}$$

8. ამოხსენი მე-5 და მე-6 განტოლებათა სისტემა. **შეამოწმე პასუხი.** უნდა მიგელო:

$$x = 1 \text{ მ}, \quad q_3 = +4 \text{ ნკ.}$$

9. შევამოწმოთ, არის თუ არა q_2 მუხტი წონასწორობაში. ამისათვის დავაკვირდეთ მუხტებზე მოქმედ ძალებს:

$$\bullet \quad F_{1,2} = F_{2,1} \quad (\text{ნიუტონის III კანონის თანახმად}); \quad (7)$$

$$\bullet \quad F_{2,1} = F_{3,1} \quad (q_1 \text{ მუხტის წონასწორობის პირობის თანახმად}) \quad (8)$$

$$\bullet \quad F_{3,1} = F_{1,3} \quad (\text{ნიუტონის III კანონის თანახმად}); \quad (9)$$

$$\bullet \quad F_{1,3} = F_{2,3} \quad (q_3 \text{ მუხტის წონასწორობის პირობის თანახმად}) \quad (10)$$

$$\bullet \quad F_{2,3} = F_{3,2} \quad (\text{ნიუტონის III კანონის თანახმად}) \quad (11)$$

ანუ $F_{1,2} = F_{2,1} = F_{3,1} = F_{1,3} = F_{2,3} = F_{3,2}$ ე.ი. $F_{1,2} = F_{3,2}$. ეს კი q_2 მუხტის წონასწორობის პირობაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ **სისტემა წონასწორობაშია**. მაგრამ არის თუ არა ეს წონასწორობა მდგრადი? ჩაატარე აზრობრივი ცდა: თუ რომელიმე მუხტს ოდნავ გადახრი წონასწორობის მდგომარეობიდან, ძალთა წონასწორობის პირობა აღარ შესრულდება და სისტემის წონასწორობა დაირღვევა. ამას მოწმობს ელექტროსტატიკის ერთ-ერთი ძირითადი თეორემა, რომელიც **ირწმუნს თეორემის** სახელითაა ცნობილი: ნერტილოვანი მუხტების სტატიკური სისტემის წონასწორობა ნებისმიერ შემთხვევაში არამდგრადია, თუ მუხტებზე მხოლოდ კულონური ძალები მოქმედებს.



ამოცანა 4

ვაკუუმში მოთავსებული სამი ნერტილოვანი მუხტი მართკუთხედის წვეროებშია განლაგებული (სურ. 6). განსაზღვრე მოდული და მიმართულება იმ ძალთა ტოლქმედისა, რომლებიც q_3 მუხტზე q_1 და q_2 მუხტების მხრიდან მოქმედებს.

ამოხსნა:

1. q_3 მუხტზე q_1 და q_2 მუხტების მხრიდან მოქმედებს მიზიდვის კულონური ძალები (სურ. 6): $\vec{F}_{1,3}$ და $\vec{F}_{2,3}$. **დააკვირდი**, როგორ კუთხეს ქმნის $\vec{F}_{1,3}$ და $\vec{F}_{2,3}$ ძალები ერთმანეთთან?

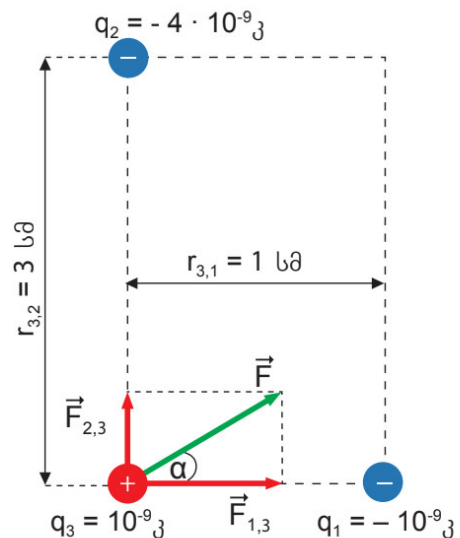
2. $\vec{F}_{1,3}$ და $\vec{F}_{2,3}$ ძალების ტოლქმედია $\vec{F}$. მისი მოდული, პითაგორას თეორემის თანახმად, ასე გამოითვლება:

$$F = \sqrt{F_{1,3}^2 + F_{2,3}^2}$$

3. გამოიყენე კულონის კანონი, გამოთვალე $\vec{F}_{1,3}$ და $\vec{F}_{2,3}$ ძალების მოდულები და იპოვე, რისი ტოლია $\vec{F}$ ძალის მოდული.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგელო: $F \approx 10^{-4}$ ნ.

4. ტოლქმედის მიმართულების განსაზღვრისთვის საკმარისია, ვიპოვოთ ის მახვილი α კუთხე, რომელსაც ტოლქმედი პორიზონტალურ მიმართულებასთან ქმნის. ნახაზიდან (სურ. 6) ჩანს, რომ



სურ. 6

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{2,3}}{F_{1,3}}, \text{ საიდანაც } \alpha = \arctg \frac{F_{2,3}}{F_{1,3}} = \arctg \frac{|q_2|}{|q_1|} \cdot \left(\frac{r_{1,3}}{r_{2,3}} \right)^2 = \arctg \frac{4}{9} \approx 24^\circ$$



სურ. 1

300 წელზე მეტია გასული იმ დროიდან, რაც მაგდებურგის ბურგომისტრი (ქალაქის მერი) ოტო ფონ გერიკე (1602-1686) არა მარტო თავისი თანამოქალაქეებისთვის, არამედ მის გარეთაც (განსაკუთრებით კი სამეცნიერო წრეებში) ცნობილი გახდა, როგორც ფიზიკოსი და გამომგონებელი:

1650 წელს ჰაერის ტუმბო შექმნა...

1654 წელს მაგდებურგის ნახევარსფეროვით ცნობილი საჯარო ექსპერიმენტი ჩაატარა, რომლითაც ატმოსფერული წნევის არსებობა და მისი მთამბეჭდავი ძალა დაადასტურა...

1663 წელს „ელექტრული მანქანით“ სტატიკური მუხტები მიიღო და მანამდე უცნობი ელექტრული მოვლენები აღმოაჩინა...

გერიკემდე ერთადერთი საშუალება, რომლითაც ელექტრულ მოვლენებს იკვლევდნენ, უილიამ გილბერტის „ვერსორიუმი“ იყო. გერიკეს „ელექტრული მანქანა“ **პირველი ელექტროსტატიკური გენერატორია** (მონყობილობა, რომელშიც ელექტრული მუხტები ხახუნის შედეგად მიიღება), რომლის დახმარებითაც ელექტრული მოვლენების კვლევა ტექნიკურად უფრო სრულყოფილი ექსპერიმენტებით გახდა შესაძლებელი.

„ელექტრული მანქანის“ მთავარი დეტალი გოგირდის ბურთია (15 სმ-ის ტოლი დიამეტრით) (სურ. 1): გერიკე გოგირდს ადნობდა და მინის სფერულ ჭურჭელში ასხამდა. გაცივების შემდეგ ჭურჭელს ამტვრევდა და გოგირდის ბურთი მზად იყო. ბურთს მშრალ ადგილას ინახავდა და მოგვიანებით თავისი მანქანის რკინის ჰორიზონტალურ ღერძზე ამაგრებდა. ღერძი და მასზე წამოცმული ბურთი სახელურის დახმარებით ბრუნავდა.

გერიკე და მისი თანაშემწე მბრუნავ ბურთს ხელისგულს ან შალის ქსოვილს მჭიდროდ ახებდნენ და ბურთი მათთან ხახუნისას იმუხტებოდა. გერიკე იყო პირველი, ვინც აღმოაჩინა, რომ **ელექტრული ურთიერთქმედება არა მარტო მიზიდვის, არამედ განზიდვის სახითაც ვლინდება**: გოგირდის დაელექტროებული ბურთი ბუმბულს იზიდავდა. თუ ბუმბული ბურთს შეეხებოდა, ბურთი მას განიზიდავდა (ახსენი, რატომ ხდებოდა ასე?).

გერიკემ შეამჩნია, რომ სელის ძაფი დაელექტროებულ ბურთთან შეხებისას მტვრის ნაწილაკებისა და ბუმბულის მიზიდვის უნარს თავადაც იძენდა. ეს კი იმას ნიშნავდა, რომ **ელექტრობა ერთი სხეულიდან მეორეს გადაეცემოდა**. მან სიბნელეში გოგირდის დაელექტროებული ბურთის მოცისფრო სუსტი ნათებაც (ნაპერნკალი) შეამჩნია და გაიგო ტკაცუნის ხმა, რომელიც ნაპერნკლის წარმოქმნას (განმუხტვას) ყოველთვის თან ახლავს (თუმცა მან ამ მოვლენის ახსნა ვერ შეძლო).

XVIII საუკუნის პირველ ნახევარში გერიკეს ელექტროსტატიკური მანქანა გარკვეულ სახეცვლილებას განიცდის: გოგირდის ბურთი მინის ბურთით (ზოგ შემთხვევაში კი ცილინდრით) შეცვალეს (მინა გოგირდთან შედარებით უკეთ იმუხტებოდა). უფრო მოგვიანებით კი ბურთები და ცილინდრები მინის ფირფიტებით ჩაანაცვლეს, ხახუნისთვის კი ტყავის ბალიშებს იყენებდნენ, რომლებიც მინას მჭიდროდ ეხებოდა.

დავალემა 1. დაამზადე გერიკეს ელექტროსტატიკური მანქანის მოდელი.

ამისათვის ნახე ვიდეოინსტრუქციები და გაეცანი ინფორმაციას, რომელიც მოდელის დამზადებაში დაგეხმარება:



<http://bitly.ws/pi8r>

<http://bitly.ws/pi8u>

<http://bitly.ws/pi8w>



ოტო გერიკეს „ელექტრული მანქანის“ თანამედროვე ანალოგია ელექტროსტატიკური გენერატორი, რომელსაც **ვან დე გრააფის გენერატორის** სახელით იცნობენ. ვან დე გრააფის გენერატორის მოქმედება ტრიბოელექტრულ მოვლენას ეფუძნება (იხ. პროექტი №4) მუხტები მასში ხახუნის შედეგად მიიღება (ისევე, როგორც გერიკეს „ელექტრულ მანქანაში“). ეს მოწყობილობა 1931 წელს ამერიკელმა მეცნიერმა რობერტ ვან დე გრააფმა შექმნა და დღესაც ძალიან პოპულარული ხელსაწყოა სასკოლო თუ სამეცნიერო ლაბორატორიებში (სურ.2).



დავალეზა 2. მოიძიე ინფორმაცია და გაარკვეე ვან დე გრააფის გენერატორის მუშაობის პრინციპი. შენთვის საინტერესო ინფორმაციას ნახავ ინტერნეტში, მისამართზე: <http://bitly.ws/pi9p> <http://bitly.ws/pi6o>



<http://bitly.ws/pi6D> <http://bitly.ws/pi6T>

გენერატორის აგებულებასა და მუშაობის პრინციპზე დაკვირვებას ვირტუალურ ლაბორატორიაშიც შეძლებ: <http://bitly.ws/pi5Q>

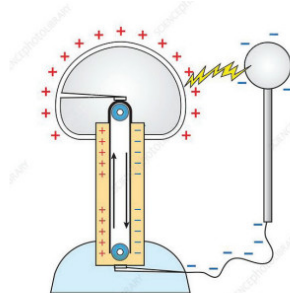


დავალეზა 3. შექმენი ვან დე გრააფის გენერატორის მოდელი.

ამისათვის ნახე ვიდეოინსტრუქციები და გაეცანი ინფორმაციას, რომელიც მოდელის დამზადებაში დაგეხმარება:

<http://bitly.ws/pi9n> <http://bitly.ws/pi6S>

<http://bitly.ws/pi9j>



სურ. 2

სასკოლო ლაბორატორიებში ხშირად გვხვდება ელექტროსტატიკური გენერატორი, რომელსაც **ელექტროფორულ მანქანას** უწოდებენ (სურ. 3). ეს მოწყობილობა ბრიტანელმა გამომგონებელმა, ჯეიმს ვიმშურსტმა 1878 წელს შექმნა და მას **ვიმშურსტის მანქანის** სახელით იცნობენ.

დავალეზა 4. დაამზადე ელექტროფორი. ის უმარტივესი მოწყობილობაა, რომელიც ერთგვარი ელექტროსტატიკური გენერატორია. მისი დახმარებით მარტივად და ეფექტიანად შეძლებ ელექტრული მუხტის მიღებას (იხ. ელექტროფორის შესახებ დამატებითი ინფორმაცია და მისი დამზადების შესახებ ინსტრუქცია 134-ე გვერდზე).

ვიმშურსტის მანქანაში მუხტები ხახუნით არ გენერირდება. მუხტების წარმოქმნის მექანიზმი **ელექტროსტატიკური ინდუქციის მოვლენას (გავლენით დამუხტვას)** ეფუძნება (ისევე როგორც ელექტროფორში, რომელიც პირველი ინდუქციური ელექტროსტატიკური გენერატორია). ელექტროსტატიკური ინდუქციის მოვლენას მოგვიანებით გაეცნობი (იხ. § 2.4).



სურ. 3

დავალეზა 5. მოიძიე ინფორმაცია და გაარკვეე

ვიმშურსტის მანქანის მუშაობის პრინციპი. შენთვის საინტერესო ინფორმაციას ნახავ ინტერნეტში, მისამართზე:



<http://bitly.ws/pj79> <http://bitly.ws/rZnH> <http://bitly.ws/rS6Q>



გენერატორის აგებულებასა და მუშაობის პრინციპზე დაკვირვებას ვირტუალურ ლაბორატორიაშიც შეძლებ: <http://bitly.ws/pj5J>



დავალეზა 6. შექმენი ვიმპურსტის მანქანის მოდელი. ამისათვის ნახე ვიდეონის-ტრუქციები და გაეცანი ინფორმაციას, რომელიც მოდელის დამზადებაში დაგეხმარება:



<http://bitly.ws/pi9N> <http://bitly.ws/pi9W>



<http://bitly.ws/pia4> <http://bitly.ws/pia5>

XVIII საუკუნის მეორე ნახევრიდან ელექტრული მოვლენები საზოგადოების საყვარელი გასართობი და თავშესაქცევი სანახაობა იყო. სამეცნიერო სპექტაკლები შთამბეჭდავი ექსპერიმენტების თანხლებით, საოცრად პოპულარული იყო მაყურებელში. მათში ერთდროულად აღტაცებასა და შიშს იწვევდა დაელექტროებული სხეულების აბსოლუტურად გაუგებარი თვისებები: ბუმბულის, ჩალის ღეროების, ქსოვილის ნაკუნების მიზიდვის უნარი, ნაპერწკლის წარმოქმნა და თანამდევ ტკაცუნი, მტკივნეული „ნკიპურტები“ დამუხტული სხეულების ან ადამიანების მხრიდან. არისტოკრატულ სალონებში ძალზე პოპულარული იყო ელექტროსტატიკური „სათამაშოები“, რომლებშიც ცენტრალური ადგილი „ფრანკლინის ზარებს“ ეჭირა. „ფრანკლინის ზარები“ ერთგვარი ელექტროსტატიკური ძრავაა, რომელშიც ელექტრული ენერგია მექანიკურად გარდაიქმნება (ელექტროსტატიკურ გენერატორებში პირიქითაა: ელექტრული ენერგია მექანიკურის ხარჯზე მიიღება). ჩატარე ცდა, დააკვირდი „ფრანკლინის ზარების“ მოქმედებას:

დავალეზა 7.

1. მოათავსე გამაგრებული სასმელის ლითონის ქილები იზოლირებულ სადგამზე ერთმანეთის გვერდით (სურ. 4);
2. დაკიდე ძაფით წვენი სასრუტ პლასტმასის ჩხირზე ფოლგისგან დამზადებული ბურთულა (ან წვენის ქილის გასახსნელი დეტალი);
3. ჩხირი ქილების თავზე მოათავსე ისე, რომ ბურთულა ქილებს შორის მოექცეს;
4. დამუხტე ქილები ელექტროფორული მანქანით ან ელექტროფორით.



სურ. 4



ახსენი:

1. რა მიზეზით ირხევა გამტარი ბურთულა ქილებს შორის;
2. როგორ იცვლება სისტემის (ქილები, ბურთულა) ჯამური მუხტი და სისტემაში შემავალი სხეულების მუხტები ბურთულის ყოველი რხევისას?
3. როგორ მიიღება და როგორ გარდაიქმნება ენერგია სისტემაში;



დაფიქრდი: რა პრაქტიკული გამოყენება შეიძლება ჰქონდეს მსგავს სისტემას? ცდის წარმატებით ჩატარებისთვის ნახე ვიდეონისტრუქციები და გაეცანი საჭირო ინფორმაციას:

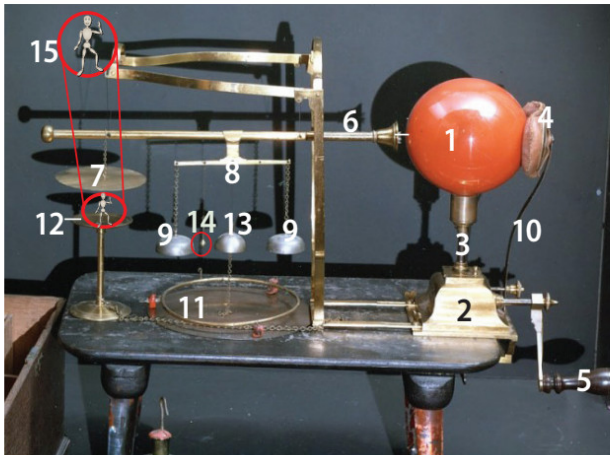


<http://bitly.ws/pk6q>

<http://bitly.ws/pk6r>

<http://bitly.ws/pk6t>

დავალეზა 8. დააკვირდი მე-5 სურათზე (გვ. 48) გამოსახულ ელექტროსტატიკურ „სათამაშოს“: მინის სფეროზე (1), რომელიც ლითონის სადგამზე (2) არაგამტარი ღერძითაა (3) დამაგრებული, მჭიდროდაა მორგებული ტყავის ბუდე (4). არაგამტარი სახელურის (5) დახმარებით სფერო ტრიალებს და ტყავზე ხახუნით დადებითად იმუხტება;



სურ. 5

დაფიქრდი:**1. რა ნიშნით დაიმუხტება:**

- ლითონის ჰორიზონტალური ღერო (6), რომელიც სფეროს (1) ეხება?
- ღეროზე (6) ლითონის ჯაჭვით დაკიდებული ლითონის თევზი (7)?
- ლითონის ბერკეტი (8) და მის ბოლოებზე გამტარ საკიდებზე დაკიდებული „ფრანკლინის“ ლითონის ზარები (9)?

2. რა ნიშნით დაიმუხტება:

- ტყავის ბუდე (2)?
- ბუდესთან (2) გამტარით (10) შეერთებული ლითონის სადგამი (2)?

- მაგიდაზე მოთავსებული ლითონის ფირფიტა (11)?
- ლითონის სადგამიანი გამტარი თევზი (12)?
- ლითონის შუა ზარი (13), რომელიც ბერკეტზე (8) არაგამტარი ძაფითაა დაკიდებული? **დააკვირდი:** შუა ზარი ლითონის ფირფიტას (11) ლითონისავე ჯაჭვით უერთდება.

3. როგორ „მოიქცევა“

- ზარებს შორის აბრეშუმის ძაფზე დაკიდებული ლითონის პატარა ბურთულა (14)?

ლითონის ქვედა თევზზე (12) მოთავსებული გამტარი ფირფიტისგან გამოჭრილი პატარა „კაცუნა“ (15)?

შენიშვნა: ლითონის სადგამი (2), ლითონის ფირფიტა (11) და ლითონის სადგამიანი თევზი (12) ერთმანეთთან ლითონის ჯაჭვითაა დაკავშირებული.

ახსენი „სათამაშოს“ მოქმედების პრინციპი. შენი აზრით, რა ინვესტაცია იმ მაყურებლის აღფრთოვანებას, რომელიც ელექტროსტატიკური „სათამაშოს“ მოქმედებას აკვირდებოდა?

წარმოადგინე შენ მიერ შექმნილი მოდელი და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

- სამუშაოს ცალკეული ეტაპის აღწერა და მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომელსაც მოდელის მოქმედება ეფუძნება (მაგ., რა მიზეზით გენერირდება ელექტრული მუხტები და რა შედეგი მოჰყვება ამ პროცესს);
- გენერატორში მიმდინარე პროცესის ანალიზური აღწერა:
 - როგორ მიიღება ენერგია სისტემაში (გენერატორში, ფრანკლინის ზარების შემთხვევაში) და როგორ გარდაიქმნება ერთი სახის ენერგია მეორეში (მაგ., მექანიკური ელექტრულად ან პირიქით);
 - არის თუ არა დამოკიდებული გენერატორში მიღებული ენერგია გარე ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობაზე და როგორია ამ დამოკიდებულების ხასიათი;
 - როგორ არის დამოკიდებული დაგროვილი მუხტის რაოდენობა (მიღებული ელექტრული ენერგია):
 - დროზე (რომლის განმავლობაშიც მაგ., გენერატორის სახელური ბრუნავს უცვლელი სიჩქარით);
 - გარე ძალის მიერ განვითარებულ სიმძლავრეზე (მაგ., როცა გენერატორის სახელური ბრუნავს ერთი და იმავე დროის განმავლობაში, ოღონდ განსხვავებული სიჩქარით).

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი და ქულა შეესაბამება:

უმარტივესი ■ – 1 ქულა; მარტივი ■ – 2 ქულა;

საშუალო სირთულის ■ – 3 ქულა; რთული ■ – 4 ქულა.

1. ამოარჩიე სწორი პასუხი სიტყვათა I –IV ჩამონათვალიდან (5 ქულა):

- ა) ატომის ბირთვის გარშემო მოძრაობენ
- ბ) უარყოფითად დამუხტული სუბატომური ნაწილაკებია
- გ) დადებითად დამუხტული სუბატომური ნაწილაკებია
- დ) ნეიტრალური სუბატომური ნაწილაკებია.....
- ე) თუ ატომი ელექტრონს დაკარგავს ან მიიერთებს, წარმოიქმნება

I. ნეიტრონები; II. პროტონები; III. ელექტრონები; IV. იონი.

2. ამოარჩიე სწორი პასუხი წინადადებათა I –IV ჩამონათვალიდან (3 ქულა):

- ა) სხვადასხვა ნივთიერებისგან დამზადებული სხეულები შეხებისას ელექტროვდება, იმიტომ რომ
- ბ) დაელექტროვებისას სხეულის მასა თითქმის არ იცვლება, იმიტომ რომ
- გ) ატომბირთვის მუხტი დადებითია, იმიტომ რომ

**I. ატომბირთვს პროტონები და ნეიტრონები ქმნის;
II. ელექტრონები ნებისმიერი სხეულის ატომთა შემადგენლობაშია;
III. ელექტრონები ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადიან;
IV. ელექტრონების მასა ატომბირთვის მასასთან შედარებით უმნიშვნელოა.**

3. ამოარჩიე სწორი პასუხი წინადადებათა I –IV ჩამონათვალიდან (3 ქულა):

- ა) მინა აბრეშუმზე ხახუნისას დადებითად იმუხტება, იმიტომ რომ მასში
- ბ) აბრეშუმი მინაზე ხახუნისას უარყოფითად იმუხტება, იმიტომ რომ მასში
- გ) ერთმანეთზე გახახუნებისას სხეულები სხვადასხვანაირი მუხტით იმუხტება, იმიტომ რომ...

**I. ელექტრონები ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის;
II. ელექტრონების რაოდენობა გადააჭარბებს პროტონებისას;
III. ელექტრონების ჯამური მუხტი პროტონების ჯამურ მუხტს უტოლდება;
IV. პროტონების რაოდენობა გადააჭარბებს ელექტრონებისას.**

4. ამოარჩიე სწორი პასუხი სიტყვათა I –IV ჩამონათვალიდან (5 ქულა):

- ა) დამუხტული ბუშტი დაუმუხტავ ელექტროსკოპს შეახეს (სურ. 1). მათი მუხტები....
- ბ) ნაწილაკები განიზიდება, ანუ მათი მუხტი
- გ) ნაწილაკები მიიზიდება, ანუ მათი მუხტი
- დ) მინის რეზინზე ხახუნისას მინისა და რეზინის მუხტი
- ე) ებონიტის ჯოხის შალზე ხახუნისას ებონიტის მუხტი

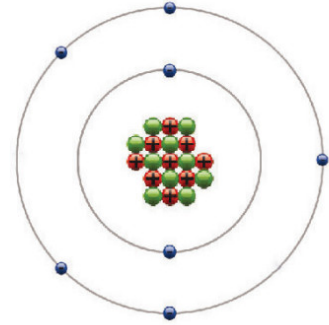
**I. უარყოფითია; II. სხვადასხვანაირია;
III. ერთნაირია; IV. დადებითია.**



სურ. 1

5. განსაზღვრე მე-2 სურათზე სქემატურად გამოსახული იონის მუხტი.

- а) 0; б) $-3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж;
в) $+3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж; г) $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.



სურ. 2

6. მცვრის ნაწილაკმა, რომლის თავდაპირველი მუხტი $+1,6 \cdot 10^{-19}$ კ ეყო, სინათლის ზემოქმედებით ერთი ელექტრონი დაკარგა. რის ტოლი გახდა ნაწილაკის მუხტი?

- а) 0; б) $-3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж;
 в) $+3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж; г) $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

7. ლითონის ფირფიტამ, რომლის მუხტია $(-10e)$, დაკარგა 4 ელექტრონი, რის ტოლი გახდა ფირფიტის მუხტი?

- д) $6e$; б) $-6e$; г) $14e$; г) $-14e$.

8. ლითონის ბურთულა, რომლის მუხტია $(-3,2) \text{ ნკ}$, ზუსტად ისეთივე დაუმუხტავ ბურთულას შეახეს. რამდენი ელექტრონი გადავიდა შეხებისას დამუხტულიდან დაუმუხტავ ბურთულაზე?

- д) 10^5 ; б) $2 \cdot 10^5$; г) 10^{10} ; е) $1,6 \cdot 10^{19}$.

9. ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულა ტოლი სიდიდისა და სხვადასხვანიშნაინი მუხ-
ტითაა დამუხტული. ბურთულები ერთმანეთს შეახეს და ისევ თავდაპირველი მანძილით
დააშორეს. როგორ შეიცვალა მათ შორის კულონური ძალის მოდული?

- ა) 2-ჯერ შემცირდა; ბ) არ შეიცვალა;
გ) ნულის ტოლი გახდა; დ) 2-ჯერ გაიზარდა.

10. რა მიმართულება აქვს კულონურ ძალას, რომელიც O ნერტილში მოთავსებულ უარყოფით მუხტზე მოქმედებს (სურ. 3)?

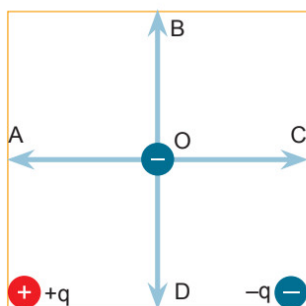
- а) OA; б) OB; в) OC; г) OD.

11. კვადრატის წვეროებში წერტილოვანი მუხტებია განლაგებული. როგორ „იქცე-
ვიან“ მუხტები ერთმანეთთან ურთიერთქმედების შედეგად (სურ. 4)?

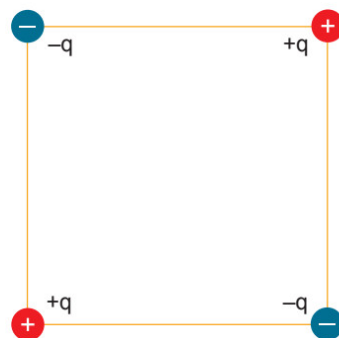
- ა) კვადრატის ცენტრისკენ მიიზიდებიან; ბ) კვადრატის ცენტრიდან განიზიდებიან;
გ) წონასწორობაში არიან; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.

12. კულონური ძალის მოდული ორ წერტილოვან უძრავ მუხტს შორის 8 ნ-ია. რის ტოლი გახდება ურთიერთქმედების ძალის მოდული მუხტებს შორის, თუ თითოეული მუხტის მოდულს 2-ჯერ შევამცირებთ, ხოლო მათ შორის მანძილი არ შეიცვლება?

- д) 2 б; б) 4 б; г) 16 б; е) 32 б.



სურ. 3



სურ. 4

13. თუ 9q და q წერტილოვან მუხტებს შორის, მათ შემაერთებელ წრფეზე, მოთავსებული მესამე მუხტი წონასწორობაშია, მაშინ ეს უკანასკნელი პირველი და მეორე მუხტისგან დაშორებულია მანძილებით, რომლებიც ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც:

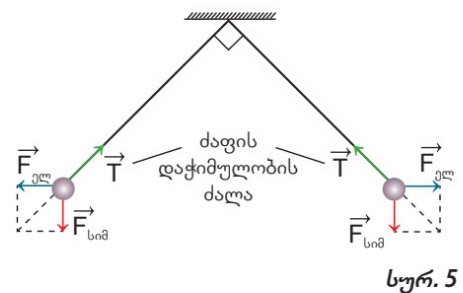
- ა) 9 : 1; ბ) 1 : 9; გ) 3 : 1; დ) 1 : 3.

14. ერთი დამუხტული ბურთულა მეორე, ზუსტად ისეთივე, დაუმუხტავ ბურთულას შეახეს. შეხების შემდეგ 15 სმ მანძილზე დაშორებული ბურთულები ერთმანეთისგან 0,001 ნ ძალით განიზიდა. გამოთვალე, რა სიდიდის მუხტით იყო დამუხტული პირველი ბურთულა თავდაპირველად.

- ა) 10 მკვ; ბ) 0,1 მკვ; გ) 0,05 მკვ; დ) 5 მკვ.

15. ორი ერთნაირი ბურთულა, რომელთაგან თითოეულის მასა 20 გ-ია, 30 სმ სიგრძის აბრეშუმის ძაფებით ერთ წერტილში დაკიდეს (სურ. 5). მას შემდეგ, რაც ბურთულები დამუხტეს, მათ ერთმანეთი განიზიდეს ისე, რომ ძაფებს შორის მართი კუთხე შეიქმნა. იპოვე ბურთულების ჯამური მუხტის მოდული (ჩათვალე, რომ $g = 10 \text{ ნ/კგ}$).

- ა) 0; ბ) 2 მკვ;
გ) 4 მკვ; დ) 1,4 მკვ.



ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით შენ საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 6	იმ დავალებებიდან, რომლებიც სწორად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	1
7 - 10		2
11 - 14		3
15 - 18		4
19 - 22	ბევრი დავალება სწორად გაქვს შესრულებული. შედეგის გასაუმჯობესებლად აუცილებლად გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომები დაუშვი და რამ განაპირობა ეს შეცდომები. ხელახლა გადახედე გავლილ მასალას და მისი უკეთ გააზრებისთვის დამატებითი სავარჯიშოები გამოიყენე.	5
23 - 27		6
28 - 31	საკმაოდ ბევრი დავალება სწორად გაქვს შესრულებული. ჩანს, რომ მიმდინარე დავალებებს ყურადღებას აქცევდი. გადახედე დაშვებულ შეცდომებს და გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომებს უშვებ ძირითადად და რატომ. გააკეთე დამატებითი სავარჯიშოები და ამოცანები იმ კატეგორიიდან, რომელშიც უფრო მეტი შეცდომა გაქვს დაშვებული.	7
32 - 35		8
36 - 39	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
40 - 42	გილოცავ! შედეგი ძალიან კარგია. ჩანს, რომ დამოუკიდებლად მუშაობდი, საკლასო და საშინაო დავალებებს სისტემატურად და გააზრებულად ასრულებდი.	10

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი შეესაბამება:

უმარტივესი  ; მარტივი  ;

საშუალო სირთულის  ; რთული  ;

1.1. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-18 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. დაასახელე ბუნებაში არსებული ოთხი ტიპის ფუნდამენტური ურთიერთქმედება (იხ. გვ. 12). რომელი მათგანი ვლინდება მიკროსამყაროში? მაკროსამყაროში? ციური სხეულების სამყაროში?
2. რა სახით ვლინდება ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება? გრაფიტაციული?
3. დაასახელე მოვლენები, რომლებსაც ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება უდევს საფუძვლად;
4. აღწერე ატომის აგებულება;
5. რომელ ნაწილაკებს ჰქვია სუბატომური ნაწილაკები?
6. შეადარე ერთმანეთს წყალბადის ატომში ბირთვისა და ელექტრონის შორის მოქმედი გრაფიტაციული და ელექტრომაგნიტური ძალები;
7. რა შემთხვევაში ვამბობთ, რომ „ნაწილაკს ელექტრული მუხტი აქვს“?
8. გაავლე პარალელი ელექტრულ მუხტსა და მასას შორის. რას გვიჩვენებს თითოეული მათგანი? რა მსგავსება და განსხვავებაა მათ შორის?
9. რა სახის მუხტი არსებობს და როგორ ურთიერთქმედებენ:
ა) ერთნაირნიშნის მუხტები; ბ) სხვადასხვა ნიშნის მუხტები.
10. რისი მაჩვენებელია ორგვარი მუხტის არსებობა?
11. აღწერე სუბატომური ნაწილაკები (მასის, მუხტისა და მუხტის ნიშნის მიხედვით);
12. რისი ტოლია ატომის მუხტი?
13. როგორ განისაზღვრება ატომში: ა) პროტონების რაოდენობა; ბ) ელექტრონების რაოდენობა; გ) ნეიტრონების რაოდენობა?
14. როგორ ურთიერთქმედებს დამუხტული ნაწილაკები ატომში?
15. რა ძალები მოქმედებს ნაწილაკებს შორის ატომბირთვში? აღწერე ეს ძალები.
16. რამდენად შესაძლებელია პროტონების რიცხვის ცვლილება ატომში? ელექტრონების? რას იწვევს ატომში ამ ნაწილაკთა რაოდენობის ცვლილება?
17. რას ეწოდება თავისუფალი ელექტრონი? დადებითი იონი? უარყოფითი იონი?
18. აღწერე, როგორ ურთიერთქმედებენ დამუხტული მაკროსკოპული სხეულები.
19. რამდენჯერ მეტია მოდულით:
ა) ვერცხლისწყლის ატომბირთვის მუხტი ჰელიუმის ატომბირთვის მუხტზე?
ბ) ტიტანის ატომბირთვის მუხტი ნატრიუმის ატომბირთვის მუხტზე?
20. ბუნებაში არსებულ ატომთაგან ყველაზე მძიმე ურანის ატომია. როგორია ამ ატომის შემადგენლობა? დაასახელე სუბატომური ნაწილაკების რიცხვი ურანში.

21. გადაიხაზე ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსე: იპოვე მითითებული ქიმიური ელემენტის ატომში ელექტრონების, პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვი (იხ. დანართი 1. ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილი).

ქიმიური ელემენტი	ატომური ნომერი Z	მასური რიცხვი A	პროტონების რაოდენობა	ელექტრონების რაოდენობა	ნეიტრონების რაოდენობა N
წყალბადი	1	1	1	1	0
ჰელიუმი					
ლითიუმი		7			
ფოსფორი					

1.2. ელექტრული მოვლენები

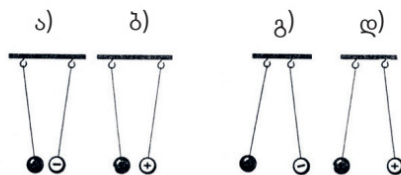
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-14 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- რას ეწოდება ელექტრული მოვლენა? დაელექტროვებული სხეული?
- როგორ ელექტროვდება სხეული? აღწერე დაელექტროების მექანიზმი;
- რატომ არის საჭირო ხახუნი სხეულთა დაელექტროებისთვის?
- როგორი ნიშნის მუხტით იმუხტება მინის ჯოხი აბრეშუმის ქსოვილთან ხახუნისას? რა ნიშნის მუხტი ექნება ამ დროს ქსოვილს? აღწერე მათი დაელექტროების მექანიზმი;
- როგორი ნიშნის მუხტით იმუხტება ებონიტის ჯოხი აბრეშუმის ქსოვილთან ხახუნისას? რა ნიშნის მუხტი ექნება ამ დროს ქსოვილს? აღწერე მათი დაელექტროების მექანიზმი;
- როგორ ურთიერთქმედებენ ერთნაირნიშნიანი მუხტით დაელექტროებული სხეულები? სხვადასხვანიშნიანი მუხტით დაელექტროებულები?
- როგორ მუხტს უწოდებდა დიუფე „ქარვისებურს“? „მინისებურს“?
- როგორ ხსნიდა ფრანკლინი დაელექტროების მექანიზმს?
- რა არის ელექტროსტატიკური მუხტი? სტატიკური ელექტრობა? ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება?
- რას ეწოდება ელექტროსტატიკური მოვლენა? დაასახელე ამგვარი მოვლენის მაგალითები.
- რა არის განმუხტვა? აღწერე ამ მოვლენის მექანიზმი.
- რამდენად სახიფათოა ელექტროსტატიკური მოვლენა? დაასახელე ელექტროსტატიკური მოვლენების დროს მოსალოდნელი საფრთხეები (იხ. პროექტი №1);
- როგორ იყენებს ადამიანი თავის სასარგებლოდ ელექტროსტატიკურ მოვლენებს (იხ. პროექტი №1)?
- რა არის ტრიბოელექტრული ეფექტი? ტრიბოელექტრული მწკრივი? რა გამოყენება აქვს ამ მწკრივს? (იხ. პროექტი №4);
- რომლის ატომბირთვები იზიდავს ელექტრონებს უფრო ძლიერად: მინის თუ აბრეშუმის? პასუხი ახსენი.
- ცდები ელექტროსტატიკაში წარმატებულია, თუ ჰაერის ტენიანობა დაბალია (მაგ., როცა ცდას ზამთარში ატარებ). რატომ ხდება ასე? მუხტები ხომ ერთნაირად გაცალკევდება წელიწადის ნებისმიერ დროს?

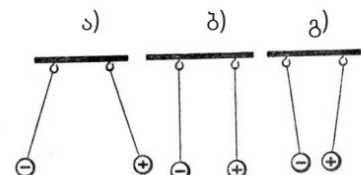
17. რა უნდა გააკეთო იმისათვის, რომ ლითონის ბურთულა დადებითად დამუხტო სხვა სხეულთან შეხებისას? აღწერე სამუშაოს შესრულების ეტაპები და დაასახელე სამუშაოსთვის საჭირო რესურსები.
18. **საშინაო ცდა:** გაბერე ორი ცალი ბუშტი და დაკიდე ისინი ერთმანეთის გვერდით აბრეშუმის გრძელ ძაფებზე. დააელექტროე ბუშტები გაზეთზე ხახუნით. აღწერე, რა მოხდა. ახსენი ეს მოვლენა.
19. როცა თმას ივარცხნი, სავარცხელი ხშირად იზიდავს თმას. შეიძლება თუ არა იმის მტკიცება, რომ „თმა იზიდავს სავარცხელს“?
20. ძაფზე ერთმანეთის გვერდით დაკიდებული ქაღალდის მასრები დააელექტროვეს, რის შედეგადაც ისინი 1-ლ სურათზე გამოსახულ მდებარეობაში აღმოჩნდა. რა შეიძლება ითქვას მათი მუხტის შესახებ?
21. რა ნიშნის მუხტი აქვს მე-2 სურათზე გამოსახულ მარცხენა ბურთულას ა), ბ), გ) და დ) შემთხვევებში?



სურ. 1



სურ. 2



სურ. 3

22. ერთმანეთის გვერდით აბრეშუმის ძაფზე დაკიდებული დიელექტრიკის ბურთულებიდან ერთი დადებითად დამუხტეს, მეორე კი უარყოფითად (სურ. 3). რომელ სურათზეა ცდის შედეგი სწორად გამოსახული?

1.3 ელექტროსკოპი. გამტარები და არაგამტარები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-4 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. აღწერე ელექტროსკოპის აგებულება და მისი მოქმედების პრინციპი;
2. რა არის ელექტრომეტრი, რისთვის გამოიყენება ის და რით განსხვავდება ელექტროსკოპისგან?
3. როგორ ნივთიერებებს/მასალებს ეწოდება გამტარები? დაასახელე გამტარი ნივთიერებები/მასალები;
4. როგორ ნივთიერებებს ეწოდება არაგამტარები (დიელექტრიკები)? დაასახელე არაგამტარი ნივთიერებები/მასალები;
5. **დაამზადე ელექტროსკოპი** (სურ. 4): ელექტროსკოპის კორპუსად გამაგრებული სასმელის ლითონის ქილა გამოგადგება. გამოიყენე ქილის სადგამად თიხის ან ერთჯერადი ქაღალდის ჭიქა. „ელექტროსკოპის“ ფირფიტები ფოლგისგან დაამზადე.
6. **დაამზადე ელექტროსკოპი.** მე-5 სურათი მინიშნებად მიიღე.
7. როგორ შეიძლება დამუხტული სხეულის მუხტის ნიშნის დადგენა, თუ ხელთ გაქვს: ელექტროსკოპი, მინის ღერო და აბრეშუმის ქსოვილი?

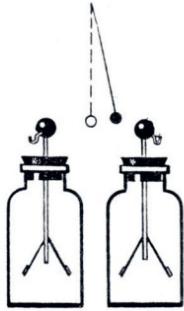


სურ. 4

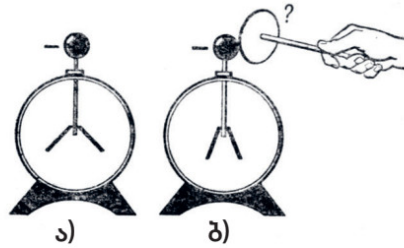


სურ. 5

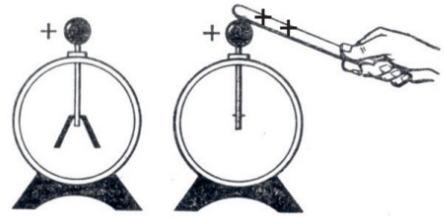
8. ძაფზე დაკიდებული დიელექტრიკის დამუხტული ბურთულა ელექტროსკოპებს შორის მოათავსეს. ის მარჯვნივ გადაიხარა (სურ. 6). ახსენი, რა შემთხვევაში იქნებოდა ეს შესაძლებელი? განიხილე ყველა შესაძლო შემთხვევა.
9. ელექტროსკოპი უარყოფითადაა დამუხტულია (სურ. 7ა). რა ნიშნის მუხტითაა დამუხტული ფირფიტა (სურ. 7ბ), რომელიც ელექტროსკოპს შეახეს?
10. დაასრულე მე-8 სურათზე ნახაზი: დახაზე, როგორ განლაგდება ელექტროსკოპის ფურცლები, თუ მას დადებითად დაელექტროვებულ ღეროს შევახებთ.



სურ. 6



სურ. 7



სურ. 8

11. ორი ელექტროსკოპი ლითონის ღეროთია შეერთებული (სურ. 9).

ერთ-ერთს დადებითად დამუხტული A სხეული შეახეს. როგორი ნიშნით დაიმუხტება B ელექტროსკოპი? C ელექტროსკოპი? პასუხი ახსენი.

12. ა) როგორ დაიმუხტება ნეიტრალური გამტარი სფერო, თუ მას უარყოფითად დამუხტულ ჯოხს შეახებ? რატომ?

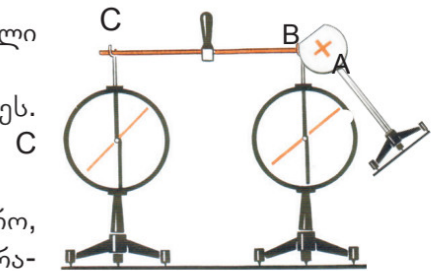
ბ) რა მოხდება, თუ ხელს ახლა უკვე დამუხტულ სფეროს შეახებ? პასუხი ახსენი.

გ) შეამოწმე შენი პასუხის სისწორე ცდით. ნეიტრალური სფეროს ნაცვლად შეგიძლია შენ მიერ დამზადებული დაუმუხტავი ელექტროსკოპი გამოიყენო.

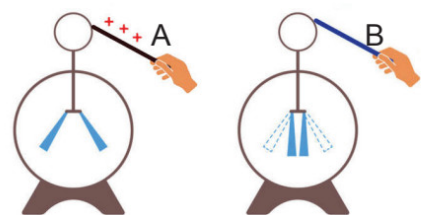
13. ახსენი, რა მოხდება, თუ დადებითად დამუხტულ გამტარ სფეროს ხელს შეახებ?

14. თუ ხელს ლითონის დამუხტულ ბურთულას შეახებ, როგორ შეძლება შეიცვალოს ბურთულის ა) მუხტი? ბ) მასა?

15. ელექტროსკოპის ღეროს აბრეშუმზე ხახუნის შედეგად დაელექტროვებული მინის ღერო (A) შეახეს (სურ. 10). ღეროს ბოლოზე მიმაგრებულმა ფურცლებმა ერთმანეთი განიზიდა. ამის შემდეგ ელექტროსკოპის ღეროს გაურკვეველი ნიშნით დამუხტული სხეული (B) შეახეს. როგორ ფიქრობ, რა ნიშნით იყო დამუხტული B სხეული, თუ ფურცლებს შორის კუთხე



სურ. 9.



სურ. 10

ა) გაიზარდა;

ბ) შემცირდა;

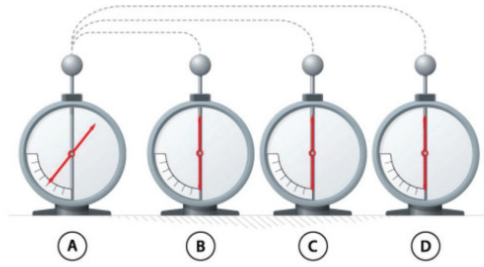
გ) ნულის ტოლი გახდა. რა შემთხვევაშია ეს შესაძლებელი? პასუხები დაასაბუთე.

1.4 ელექტრული მუხტის თვისებები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-16 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- რა არის ელექტრული მუხტი, როგორ განიმარტება ის?
- როგორი სიდიდეა ელექტრული მუხტი: სკალარული თუ ვექტორული?
- რა არის მუხტის ერთეული ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI -ში)?
- რა არის დამინების არსი?
- შეიძლება თუ არა ელექტრული მუხტის გაყოფა უსასრულოდ? რა არის მისი გაყოფის ზღვარი?
- რა არის ელემენტარული მუხტი? როგორ აღინიშნება ის და რისი ტოლია მისი რიცხვითი მნიშვნელობა?
- რომელია ბუნებაში დამოუკიდებლად არსებული უმცირესი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკი? უმცირესი დადებითად დამუხტული ნაწილაკი?
- რისი ტოლია პროტონის მუხტი? ნეიტრონის? ელექტრონის?
- არსებობს თუ არა: ა) ნაწილაკი მუხტის გარეშე? ბ) მუხტი ნაწილაკის გარეშე?
- რას ნიშნავს მუხტის დისკრეტულობა?
- რამდენი სახის ელექტრული მუხტი არსებობს ბუნებაში?
- რა შემთხვევაში იმუხტება სხეული დადებითად? უარყოფითად?
- არსებობს თუ არა მუხტები ნეიტრალურ სხეულზე? რა შინაარსი აქვს სხეულის ნეიტრალურობას?
- რას ნიშნავს მუხტის ინვარიანტულობა?
- რას ნიშნავს მუხტის ადითიურობა?
- რა არის მუხტის შენახვის კანონის არსი? ჩამოაყალიბე მუხტის შენახვის კანონი.
- რისი ტოლია ჟანგბადის ატომში ელექტრონების ჯამური მუხტი?
- რომელ ატომშია ელექტრონების ჯამური მუხტი $-1,6 \cdot 10^{-18}$ კულონის ტოლი?
- რისი ტოლია ატომბირთვის მუხტი: ა) ვერცხლისწყალში? ბ) ტიტანში?
- რისი ტოლია ლითიუმის ატომის ბირთვის მუხტი, თუ მისი ატომური ნომერი ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილში $Z = 3$?
- ჰელიუმის ატომმა 1 ელექტრონი დაკარგა. რისი ტოლია წარმოქმნილი იონის მუხტი?
- მტვრის ნაწილაკმა სინათლის ზემოქმედებით ერთი ელექტრონი დაკარგა. რისი ტოლი გახდა ნაწილაკის მუხტი, თუ ნაწილაკის თავდაპირველი მუხტი იყო:
ა) $-1,6 \cdot 10^{-19}$ კ; ბ) $+1,6 \cdot 10^{-19}$ კ?
- მტვრის ნაწილაკმა ერთი ელექტრონი მიიერთა. რისი ტოლი გახდა ნაწილაკის მუხტი, თუ ნაწილაკის თავდაპირველი მუხტი იყო: ა) $-1,6 \cdot 10^{-19}$ კ; ბ) $+1,6 \cdot 10^{-19}$ კ?
- რისი ტოლი გახდა ფირფიტის მუხტი მაშინ, როცა მისი თავდაპირველი მუხტი იყო:
ა) $-10e$ და მიიერთა 4 ელექტრონი; ბ) $-4e$ და დაკარგა 4 ელექტრონი;
გ) $+10e$ და მიიერთა 4 ელექტრონი; დ) $+10e$ და დაკარგა 4 ელექტრონი.
- ხახუნისას მინის ჯოხიდან აბრეშუმის ქსოვილზე $6 \cdot 10^{13}$ ელექტრონი გადავიდა. განსაზღვრე ჯოხის მუხტის მოდული.
- ბენზზე ებონიტის ჯოხის ხახუნისას ჯოხის მუხტის აბსოლუტური სიდიდე $8 \cdot 10^{-7}$ კ-ის ტოლი გახდა. მიიერთა თუ დაკარგა ჯოხმა ელექტრონები? რამდენი?
- აბრეშუმზე მინის ჯოხის ხახუნისას ჯოხის მუხტის აბსოლუტური სიდიდე $3,2 \cdot 10^{-10}$ კ-ის ტოლი გახდა. მიიერთა თუ დაკარგა ჯოხმა ელექტრონები? რამდენი?
- ელექტროსკოპი დამუხტეს და მისი მუხტი ($-6,4 \cdot 10^{-10}$) კ-ის ტოლი გახდა. რამდენი ჭარბი ელექტრონი შეიძინა ელექტროსკოპმა?

29. შეიძლება თუ არა ბუნებაში არსებობდეს სხეული, რომლის მუხტი $27,2 \cdot 10^{-19}$ კ-ია? თუ არსებობს, გამოთვალე, რამდენი ელექტრონი აკლია სხეულს?
30. A ელექტროსკოპს q მუხტი გადასცეს (სურ. 11). როგორ გადანაწილდება q მუხტი B, C და D ელექტროსკოპებზე, თუ:
- ა) A ელექტროსკოპი ერთი გამტარით რიგრიგობით შეაერთეს ჯერ მხოლოდ B ელექტროსკოპთან, ხოლო შემდეგ მხოლოდ C-სთან და მხოლოდ D-სთან.
- ბ) A ელექტროსკოპი ერთდროულად შეაერთეს სამი გამტარით დანარჩენებთან.
31. ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულიდან ერთ-ერთის მუხტი 4 ნკ-ია, ხოლო მეორის მუხტი – (-12) ნკ-ია. ბურთულები ჯერ ერთმანეთს შეახეს, ხოლო შემდეგ გააცალკევეს. როგორი მუხტი ექნება თითოეულ ბურთულას შეხების შემდეგ?
32. სამი ერთნაირი ლითონის ბურთულა ჯერ ერთმანეთს შეახეს, ხოლო შემდეგ დააცალკევეს. რის ტოლი გახდება ბურთულების მუხტები, თუ ცნობილია, რომ მათი საწყისი მუხტებია 6 ნკ, -4 ნკ და 7 ნკ.



სურ. 11

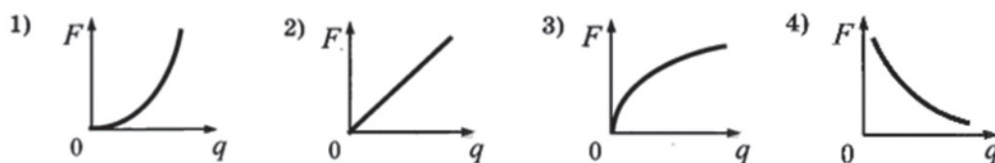
1.5 კულონის კანონი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-8 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- ჩამოაყალიბე ელექტროსტატიკის ძირითადი კანონი – კულონის კანონი;
- როგორი მუხტებისთვისაა დადგენილი კულონის კანონი?
- რას ეწოდება წერტილოვანი მუხტი?
- როგორ ჩაინერგება მათემატიკურად კულონის კანონი? განსაზღვრე ფორმულაში შემავალი სიდიდეები.
- რა არის კულონის კანონში შემავალი k პროპორციულობის კოეფიციენტის:
 - რიცხვითი მნიშვნელობა?
 - ერთეული?
 - ფიზიკური არსი (რას გვიჩვენებს ის)?
- რა არის მუხტის ერთეული ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში)?
- რამდენი კულონის ტოლია 1 მიკროკულონი? 1 ნანოკულონი?
- როგორია მუხტების ურთიერთქმედების კულონური ძალები:
 - მოდულით?
 - მიმართულებით?

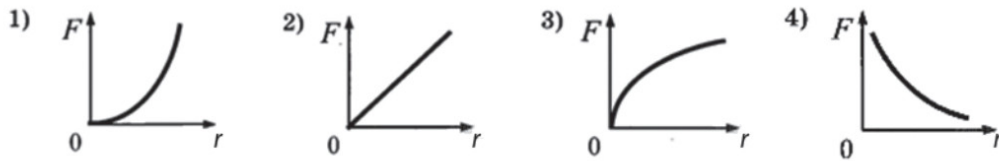
შენიშვნა: თუ № 9 - 27 ამოცანებში სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მუხტები, გამტარი ბურთულები წერტილოვანია და ვაკუუმშია მოთავსებული.

9. მე-12 სურათზე გამოსახული გრაფიკებიდან რომელი აღწერს ორ წერტილოვან უძრავ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულის დამოკიდებულებას ერთ-ერთი მუხტის აბსოლუტურ სიდიდეზე? ცნობილია, რომ მუხტებს შორის მანძილი უცვლელია.



სურ. 12

10. მე-13 სურათზე გამოსახული გრაფიკებიდან, რომელი აღწერს ორ წერტილოვან უძრავ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულის დამოკიდებულებას მუხტებს შორის მანძილზე?



სურ. 13

11. რისი ტოლია ორი მუხტის ურთიერთქმედების კულონური ძალის მოდული ვაკუუმში, თუ თითოეული მუხტის მოდული 1 კ-ია, ხოლო მათ შორის მანძილი – 1 მ?
12. როგორ შეიცვლება ორ წერტილოვან მუხტს შორის ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების ძალის მოდული, თუ:
- ერთი მუხტის მოდული 2-ჯერ გაიზრდება (მათ შორის მანძილი უცვლელია)?
 - თითოეული მუხტის მოდული 3-ჯერ შემცირდება (მათ შორის მანძილი უცვლელია)?
 - მუხტებს შორის მანძილი 4-ჯერ შემცირდება?
 - მუხტებს შორის მანძილი 2-ჯერ გაიზარდება?
 - თუ მუხტებს შორის მანძილი 2-ჯერ შემცირდება, ხოლო ერთ-ერთი მუხტი 2-ჯერ გაიზრდება?
 - თითოეულის მოდული 2-ჯერ შემცირდება, ხოლო მათ შორის მანძილი 3-ჯერ გაიზრდება?
 - თითოეულის მოდული 3-ჯერ გაიზრდება, ხოლო მათ შორის მანძილი 2-ჯერ შემცირდება?
13. განსაზღვრე ძალის მოდული, რომლითაც ვაკუუმში მოთავსებული ორი წერტილოვანი მუხტი ურთიერთქმედებს, თუ ცნობილია, რომ:
- $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ კ; $q_2 = -4 \cdot 10^{-8}$ კ და მათ შორის მანძილი 6 სმ-ია;
 - $q_1 = 9 \cdot 10^{-7}$ კ; $q_2 = -8 \cdot 10^{-7}$ კ და მათ შორის მანძილი 9 სმ-ია;
 - $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ კ; $q_2 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ კ და მუხტები ერთმანეთისგან 20 სმ-ითაა დაშორებული.
14. გამოთვალე, რამდენჯერ აღემატება მოდულით ორ ელექტრონს შორის ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების ძალა მათ შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალას.
15. მოდულით ტოლი რა მუხტი უნდა გადავცეთ ორ 10-გრამიან ლითონის ბურთულას, რომ ურთიერთქმედების კულონურმა ძალამ ბურთულებს შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალა გააწონასწოროს? ბურთულებს შორის მანძილი გაცილებით აღემატება მათ რადიუსებს.
16. განსაზღვრე ურთიერთქმედების ძალის მოდული 10 კმ-ით დაშორებულ ორ ღრუბელს შორის, თუ მათი მუხტები 10 და 20 კ-ია. ჩათვალე, რომ ურთიერთქმედება ღრუბლებს შორის კულონის კანონით აღინერება.
17. 1 მ-ით დაშორებული ორი ერთნაირი წერტილოვანი მუხტი ვაკუუმში 1 ნ ძალით ურთიერთქმედებს. განსაზღვრე ამ მუხტების მოდული.
18. ვაკუუმში 50 სმ-ით დაშორებული ორი ერთნაირი მუხტი 3,6 ნ ძალით ურთიერთქმედებს. განსაზღვრე, რისი ტოლია ამ მუხტების მოდული.
19. ვაკუუმში 10 მმ-ით დაშორებული ორი ერთნაირი დადებითი მუხტი ერთმანეთისგან 0,72 მნ ძალით განიზიდება. განსაზღვრე, რისი ტოლია ამ მუხტების მოდული.

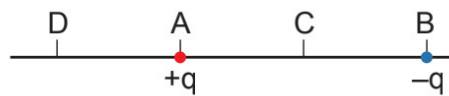
20. ვაკუუმში ერთმანეთისგან 10 სმ-ით დაშორებული ორი წერტილოვანი მუხტი ერთმანეთისგან $6 \cdot 10^{-5}$ ნ ძალით განიზიდება. გამოთვალე მათ შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული, თუ მუხტებს კიდეც 10 სმ-ით დავაშორებთ.
21. 6 სმ-ით დაშორებული ორი მუხტი ვაკუუმში 0,9 მკნ ძალით ურთიერთქმედებს. რა მანძილზე იქნება ურთიერთქმედების ძალის მოდული 0,4 მკნ-ის ტოლი?
22. განსაზღვრე, რა მანძილითაა დაშორებული ერთმანეთისგან ვაკუუმში მოთავსებული ორი წერტილოვანი მუხტი, თუ ცნობილია, რომ $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ კ, $q_2 = -4,5 \cdot 10^{-7}$ კ და მათ შორის ურთიერთქმედების ძალა 0,1 ნ-ია.
23. განსაზღვრე მანძილი 1 მკკ და 10 ნკ მუხტებს შორის, თუ ურთიერთქმედების ძალის მოდულია 9 მნ;
24. გამოთვალე ურთიერთქმედების ძალა 1 სმ-ით დაშორებულ ორ ბურთულას შორის ვაკუუმში მას შემდეგ, რაც ერთი მათგანიდან მეორეზე მილიონი ჭარბი ელექტრონი გადავა (ბურთულები თავდაპირველად ნეიტრალურია).
25. უარყოფითად დამუხტული მცვრის ორი ნაწილაკი ვაკუუმში ერთმანეთისგან 3 მმ მანძილითაა დაშორებული და ერთმანეთს $4 \cdot 10^{-5}$ ნ ძალით განიზიდებს. ჩათვალე, რომ ნაწილაკები ერთნაირი მუხტითაა დამუხტული და განსაზღვრე ჭარბი ელექტრონების რაოდენობა თითოეულ მათგანზე.
26. ვაკუუმში ლითონის ორი დადებითად დამუხტული ბურთულა ერთმანეთისგან 10 სმ მანძილითაა დაშორებული და 0,23 მნ ძალით ურთიერთქმედებს. განსაზღვრე, რამდენი ელექტრონი აკლია თითოეულ მათგანს, თუ ცნობილია, რომ ბურთულების მუხტი სიდიდით ერთნაირია.

1.6 ფიზიკა ამოცანებში: კულონის კანონი

1. რაში მდგომარეობს ძალთა სუპერპოზიციის (ზედდების) პრინციპი?
შენიშვნა: თუ № 2 – 17 ამოცანებში სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მუხტები, გამტარი ბურთულები წერტილოვანია და ვაკუუმშია მოთავსებული.
2. ლითონის ორი ერთნაირი ბურთულა, რომელთა მუხტებია $-2 \cdot 10^{-8}$ კ და $-4 \cdot 10^{-8}$ კ, ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ 10 სმ-ით დააშორეს. გამოთვალე შეხების შემდეგ მათი ურთიერთქმედების ძალის მოდული ვაკუუმში.
3. ორი ერთნაირი ბირთვი, რომელთა მუხტებია $9 \cdot 10^{-9}$ კ და $-2 \cdot 10^{-9}$ კ, ერთმანეთისგან 40 სმ-ითაა დაშორებული. ბირთვები ერთმანეთს შეახეს და შემდეგ იმავე მანძილით დააშორეს. გამოთვალე ბირთვების ურთიერთქმედების ძალის მოდული შეხებამდე და შეხების შემდეგ.
4. ლითონის ორი ერთნაირი ბურთულა დამუხტულია ისე, რომ ერთი მათგანის მუხტი მოდულით მეორის მუხტს 5-ჯერ აღემატება. ბურთულები ერთმანეთს შეახეს და შეხების შემდეგ საწყის მდებარეობაში დააბრუნეს. განსაზღვრე, როგორ შეიცვლება ბურთულების ურთიერთქმედების ძალა მოდულით, თუ ცნობილია, რომ ბურთულების მუხტები
ა) ერთნაირნიშნაანია; ბ) სხვადასხვანიშნაანია.
5. ლითონის ორი ერთნაირი ბურთულა დამუხტულია ისე, რომ ერთი მათგანის მუხტი მოდულით მეორის მუხტს 7-ჯერ აღემატება. ბურთულები ერთმანეთს შეახეს და შეხების შემდეგ საწყის მდებარეობაში დააბრუნეს. განსაზღვრე, როგორ შეიცვლება ბურთულების ურთიერთქმედების ძალა მოდულით, თუ ცნობილია, რომ ბურთულების მუხტები:
ა) ერთნაირნიშნაანია; ბ) სხვადასხვანიშნაანია.
6. დაამტკიცე, რომ თუ ლითონის ორი ერთნაირი ბურთულა დამუხტულია ერთნაირნიშნაანი, მაგრამ სხვადასხვა სიდიდის მუხტით, მაშინ მათი შეხებისას და შემდეგ

თავდაპირველი მანძილით დაშორებისას ურთიერთქმედების ძალის მოდული აუცილებლად გაიზრდება. ამასთან, რაც უფრო მეტია მუხტის მოდულებს შორის განსხვავება, მით მეტად გაიზრდება ურთიერთქმედების ძალის მოდული.

7. ლითონის ორი ერთნაირი ბურთულა დამუხტულია ერთნაირი q და $4q$ მუხტებით. მათ შორის მანძილია r . რა მანძილზე უნდა დავაშოროთ შეხების შემდეგ ბურთულები ერთმანეთს, რომ ურთიერთქმედების ძალა არ შეიცვალოს?
8. განსაზღვრე, რა ძალა მოქმედებს $5 \cdot 10^{-7}$ კ მუხტზე, რომელიც მოთავსებულია $q_1 = 10$ მკკ და $q_2 = -3$ მკკ წერტილოვანი მუხტების შემაერთებელი მონაკვეთის შუაწერტილში. ცნობილია, რომ მანძილი q_1 და q_2 მუხტებს შორის 20 სმ-ია.
9. 10 და 16 ნკ მუხტებს შორის მანძილი 7 მმ-ია. იპოვე იმ ძალის მოდული, რომელიც იმოქმედებს 2 ნკ მუხტზე წერტილში, რომელიც მცირე მუხტიდან 3 მმ-ითაა დაშორებული, ხოლო დიდი მუხტიდან – 4 მმ-ით.
10. $q/2$ სიდიდის საცდელი მუხტი $+q$ და $-q$ მუხტების შემაერთებელ წრფეზე ჯერ C წერტილში მოათავსეს, შემდეგ კი – D წერტილში (სურ. 14). შეადარე საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალების მოდულები C და D წერტილში. ცნობილია, რომ $DA = AC = CB$.

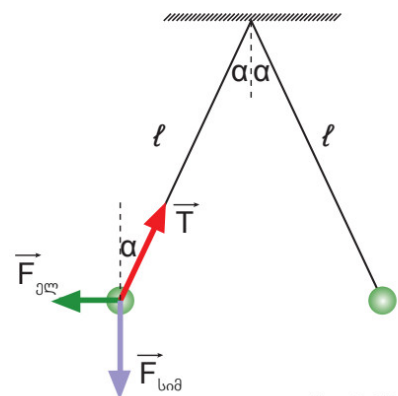


სურ. 14

11. 90 და 10 ნკ მუხტები ერთმანეთისგან 4 სმ-ითაა დაშორებული. სად უნდა მოვათავსოთ მესამე მუხტი, რომ იგი წონასწორობაში იყოს?
12. 40 და -10 ნკ მუხტები ერთმანეთისგან 10 სმ-ითაა დაშორებული. როგორი უნდა იყოს მესამე მუხტი და სად უნდა მოვათავსოთ ის, რომ სამივე მუხტისგან შედგენილი სისტემა წონასწორობაში იყოს? გაარკვე, მდგრადია თუ არა სისტემის წონასწორობა.
13. სამი ერთნაირი წერტილოვანი მუხტი $q_1 = q_2 = q_3 = 9$ ნკ განლაგებულია ტოლგვერდა სამკუთხედის წვეროებში. რა სიდიდის წერტილოვანი q_0 მუხტი უნდა მოვათავსოთ სამკუთხედის ცენტრში, რომ სისტემა წონასწორობაში იყოს?
14. კვადრატის წვეროებში განლაგებულია ერთნაირი წერტილოვანი დადებითი q მუხტები. რა სიდიდის წერტილოვანი q_0 მუხტი უნდა მოვათავსოთ კვადრატის ცენტრში, რომ სისტემა წონასწორობაში იყოს?
15. ერთ წერტილში დამაგრებულ ორ ძაფზე ლითონის ბურთულები დაკიდეს და ერთნაირნიშნის მუხტით დამუხტეს. შეადარე ვერტიკალიდან ძაფების გადახრის კუთხეები, თუ ბურთულების:

- ა) მასები ერთნაირია. პირველი ბურთულის მუხტის მოდული მეორისაზე მეტია;
- ბ) მუხტები ერთნაირია. პირველი ბურთულის მასა მეორისაზე მეტია.

16. m მასის ორი ერთნაირი ბურთულა ერთნაირი ℓ სიგრძის ძაფებით ერთ წერტილში დაკიდეს და ერთნაირი მუხტებით დამუხტეს. ბურთულებმა ერთმანეთი განიზიდა ისე, რომ ძაფებს შორის 2α სიდიდის კუთხე შეიქმნა (სურ. 15). იპოვე ბურთულების მუხტი და ძაფის დაჭიმულობის ძალა.



სურ. 15

17. m მასის ორი ერთნაირი ბურთულა ერთნაირი ℓ სიგრძის ძაფებით ერთ წერტილში დაკიდეს და ერთნაირი მუხტებით დამუხტეს. ბურთულებმა ერთმანეთი განიზიდა ისე, რომ ძაფებს შორის 90° -იანი კუთხე შეიქმნა. იპოვე ბურთულების მუხტი და ძაფის დაჭიმულობის ძალა.

I თავის მოკლე შინაარსი

ელექტროდინამიკის იმ ნაწილს, რომელიც უძრავ ელექტრულ მუხტებს და მათ შორის ურთიერთქმედებას შეისწავლის, **ელექტროსტატიკა** ჰქვია.

ელექტრული მუხტი სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ძალას განსაზღვრავს და დამუხტულ სხეულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდულს მათ შორის მანძილთან აკავშირებს.

ელექტრული მუხტი q ასოთი აღინიშნება. **მუხტის ერთეული SI-ში 1 კულონია (1 კ).** პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება მუხტის სხვა ერთეულები:

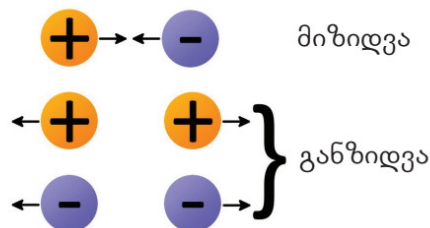
1 მიკროკულონი (1 მკკ) = 10^{-6} კ; **1 ნანოკულონი (1 ნკ) = 10^{-9} კ.**

ელექტრული მუხტი ორგვარია: დადებითი და უარყოფითი. დაელექტროების დროს სხეული:

ა) დადებითად იმუხტება, თუ ის გასცემს ელექტრონებს ($q > 0$);

ბ) უარყოფითად იმუხტება, თუ ის მიიერთებს ელექტრონებს ($q < 0$);

ერთნაირნიშნაანი მუხტის მქონე ნაწილაკები განიზიდება, ხოლო საპირისპირო ნიშნის მქონენი — მიიზიდება (სურ.1)



სურ. 1

სხეული (ნაწილაკი) დაელექტროებისას კარგავს ან მიიერთებს ელექტრონების გარკვეულ რაოდენობას და, შესაბამისად, სხეულის (ნაწილაკის) მუხტი დაკარგული ან მიერთებული ელექტრონების რიცხვით განისაზღვრება.

ელექტრონი უმცირესი, განუყოფელი, ე. წ. ელემენტარული მუხტის მქონე ნაწილაკია. ბუნებაში ელემენტარულ მუხტზე უფრო მცირე მუხტი **დამოუკიდებლად** არ არსებობს. **ნებისმიერი დამოუკიდებლად არსებული ნაწილაკისა და მაკროსკოპული სხეულის მუხტი ასე გამოითვლება: $q = n e$** , სადაც e ელემენტარული მუხტია – ელექტრონის (პროტონის) მუხტის აბსოლუტური სიდიდე, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ კ, n ნებისმიერი მთელი რიცხვი (ელექტრონისთვის $n = -1$, ხოლო პროტონისთვის $n = +1$, შესაბამისად

$$q_{\text{პრ}} = +e \text{ და } q_{\text{ელ}} = -e).$$

ელექტრული მუხტი ინვარიანტულია: სხეულის (ან ნაწილაკის) მუხტის მოდული ათვლის სისტემაზე დამოკიდებული არ არის. მუხტი სიჩქარეზე დამოკიდებული არ არის.

ელექტრული მუხტი ადიტიურია (იკრიბება): ნებისმიერი სისტემის მუხტი სისტემაში შემავალი სხეულების (ნაწილაკების) ჯამური მუხტის ტოლია: $q_{\text{სისტ}} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$.

ნებისმიერ შემთხვევაში დაელექტროების მოვლენა **მუხტის შენახვის კანონს** ემორჩილება. კანონი სამართლიანია სხეულთა (ნაწილაკთა) ჩაკეტილი, იზოლირებული სისტემისთვის, ანუ ისეთი სისტემისთვის, რომელშიც გარედან არ შედის და რომლიდანაც გარეთ არ გამოდის დამუხტული ნაწილაკები.

ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი სხეულების (ნაწილაკების) ჯამური ელექტრული მუხტი არ იცვლება: $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$

ელექტროსტატიკის ძირითადი კანონია **კულონის კანონი**, რომელიც შარლ ოგიუსტენ კულონმა (1736 – 1806) ექსპერიმენტულად დაადგინა:

ვაკუუმში ორ წერტილოვან უძრავ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

კულონის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

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

სადაც k პროპორციულობის კოეფიციენტი, $|q_1|$ და $|q_2|$ მუხტების აბსოლუტური სიდიდეებია (მოდულებია), ხოლო r მუხტებს შორის მანძილია.

უძრავ ელექტრულ მუხტებს შორის ურთიერთქმედებას **ელექტროსტატიკური, ანუ კულონური, ურთიერთქმედება ეწოდება**, ამ ურთიერთქმედებისას აღძრულ, მე-2 ფორმულით გამოსახულ ძალას კი – **კულონური ძალა**.

SI-ში k პროპორციულობის კოეფიციენტი ასეც შეიძლება ჩაიწეროს:

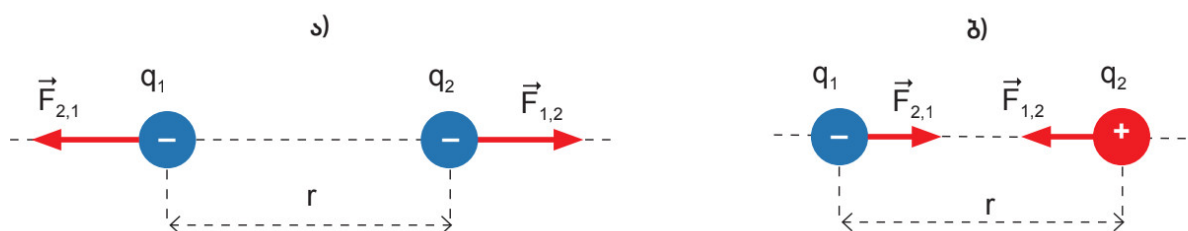
$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$. ϵ_0 -ს **ელექტრული მუდმივა** ჰქვია (ϵ ბერძნული ასოა და იკითხება, როგორც „ეფსილონ“) და მისი რიცხვითი მნიშვნელობა ასე გამოისახება:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{კ}^2}{\text{მ}^2}$$

კულონის კანონი შეიძლება ასეც ჩაიწეროს:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

კულონური ძალები მუხტების (მათი ცენტრების) შემაერთებული წრფის გასწვრივ მიმართული (სურ. 2) და ძალის მიმართულება იმის მიხედვით განისაზღვრება, მუხტები ერთნაირნიშნისა (სურ. 2ა) თუ სხვადასხვანიშნისა (სურ. 2ბ):



სურ. 2



სურ. 1. ფარადეის გალია

„...ელექტროტექნიკის თვალსაზრისით ადამიანის სხეულის აგებულების შესწავლამ დამარწმუნა, რომ ჩვენი სხეული წარმოადგენს ელექტროსადგურს, რომელსაც შეუძლია გამოასხივოს და მიიღოს ელექტრომაგნიტური ტალღები...

...რკინის ხშირი ბადისაგან საკუთარი ხელით გავაკეთე გალია და იზოლატორებზე შევდგი, ბადე სურვილისამებრ შემეძლო დამემინებინა. გალიის წინ ძაღლს დავსვამდით, გალიაში კი დუგოვი იჯდა. როცა გალია დამინებული არ იყო, ძაღლი წარმატებით ასრულებდა დუგოვის აზრობრივ ბრძანებებს, მაგრამ საკმარისი იყო, გალიის ლითონის გარსი დაგვემინებინა და არავითარი შთაგონება აღარ აღწევდა ძაღლამდე: ტვინის გამოსხივებული ტალღები ლითონის ბადეს ხვდებოდა და მიწას ერთვოდა...

ასე რომ, თუ ტანს ლითონის თხელი ბადით დავიფარავთ, შტირნერის აზრებს, ანუ მისი ტვინის მიერ გამოსხივებულ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს, ბადე დაიჭერს და მიწას გადასცემს. ველარაფერს დაგვაკლებს მისი გამოსხივება. შტირნერის ტვინზე ზემოქმედებისთვის კი აზრებს საიზოლაციო კოსტიუმის ჩაუცმელად გადავცემ...”

ასე აღწერს ფანტასტიკური რომანის, „მსოფლიოს მბრძანებლის“, გმირი საკუთარ გამოგონებას, „რკინის ხშირი ბადისაგან“ გაკეთებულ გალიას, რომელიც კაცობრიობას მსოფლიოს მბრძანებლობის სურვილით შეპყრობილი ერთი ადამიანის აკვიატებული აზრებისგან იხსნის... იმ ადამიანის, რომელიც მიზნის მიღწევას ისეთივე რკინის გალიის დახმარებით აპირებდა.

დიახ, ეს ფანტასტიკაა, რომელიც მწერლის წარმოსახვის ნაყოფია, თუმცა სრულიად რეალურ ფიზიკურ მოვლენას ეფუძნება: „რკინის გალია“, რომელიც სხეულს გარე ელექტრული ველის ზემოქმედებისგან იცავს, ფანტასტიკა სულაც არ არის. ეს სინამდვილეა და მას **ფარადეის გალია** ჰქვია (რა არის ელექ-

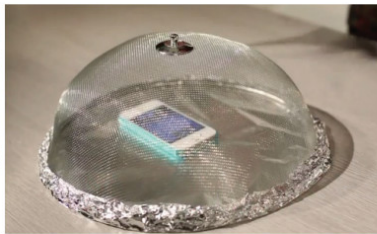
ტრულ ველი, რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება ის და როგორ მოქმედებს მასში მოთავსებულ სხეულებზე, მომდევნო პარაგრაფებში გაეცნობი).

მაიკლ ფარადეი (1791 – 1867) ინგლისელი მეცნიერია, რომლის როლი ელექტროდინამიკისა და ელექტროქიმიის განვითარებაში განუსაზღვრელად დიდია. მის სახელს უკავშირდება ბევრი ისეთი გენიალური გამოგონება, რომლებსაც დღესაც არ დაუკარგავს თავისი აქტუალობა (მაგ., ელექტროძრავა, ტრანსფორმატორი). ერთ-ერთი მათგანი ე. წ. „ფარადეის გალია“, რომელიც მეცნიერმა 1836 წელს შექმნა.

ფარადეის გალია მარტივი მოწყობილობაა (როგორც ყველაფერი გენიალური!): ის ერთგვარი სათავსია (ყუთია), რომლის კედლები ლითონისგანაა (გამტარი მასალისგანაა) დამზადებული. სათავსის კედლებად ლითონის მთლიანი ფირფიტები ან ბადე გამოიყენება (სურ. 2-4). სწორედ ლითონის ბადისგან დამზადებული სათავსი ქმნის „გალიის“ შთაბეჭდილებას და ამიტომაც ეწოდა ეს სახელი. ფარადეის გალიის დამზადება ადვილად შეგიძლია და ამისათვის საყოფაცხოვრებო ნივთებიც გამოგადგება. მაგ., ლითონის ნებისმიერი ჭურჭელი (ქვაბი, სათლი, ქილა, ყუთი). მთავარია, ჭურჭლის შიდა კედლები არაგამტარი მასალით იყოს დაფარული (სურ. 5). ფარადეის გალიისთვის შეგიძლია წვრილი ბადისგან დამზადებული ნივთებიც გამოიყენო, მაგ., ლითონის საცერი.



სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5



დავალება 1. ჩაატარე ცდა და დააკვირდი: იცავს თუ არა ფარადეის გალია მასში მოთავსებულ სხეულს გარე ელექტრული ველის ზემოქმედებისგან.



ცდის ჩასატარებლად დაგჭირდება:

1. ელექტრული „სულთანი“ – ერთგვარი ელექტროსკოპი;
2. ფარადეის გალია – ასეთი „გალია“ სამზარეულოშიც შეგიძლია იპოვო ან სამშენებლო ბადისგან ადვილად დაამზადო.

დაამზადე ელექტრული „სულთანი“ (სურ. 6):

1. გამოჭერი ფოლგისგან (ან ჩვეულებრივი თხელი ქაღალდის ფურცლისგან) მართკუთხედი (50 X 80 მმ);
2. მართკუთხედი მთელ სიგრძეზე ვიწრო ზოლებად დაჭერი, ოღონდ ისე, რომ მართკუთხედი ბოლომდე არ გაჭრა: ზოლები ერთი ბოლოთი ერთმანეთს არ უნდა დასცილდეს. დაჭრილი მართკუთხედი გადაახვიე და გაუჭრელი ბოლო მოუკარი – ეს „სულთნის“ ფორჩხია.
3. ქაღალდის სამაგრის ერთი ბოლო გაშალე, ხოლო მეორე – საყრდენად გამოიყენე და მიღებული კონსტრუქცია ფურცელზე მოათავსე;
4. მოათავსე სამაგრის გაშლილი ბოლოს წვერზე ფოლგისგან დამზადებული „სულთნის“ ფორჩხი და ხელსაწყო, რომელიც დაელექტროებული სხეულების აღმოჩენაში დაგეხმარება, მზადაა!



სურ. 6

ჩაატარე ცდა:

5. მიუახლოე „სულთნის“ ფოჩებს შალის ქსოვილზე ან მშრალ თმაზე ხახუნით დაელექტროებული სავარცხელი (სახაზავი). აღწერე ცდის შედეგი.
6. მოათავსე ამჯერად „სულთანი“ ფარადის გალიის ქვეშ (სურ. 7) და მიუახლოე მას დაელექტროებული სავარცხელი (სახაზავი). **დააკვირდი:** იმოქმედა თუ არა ძალამ „სულთანზე“?



სურ. 7

თუ შენ მიერ გამოყენებულმა გალიამ „სულთანი“ გარე ელექტრული ველის ზემოქმედებისგან ვერ დაიცვა, გამოიკვლიე ხელის შემშლელი მიზეზები. ეცადე, აღმოფხვრა ისინი და ჩაატარე ცდა ხელახლა.

7. შეამოწმე: იცავს თუ არა ფარადის გალია მის შიგნით მოთავსებულ რკინის სხეულებს (მაგ., ლურსმანს, ჭიკარტს) მაგნიტის ზემოქმედებისგან.

ფარადის გალია ნამდვილად იცავს გარე ელექტრული ველისგან მასში მოთავსებულ სხეულებს. ამ მოვლენას ფიზიკაში **„ელექტროსტატიკურ დაცვას“** უწოდებენ (მოვლენის არსს მოგვიანებით, § 2.4-ის შესწავლისას გაეცნობი) და მის იმედად გრძნობენ თავს დაცულად „სამეცნიერო თეატრის“ მსახიობები, რომლებიც სახიფათო ექსპერიმენტებს თეატრალური წარმოდგენების სახით დგამენ (სურ. 8): ფარადის გალიას, რომლის შიგნითაც მსახიობი იმყოფება, ელექტრული გენერატორის დახმარებით ხელოვნურად შექმნილი „მეხი“ ეცემა! ფარადის გალია რამდენიმე მილიონი ვოლტი ძაბვის ქვეშაა, თუმცა მსახიობი სრულიად უვნებელია. მეტიც, უამრავი მაყურებლისგან განსხვავებით, მშვიდადაა, რადგან ზუსტად იცის, რომ ფიზიკის კანონები არ „ტყუიან“.



სურ.8

დავალეზა 2. მოიძიე ინფორმაცია, რა არის „ელექტროსტატიკური დაცვის“ ფიზიკური არსი (იხ. § 2.4) და ახსენი:

- ა) რა დანიშნულება აქვს ლითონის დამცავ ფენას (ე.წ. ეკრანს) ტელევიზორის ანტენასთან შემაერთებელ კაბელში (სურ. 9). **დააკვირდი:** ზოგჯერ კაბელს ლითონის ორმაგი დამცავი ფენა (ეკრანი) აქვს ლითონის წნულისა და ფოლგის სახით.
- ბ) რატომ ათავსებენ სხვადასხვა სიდიდის გამზომ უზუსტეს ხელსაწყოებს ლითონისკედლიან ოთახში (სურ. 10);
- გ) რატომ ფარავენ ელექტრომონოკობილობებს ყველა მხრიდან ლითონის ბადით (გვ. 66. სურ. 11,12);
- დ) როგორ იცავენ ჭექა-ქუხილისგან ნაგებსა და ხომალდებს გაშლილ ზღვაში, ავტომობილებს, თვითმფრინავებს.



სურ. 9



სურ. 10



სურ. 11



სურ. 12

დავალეზა 3. დამზადე ფარადეის გალია, რომელიც შენ მიერ შერჩეულ ელექტრომონოცილობებს (მაგ., მობილურ ტელეფონს, პლანშეტს) გარე ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებისგან დაიცავს: თუ ფარადეის გალიას სწორად დამზადებ, მის შიგნით მოთავსებულ მობილურ ტელეფონს ვერ უნდა უკავშირდებოდეს.

წარმოდგინე შენ მიერ შექმნილი „ფარადეის გალია“ და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. „ფარადეის გალიის“ დამზადების ეტაპების დანვრილებითი აღწერილობა;
2. მიზეზშედგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამონვრული, რა შედეგი მოჰყვება), რომლებსაც „გალიის“ მოქმედება ეფუძნება;
3. როგორ ხორციელდება ურთიერთქმედება ველის საშუალებით და რა ფიზიკური სიდიდეებით შეიძლება დავახასიათოთ ეს ურთიერთქმედება;
4. როგორ არის დამოკიდებული
 - ა) ელექტრული ძალის მოქმედების შედეგი (სულთნის ფორმის გადახრის კუთხე) მის მოდულზე, მიმართულებაზე, მანძილზე;
 - ბ) ბადისგან დამზადებული „გალიის“ დაცვის უნარი:
 - მასალაზე, რისგანაც გალიაა დამზადებული;
 - გალიიდან ველის წყარომდე მანძილზე, ერთი და იმავე ბადის შემთხვევაში;
 - ბადის თითოეული უჯრედის ზომაზე, როცა წყარომდე მანძილი უცვლელია;
5. არის თუ არა დამოკიდებული „გალიის“ დაცვის უნარი გალიის კედლის სისქეზე, თუ კედელი მთლიანი ლითონის ფირფიტებისგანაა დამზადებული;
4. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს ფარადეის გალიას და რაში იყენებენ მას ტექნიკასა და ყოფა-ცხოვრებაში.

პროექტზე მუშაობაში დაგეხმარება მასალები, რომლებიც ინტერნეტშია განთავსებული მისამართებზე:



<http://bitly.ws/pmbB>
<http://bitly.ws/oam2>

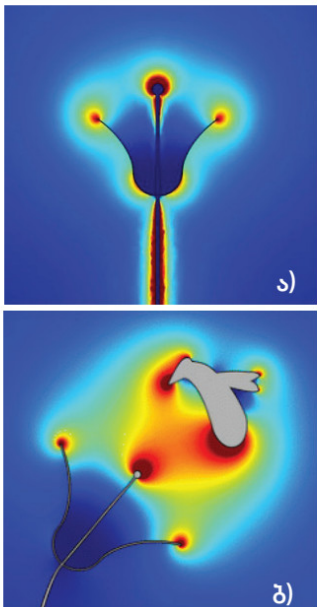
ვიდეომასალაში ასახული ცდები
<http://bitly.ws/oanQ>

<http://bitly.ws/pmdf>
<http://bitly.ws/oakY>

ცდები
<http://bitly.ws/pmci>

<http://bitly.ws/pme3>





სურ. 1

ის, რასაც თვალთ ვერ ვხედავთ, სპეციალურმა ფოტოკამერამ დააფიქსირა: სურათზე (სურ.1ა) უარყოფითად დამუხტული ყვავილის გარემომცველი სივრცე ჩანს. ფოტოზე ფერები მას შემდეგ იცვლება (სურ.1 ბ), რაც ყვავილს ფუტკარი ესტუმრება და მის უარყოფითად დამუხტულ მტვერს თან წაიყოლებს... ანუ ყვავილის გარშემო „რალაც“ იცვლება და სხვა ფუტკრებისთვის ეს ცვლილება იმის მანიშნებელია, რომ ყვავილზე სასურველი ნექტრის მარაგი ამოიწურა...

ნახე ვიდეო <http://bitly.ws/rPRQ>

ფუტკარი ყვავილის მუხტს შორიდან „გრძნობს“... ელექტრული „სულთანი“ დაელექტროებული სხეულის მიახლოებისას გაიშლება და ამისთვის მასთან შეხება საჭირო სულაც არ არის... დაელექტროებული ბუშტის შორიახლოს თმა „ყალყზე“ დგება.... რატომ ხდება ასე? როგორ მოქმედებს დაელექტროებული სხეული სხვა სხეულებზე შორ მანძილზე? განსხვავდება თუ არა დაელექტროებული სხეულის გარშემო სივრცე დაუმუხტავი

სხეულის გარემომცველი სივრცისგან? ამ კითხვებზე პარაგრაფის შესწავლისას უპასუხებ, მანამდე კი ჩაატარე ცდა და კიდევ ერთხელ დააკვირდი, როგორ ურთიერთქმედებენ დაელექტროებული სხეულები შორ მანძილზე.

2.1.1. ელექტრული ველი



ცდა I

აბრეშუმის ძაფზე დაკიდებული დამუხტული ბურთულები ერთმანეთთან ახლოს მოათავსე. გადაიხრება თუ არა ვერტიკალური მდგომარეობიდან პირველი ბურთულა? მეორე? რატომ?

ცხადია, ამ კითხვებზე პასუხს შარლ კულონიც გასცემდა, თუმცა ის დამუხტული ბურთულების ურთიერთქმედებას ექსპერიმენტულად დადგენილ ფაქტად მიიჩნევდა და ურთიერთქმედების მექანიზმს (თუ რა გზით გადაეცემა გარკვეულ მანძილზე ერთი ბურთულის მოქმედება მეორეს უშუალოდ შეხების გარეშე) მეცნიერი ვერ ახსნიდა.

მეცნიერების შემდგომმა განვითარებამ ცხადყო, რომ დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას საკმაოდ რთული ხასიათი აქვს. ინგლისელი მეცნიერების მაიკლ ფარადეისა (1791 – 1867) და ჯეიმს კლერკ მაქსველის (1831 – 1879) შრომებმა საფუძველი ჩაუყარა ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თანამედროვე თეორიას, რომლის თანახმადაც, ნებისმიერი დამუხტული სხეული თავის გარშემო ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის საშუალებითაც სხვა დამუხტულ სხეულთან ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ხორციელდება. ამ თეორიის თანახმად, ორ დამუხტულ ნაწილაკს შორის ურთიერთქმედება ასე აღინერება: დამუხტული ნაწილაკები უშუალოდ არ მოქმედებენ ერთმანეთზე. ერთი დამუხტული ნაწილაკის ელექტრული ველი მეორე ნაწილაკზე მოქმედებს და პირიქით.

ველი (ელექტრული, გრავიტაციული, მაგნიტური) მატერიის არსებობის განსაკუთრებული ფორმაა. ველი ჩვენი ცნობიერებისგან დამოუკიდებლად არსებობს, იმის მიუხედავად, ვიცით თუ არა მისი არსებობის შესახებ. ველს აქვს თვისებები, რომელთა ცოდნა გვეხმარება აღვწეროთ, რა არის ელექტრული ველი და აღმოვაჩინოთ მისი არსებობა სივრცეში.

2.1.2. ელექტრული ველის ძირითადი თვისება

მოდით, მარტივი ცდების საშუალებით აღმოვაჩინოთ ელექტრული ველის ძირითადი თვისებები. ჩავატაროთ ცდა და დავაკვირდეთ, როგორ „იქცევა“ დამუხტული სხეულის გარშემო არსებულ სივრცეში სხვა დამუხტული სხეული.



ცდა II

1. დაკიდეთ ფოლგისგან დამზადებული მასრა შტატივის თათზე აბრეშუმის (კაპრონის) ძაფით და დამუხტეთ: შეახე მას, მაგ., აბრეშუმის ქსოვილზე ხახუნისას დაელექტროებული მინის ღერო.

2. მიუახლოე (არ შეახო!) დამუხტულ მასრას პლასტმასის ღერო (სახაზავი) (სურ. 2), რომელიც

ა) დაუმუხტავია;

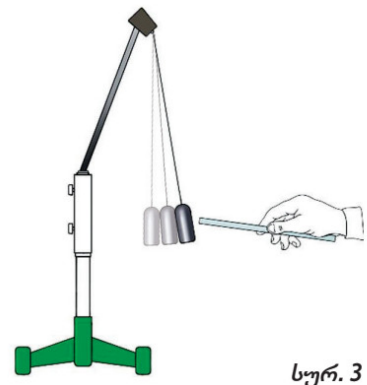
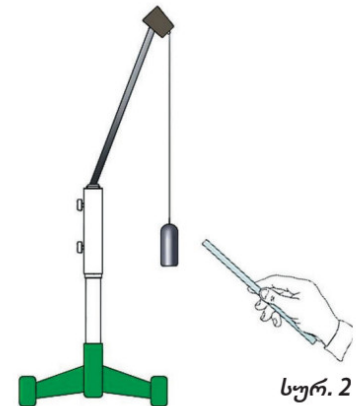
ბ) დამუხტულია შალზე ხახუნით.

დააკვირდი: რა შემთხვევაში იმოქმედა მასრაზე ძალამ? რაზე მიგანიშნებს ძალის არსებობა?

იმსჯელე ცდის შედეგიდან გამომდინარე: როგორ აღმოაჩენ, დამუხტულია თუ არა სხეული (ღერო)? არსებობს თუ არა მის გარშემო ელექტრული ველი?

3. მიუახლოე დამუხტულ მასრას დაელექტროებული პლასტმასის ღერო (სურ. 3) და **დააკვირდი:** როგორ იცვლება ძაფის გადახრის კუთხე ღეროსა და მასრას შორის მანძილის შემცირებასთან ერთად? რაზე მიგანიშნებს ცდის ეს შედეგი?

გამოიტანე დასკვნა: სად უფრო ძლიერია ელექტრული ველი, დამუხტულ ღეროსთან ახლოს თუ მისგან მოშორებით?



მაშ ასე, დამუხტული სხეულის (მუხტის) გარშემო ელექტრული ველი არსებობს. ელექტრული ველი დამუხტულ სხეულთან (ველის წყაროსთან) ახლოს უფრო ძლიერია, ვიდრე მისგან მოშორებით. ელექტრული ველის მთავარი თვისებაა, გარკვეული ძალით იმოქმედოს ველში მოთავსებულ სხვა დამუხტულ სხეულზე (საცდელ ელექტრულ მუხტზე). სწორედ დამუხტულ სხეულზე (სადაცდელ ელექტრულ მუხტზე) ველის მხრიდან მოქმედი ძალის საშუალებითაა შესაძლებელი ელექტრული ველის აღმოჩენა.

ძალას, რომლითაც ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ დამუხტულ სხეულზე (ნაწილაკზე, მუხტზე) მოქმედებს, ელექტრული ძალა ჰქვია (ელექტრული ველის მოქმედებას ნეიტრალურ სხეულზე, მაგ., დაუმუხტავ ელექტროსკოპზე ან ქაღალდის ნაკუნებზე, მომდევნო გაკვეთილებზე განვიხილავთ). იმისათვის, რომ ელექტრული ძალა განვსაზღვროთ, საჭიროა, შევისწავლოთ ელექტრული ველის ზოგიერთი მახასიათებელი.

ამ ეტაპზე განვიხილავთ უძრავი მუხტების ელექტრულ ველს, რომელსაც ელექტროსტატიკური ველი ჰქვია. ელექტროსტატიკური ველი დროის მიხედვით უცვლელი, მუდმივი ველია. მომავალში ცვლად ელექტრულ ველსაც განვიხილავთ. სტატიკურ და ცვლად ელექტრულ ველებს შორის არსებითი განსხვავებაა, თუმცა აქვთ მსგავსი თვისებებიც, რომელთა შესწავლისას ველს, უბრალოდ, ელექტრულ ველს ვუწოდებთ.

2.1.3. ანალოგია გრავიტაციულ და ელექტრულ ველებს შორის

სანამ ელექტრული ველის მახასიათებლებს გავეცნობით, გაიხსენე: ელექტრომაგნიტურის მსგავსად, გრავიტაციული ურთიერთქმედებაც ველის (გრავიტაციული ველის) საშუალებით ხორციელდება.

ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებას უძრავ ნერტილოვან მუხტებს შორის **კულონის კანონი** აღწერს:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (1)$$

ხოლო გრავიტაციულ ურთიერთქმედებას ნებისმიერ ორ სხეულს (ნივთიერ ნერტილს) შორის – ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონი:

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

სხეულის მასას **გრავიტაციულ მუხტს** უწოდებენ და ელექტროდინამიკაში მისი ანალოგია ელექტრული მუხტია.

გრავიტაციულ და ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებას შორის გარკვეული მსგავსება საშუალებას მოგვცემს, გარკვეული მოვლენები (ახლაც და მომავალშიც) იმ მეთოდის გამოყენებით შევისწავლოთ, რომელსაც ანალოგიის მეთოდი ჰქვია. მაგ., იმისათვის, რომ ელექტრული ველის მახასიათებლები და მათი ფიზიკური არსი თვალსაჩინო გახდეს, ჯერ გრავიტაციული ველის მსგავსი მახასიათებლები გავიხსენოთ (რომლებსაც შენ უკვე იცნობ, თუმცა, შესაძლებელია, სხვა სახელით) და შემდგომ ელექტრული ველის მახასიათებლებს გავეცნოთ.

შენ იცი, რომ ნებისმიერი სხეული თავის გარშემო გრავიტაციულ ველს ქმნის. დედამიწის მიზიდულობა მსოფლიო მიზიდულობის ერთ-ერთი კერძო გამოვლინებაა და ამიტომ დედამიწის გრავიტაციული ველი სამყაროში არსებული სხვა სხეულების გრავიტაციული ველისგან არაფრითაა გამორჩეული, გარდა იმისა, რომ ის ჩვენი, როგორც დედამიწაზე მცხოვრებლების, განსაკუთრებული ინტერესის საგანია და მეტ-ნაკლებად უკეთ ვიცნობთ.

სწორედ იმიტომ, რომ „უკეთ ვიცნობთ“, „დედამიწელებს“ დედამიწის გრავიტაციული ველის მახასიათებლების გამოყენება იმისათვის, რომ შემდგომში სხვა ველების (კერძოდ, ელექტრული ველის) მახასიათებლების ფიზიკურ შინაარსს უკეთ ჩავწვდეთ, ძალიან დაგვეხმარება.

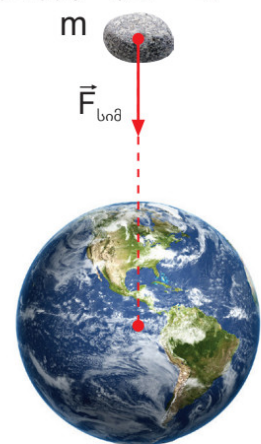
2.1.4. გრავიტაციული ველის დაკავშირება – გრავიტაციული ველის ძალური მახასიათებელი

განვიხილოთ დედამიწის გრავიტაციული ველის მოქმედება მასში მოთავსებულ m მასის სხეულზე.

შენ იცი, რომ ძალას, რომლითაც დედამიწა სხეულს იზიდავს, სიმძიმის ძალა ჰქვია, ანუ სიმძიმის ძალა არის ძალა, რომლითაც დედამიწის გრავიტაციული ველი მასში მოთავსებულ სხეულზე მოქმედებს (შეადარე სიმძიმის ძალა ელექტრულ ძალას). დედამიწა ამ შემთხვევაში გრავიტაციული ველის წყაროა, ხოლო m მასის სხეული, რომლის მოძრაობასაც ვაკვირდებით გრავიტაციულ ველში, დაკვირვების ობიექტია, ანუ ე. წ. საცდელი გრავიტაციული მუხტია (სურ. 4).

შენ ასევე იცი, რომ **სიმძიმის ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია სხეულის მასისა, ანუ შეფარდება $\frac{F_{\text{სიმ}}}{m}$ სხეულის მასაზე დამოკიდებული არ არის**. ამ სიდიდეს g ასოთი აღნიშნავენ. იმის გათვალისწინებით, რომ სიმძიმის ძალა ვექტორული სიდიდეა, ცხადია, ასევე ვექტორული სიდიდეა $\frac{F_{\text{სიმ}}}{m}$ შეფარდებაც და, შესაბამისად, g -ც:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_{\text{სიმ}}}{m} \quad (3)$$



სურ. 4

დააკვირდი: მე-3 ფორმულიდან ჩანს:

1. $\vec{g}$ ვექტორის ფიზიკური შინაარსი: $\vec{g}$ გვიჩვენებს ძალას, რომლითაც დედამიწის გრავიტაციული ველი მასში მოთავსებულ ერთეულოვანი მასის სხეულზე (საცდელ გრავიტაციულ მუხტზე) მოქმედებს. სწორედ ამიტომ $\vec{g}$ გრავიტაციული ველის ძალური მახასიათებელია. მას გრავიტაციული ველის დაძაბულობას უწოდებენ და SI-ში მისი ერთეული 1 ნ/კგ -ია (გაიხსენე: შენ $\vec{g}$ -ს სხვა სახელით იცნობ. მას თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ჰქვია. $1 \text{ ნ/კგ} = 1 \text{ მ/წმ}^2$).

2. $\vec{g}$ -ს მიმართულება სიმძიმის ძალის მიმართულებას ემთხვევა და ყოველთვის ქვევით, დედამიწის ცენტრისკენაა მიმართული (რადგან სხეული მასა (m), გრავიტაციული მუხტი, ყოველთვის დადებითი სიდიდეა, განსხვავებით ელექტრული მუხტისგან).

3. სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა სხეულის მასისა (გრავიტაციული მუხტისა) და გრავიტაციული ველის დაძაბულობის ნამრავლის ტოლია:

$$\vec{F}_{\text{სიმ}} = m \vec{g} \quad (4)$$



სურ. 5

თუ ჩავთვლით, რომ დედამიწა M მასის ერთგვაროვანი ბირთვია, მაშინ მისი ცენტრიდან r მანძილზე (სურ. 5) გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული ასე გამოითვლება:

$$g(r) = \frac{F_{\text{სიმ}}}{m} = G \frac{M}{r^2} \quad (5)$$

მე-5 ფორმულიდან ჩანს: მიუხედავად იმისა, რომ გრავიტაციული ველის დაძაბულობა რიცხობრივად, ერთეულითა და მიმართულებით თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას ემთხვევა, მათი ფიზიკური შინაარსი განსხვავებულია. გრავიტაციული ველის დაძაბულობა ველის მახასიათებელია: დამოკიდებულია მხოლოდ ველის წყაროზე (M მასაზე) და მოცემული წერტილის წყაროსგან დაშორებაზე (r -ზე). საცდელ გრავიტაციულ მუხტზე (ველში მოთავსებული სხეულის m მასაზე) დამოკიდებული არ არის.

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება (და, შესაბამისად, სიმძიმის ძალა) კი თავს მხოლოდ მაშინ იჩენს, როცა ველის მოცემულ წერტილში სხეულია (საცდელი გრავიტაციული მუხტია) მოთავსებული.

2.1.5. ელექტრული ველის დაძაბულობა – ელექტრული ველის ძალური მახასიათებელი

გრავიტაციული ველის დაძაბულობის გაცნობა საშუალებას მოგვცემს ელექტრული ველის ანალოგიური მახასიათებელი შემოვიტანოთ და მის ფიზიკურ არსს გავცნოთ.

ცდებით მტკიცდება: ელექტრული ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ წერტილოვან მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალის შეფარდება ამ მუხტის მოდულთან მუხტის მოდულზე დამოკიდებული არ არის, ამიტომ ეს შეფარდება ელექტრული ველის მახასიათებლადაა მიჩნეული. მას ელექტრული ველის დაძაბულობა ჰქვია. დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა. ის $\vec{E}$ ასოთი აღინიშნება.

ელექტრული ველის დაძაბულობა ტოლია წერტილოვან მუხტზე ველის მხრიდან მოქმედი ძალის შეფარდებისა მუხტის მოდულთან:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (6)$$

დააკვირდი, მე-6 ფორმულიდან ჩანს:

1. დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის ფიზიკური შინაარსი: დაძაბულობა გვიჩვენებს ძალას, რომლითაც ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ ერთეულოვან მუხტზე მოქ-



სურ. 6

მედებს. სწორედ ამიტომ $\vec{E}$ ვექტორს ელექტრული ველის ძალურ მახასიათებელსაც უწოდებენ. ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა ამ ველში შეტანილ დადებით მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას.

2. დაძაბულობის ერთეული SI-ში $1 \frac{6}{\text{კ}}$ -ია;

3. ნერტილოვან მუხტზე ველის მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალა გამოითვლება ფორმულით:

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad (7)$$

4. დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება მუხტზე მოქმედი ძალის

ა) თანამიმართულია, თუ მუხტი დადებითია ($q > 0$) (სურ. 6,ა)

ბ) საპირისპიროა, თუ მუხტი უარყოფითია ($q < 0$) (სურ. 6,ბ).

2.1.6. წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა

ვთქვათ, წერტილოვანი q_0 მუხტის მიერ შექმნილი ველის ნებისმიერ წერტილში საცდელი q მუხტი მოათავსეს. კულონის კანონის თანახმად, q_0 მუხტი q მუხტზე იმოქმედებს ძალით, რომლის მოდული ასე გამოითვლება:

$$F = k \frac{|q_0| \cdot |q|}{r^2} \quad (8)$$

წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული ტოლია:

$$E = \frac{F}{|q|} \quad (9)$$

მე-8 და მე-9 ფორმულებიდან გამომდინარეობს, რომ

წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული მისგან r მანძილზე გამოითვლება ფორმულით:

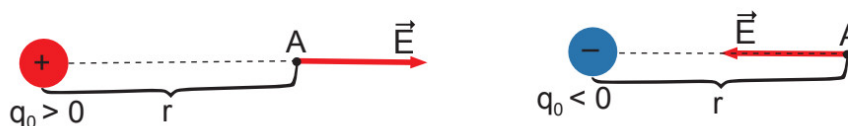
$$E = k \frac{|q_0|}{r^2} \quad (10)$$

ასე რომ, წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული პირდაპირპროპორციულია q_0 მუხტის სიდიდისა და უკუპროპორციულია q_0 მუხტიდან ველის მოცემულ წერტილამდე მანძილის კვადრატისა. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა ველის მახასიათებელია: დამოკიდებულია მხოლოდ ველის წყაროზე (q_0 მუხტის მოდულზე), წყაროსგან დაშორებაზე (r -ზე) და საცდელ მუხტზე დამოკიდებული არ არის.

წერტილოვანი q_0 მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის ნებისმიერ წერტილში დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია (სურ. 7):

ა) იმ წრფის გასწვრივ, რომელიც q_0 მუხტს ველის მოცემულ წერტილთან აერთებს;

ბ) იმ კულონური ძალის მიმართულებით, რომლითაც q_0 მუხტი ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ დადებით საცდელ მუხტზე იმოქმედებდა.



სურ. 7

2.2.1. ელექტრული ველის ძალწირები

როგორც უკვე იცით, ელექტრული ველის ძირითადი თვისებაა, გარკვეული ძალით იმოქმედოს მასში მოთავსებულ მუხტზე. იმისათვის, რომ ველი თვალსაჩინოდ წარმოვიდგინოთ, მათემატიკურად აღწერის გარდა, მოსახერხებელია ველის გრაფიკულად გამოსახვა **ძალწირებით**.

მაგ., იმისათვის, რომ დედამიწის გრავიტაციული ველი „დავხატოთ“, საკმარისია, მის ნებისმიერ წერტილში გრავიტაციული დაძაბულობა $\vec{g}$ ვექტორის სახით გამოვსახოთ (სურ. 1). თუ დედამიწას „შორიდან შევხედავთ“, დედამიწის გრავიტაციული ველის გრაფიკული სურათი (ძალწირების განაწილება) შეიცვლება (სურ. 2,3). მე-4 სურათზე გრავიტაციული ველის გამომსახველი ძალწირების არაერთგვაროვანი განაწილება სასარგებლო ნიაღისეულის ან რკინის მადნის არსებობაზე მიუთითებს. გამოიყენე სიმულაცია, „დახატე“ გრავიტაციული ველის ძალწირები:

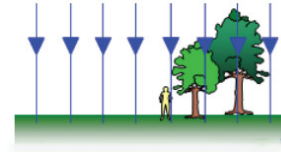


<http://bitly.ws/od24>

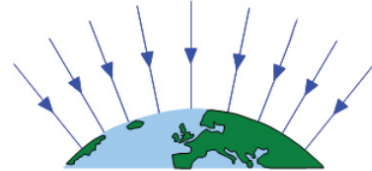
ელექტრული ველის გრაფიკულად წარმოდგენის მეტოდი პირველად ფარადეიმ გამოიყენა. ის თვლიდა, რომ ძალწირები სინამდვილეშიც არსებობს და ძაფებივითაა გაბმული სივრცეში. მაქსველმა კი დაამტკიცა, რომ **ძალწირები რეალური ძაფები არ არის**, ისინი მხოლოდ გეომეტრიული წირებია, რომელთა განლაგების სურათი ერთგვარ წარმოდგენას გვაძლევს ველის განაწილებაზე.

ცხადია, ელექტრული ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის გამოსახვა სივრცის ნებისმიერ წერტილში შეუძლებელია. ამიტომ ფარადეი ისეთ წირებს ხაზავდა, რომელთა ნებისმიერ წერტილში გავლებული მხები ამ წერტილში დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას ემთხვეოდა. ამ წირებს **ელექტრული ველის ძალწირები**, ანუ **დაძაბულობის წირები** ჰქვია.

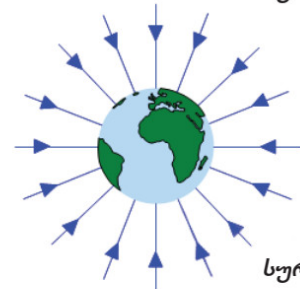
შენ იცით, რომ ნებისმიერ წერტილში ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის მიმართულება ამ წერტილში მოთავსებულ დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას ემთხვევა. შესაბამისად, წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის ძალწირები რადიალურად (იმ წრენიის რადიუსების გასწვრივ, რომლის ცენტრშიც



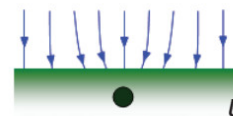
სურ. 1



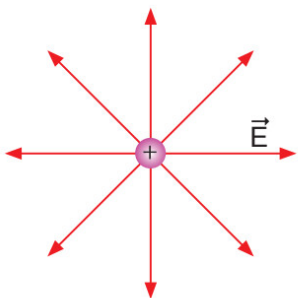
სურ. 2



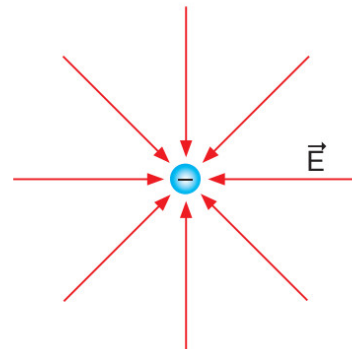
სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5. გაცალკევებული წერტილოვანი დადებითი მუხტის ველი.



სურ. 6. გაცალკევებული წერტილოვანი უარყოფითი მუხტის ველი.

q_0 მუხტია მოთავსებული) მიმართული წრფივი წირებია, რომლებიც

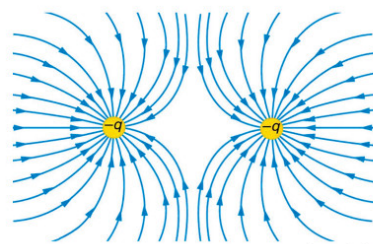
ა) გამოდის q_0 მუხტიდან, თუ q_0 დადებითია ($q_0 > 0$) (გვ. 72. სურ.5);

ბ) შედის q_0 მუხტში, თუ q_0 უარყოფითია ($q_0 < 0$) (გვ. 72. სურ.6);

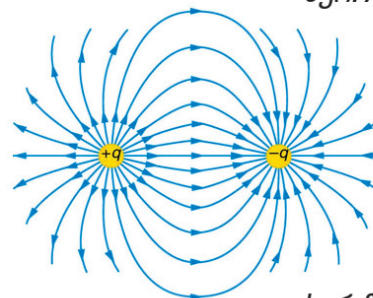
მე-7 და მე-8 სურათებზე გამოსახულია დაძაბულობის ძალწირების გრაფიკული სურათი იმ შემთხვევებისთვის, როცა ელექტრული ველი შექმნილია სხვადასხვანიშნიანი და ერთნაირნიშნიანი ორი მუხტით. გამოიყენე სიმულაცია



და დააკვირდი რამდენიმე მუხტის მიერ შექმნილი ველის ძალწირების გრაფიკულ სურათს: <http://bitly.ws/odn7>



სურ. 7



სურ. 8

დააკვირდი ძალწირების სურათებს (სურ. 5-8):

1. ელექტრული ველის ძალწირები შეკრული წირები არ

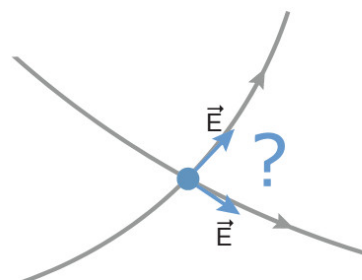
არის: დადებით მუხტზე იწყება და უარყოფით მუხტზე მთავრდება. გაცალკევებული (სხვა მუხტებისგან უსასრულოდ შორს მყოფი) მუხტის ველის ძალწირები

ა) ან უსასრულობაში მიდის (თუ გაცალკევებული მუხტი დადებითია) და სადღაც შორს, უარყოფით მუხტზე მთავრდება (გვ. 72. სურ. 5);

ბ) ან უსასრულობიდან მოდის: სადღაც შორს, დადებით მუხტზე იწყება და გაცალკეებულ უარყოფით მუხტზე მთავრდება (გვ. 72. სურ. 6).

2. ერთი და იმავე ელექტრული ველის ძალწირები ერთმანეთს არ კვეთს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ველის ნებისმიერ წერტილში დაძაბულობის ვექტორს სრულიად განსაზღვრული მიმართულება აქვს.

1 რა მოხდებოდა იმ შემთხვევაში, თუ ძალწირები ერთმანეთს გადაკვეთდა (ან თუნდაც შეეხებოდა) (სურ. 9)? შესაძლებელი იქნებოდა თუ არა ასეთ შემთხვევაში დაძაბულობის ვექტორის მიმართულების ცალსახად განსაზღვრა?



სურ. 9

მოდით, ჩავატაროთ მარტივი ცდები და შევადაროთ, რამდენად შეესაბამება გრაფიკული სურათები რეალურს.

ცდებისთვის საჭიროა:

1. ელექტროფორული მანქანა – ერთგვარი გენერატორი, რომელშიც სხვადასხვანიშნიანი ელექტრული მუხტები ხელის მექანიკური ენერგიის ხარჯზე მიიღება და გამტარ ბურთულებზე გროვდება;

2. ორი ცალი ელექტრული „სულთანი“. ელექტრული სულთნის“ დამზადება შენც შეგიძლია: თხელი ქაღალდის (ან ფოლგის) ფურცელი ვიწრო ზოლებად დაჭერი და რამდენიმე ცალი ლითონის იზოლირებულ სადგამზე ძაფით მიამაგრე (სურ.10) ან შეგიძლია, „სულთნის“ როლში ნაძვისხის „წვიმები“ გამოიყენო.



სურ. 10

I – III ცდების ჩატარება ვირტუალურ ლაბორატორიაშიც შეგიძლია:

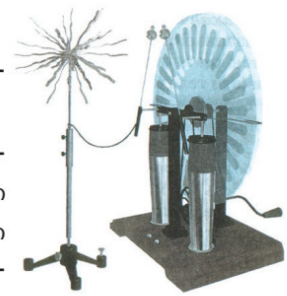
<http://bitly.ws/rUp8>





ცდა I

1. მიუერთე „სულთნის“ ღეროს სადგამი ელექტროფორული მანქანის ერთ-ერთ ბურთულას;
2. აბრუნე მანქანის სახელური: „სულთნის“ ფოჩები დაიმუხტება და მათი ყოველი პატარა მონაკვეთი ერთგვარი საცდელი მუხტი გახდება, რომელზეც ელექტრული ველი იმოქმედებს. თითოეული მონაკვეთი ისეთი მიმართულებით ორიენტირდება, როგორი მიმართულებითაც მასზე ელექტრული ძალა მოქმედებს (სურ. 11).



სურ. 11

3. დააკვირდი, როგორ განლაგდება ქაღალდის ზოლები და შეეცადე, გრაფიკულად გამოსახო დამუხტული „სულთნის“ ველის ძალნიერების განლაგების სურათი.

გაითვალისწინე: ყოველი ცდის დამთავრებისას ელექტროფორული მანქანის ბურთულები უნდა განმუხტო: შეახე ბურთულები ერთმანეთს.

ცდა II

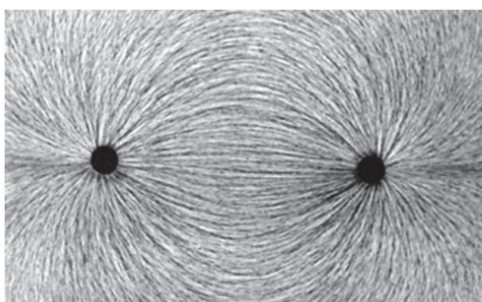
1. მოათავსე ერთმანეთთან ახლოს ორი „სულთანი“;
2. მიუერთე „სულთნების“ ღეროები ელექტროფორული მანქანის ერთსა და იმავე ბურთულას (ანუ დამუხტე ისინი ერთნაირნიშნის მუხტებით).
3. დააკვირდი: როგორ განლაგდება „სულთნების“ ფოჩები და შეეცადე, გრაფიკულად გამოსახო დამუხტული „სულთნების“ ველის ძალნიერების განლაგების სურათი.

ცდა III

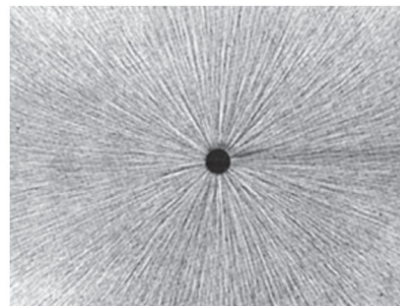
1. მოათავსე ერთმანეთთან ახლოს ორი „სულთანი“;
2. მიუერთე „სულთნების“ ღეროები ელექტროფორული მანქანის სხვადასხვა ბურთულას (ანუ დამუხტე ისინი სხვადასხვანიშნის მუხტებით).
3. დააკვირდი: როგორ განლაგდება „სულთნების“ ფოჩები და შეეცადე, გრაფიკულად გამოსახო დამუხტული „სულთნების“ ველის ძალნიერების განლაგების სურათი.

ველის ძალნიერების „დასანახად“ ასეთ ცდას ატარებენ: ბლანტ სითხეში, რომელიც კარგი დიელექტრიკია (მაგ., აბუსალათინის ზეთში), ელექტრულ ველს ქმნიან და მასში მცირე ზომის სხეულებს – ნაწილაკებს (დაფქვილ პილპილს ან შალის ბუსუსებს) ათავსებენ. ნაწილაკები ერთგვარი საცდელი მუხტებია, რომლებიც ელექტრულ ველში ძალნიერების გასწვრივ განლაგდებიან და ძალნიერებს „ხილულს“ ხდიან (სურ. 12-15). ამ ცდის ნახვა შეგიძლია ინტერნეტში მისამართზე:

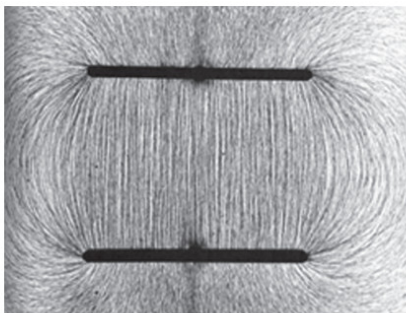
<http://bitly.ws/ocPR>
<http://bitly.ws/ocPP>



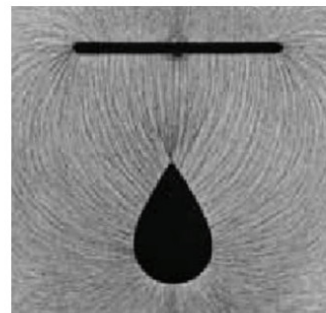
სურ. 12



სურ. 13



სურ. 14

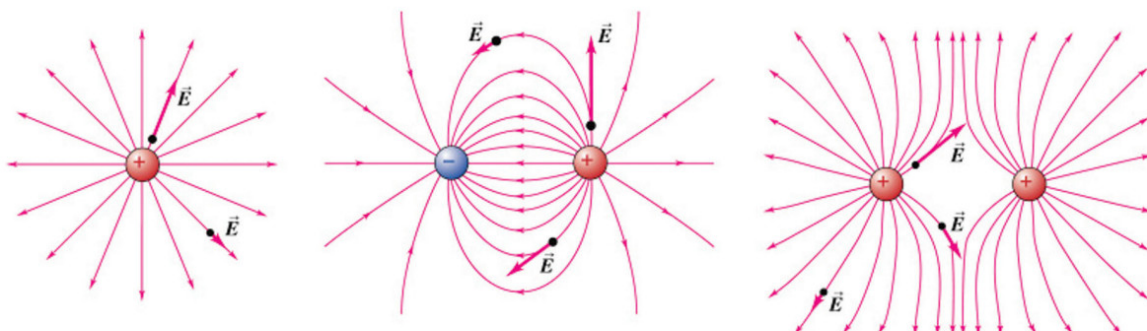


სურ. 15

2.2.2. რა ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ ველის გრაფიკული სურათიდან?

1. ძალწიკრების მიხედვით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის მიმართულება: ნებისმიერ წერტილში $\vec{E}$ ვექტორი ამ წერტილში გავლებული მხეების გასწვრივაა მიმართული (სურ. 16).

2. ძალწიკრების სიხშირის მიხედვით შესაძლებელია ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულის შეფასება: წიკრების სიხშირე მეტია იქ, სადაც ველის დაძაბულობა უფრო ძლიერია (სურ. 16).



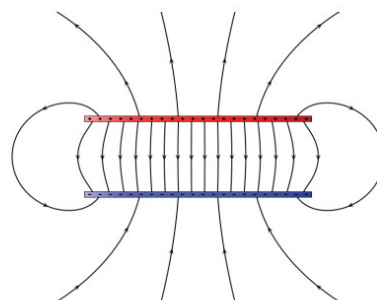
სურ. 16

2 დააკვირდი ელექტრული ველის ძალწიკრების განლაგებას:

1. ორ პარალელურ დამუხტულ ფირფიტას შორის (სურ. 14). ფირფიტებს შორის, შუა ნაწილში, კიდევებისგან მოშორებით, ველის ძალწიკრები პარალელურია. როგორ ფიქრობ, განსხვავებულია თუ არა დაძაბულობის მოდული ამ ადგილის სხვადასხვა წერტილში?

2. წაწვეტებული ფორმის დამუხტული სხეულის გარშემო (სურ. 15). სხეულის რა ადგილასაა ველი განსაკუთრებით ძლიერი? პასუხი ახსენი.

ელექტრულ ველს, რომლის დაძაბულობა სივრცის ყველა წერტილში ერთნაირია, ერთგვაროვანი ეწოდება. სივრცის განსაზღვრულ არეში ელექტრული ველი შეიძლება ერთგვაროვნად ჩავთვალოთ, თუ ველის დაძაბულობა ამ არეში უმნიშვნელოდ იცვლება. მაგ., ერთგვაროვნად შეიძლება ჩაითვალოს ელექტრული ველი ორ პარალელურ გამტარ ფირფიტას შორის, თუ ფირფიტების ზედაპირზე სიდიდით ტოლი და სხვადასხვანაირი მუხტი თანაბრადაა განაწილებული. ამასთან, მანძილი ფირფიტებს შორის მცირეა, გაცილებით ნაკლებია ფირფიტის წრფივ ზომებზე (სურ. 17).



სურ. 17

გაიხსენე ძალთა სუპერპოზიციის პრინციპი: თუ ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ საცდელ q მუხტზე ერთდროულად რამდენიმე სხვა, $q_1, q_2, \dots, q_n$, მუხტის ელექტრული ველი მოქმედებს, მაშინ საცდელ q მუხტზე მოქმედ ძალთა ტოლქმედი თითოეული მუხტის მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალების გეომეტრიული ჯამის ტოლია:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots \vec{F}_n \quad (1)$$

თუ 1-ლი ტოლობის ორივე მხარეს q -ზე გავყოფთ და გავითვალისწინებთ, რომ:

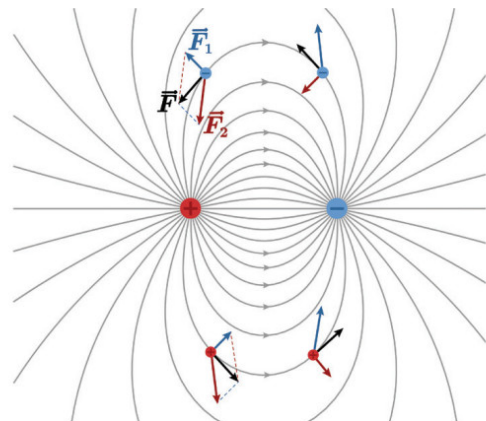
- $\vec{F}_1 / q$ შეფარდება q_1 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა ($\vec{E}_1$) იმ წერტილში, რომელშიც q მუხტია მოთავსებული;
- $\vec{F}_2 / q$ შეფარდება q_2 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა ($\vec{E}_2$) იმ წერტილში, რომელშიც q მუხტია მოთავსებული და ა. შ.
- $\vec{F} / q$ შეფარდება კი ყველა მუხტის მიერ ერთობლივად შექმნილი ჯამური ელექტრული ველის დაძაბულობა ($\vec{E}$) იმ წერტილში, რომელშიც საცდელი q მუხტია მოთავსებული.

მივიღებთ, რომ $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \vec{E}_n \quad (2)$

მე-2 ტოლობა ელექტრული ველების სუპერპოზიციის პრინციპს გამოსახავს: თუ სივრცის მოცემულ წერტილში დამუხტული ნაწილაკები ქმნიან ელექტრულ ველებს (რომელთა დაძაბულობებია $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots$ და ა. შ.), მაშინ ველის ჯამური დაძაბულობა ამ წერტილში თითოეული ნაწილაკის ველის დაძაბულობათა გეომეტრიული ჯამის ტოლია.

ელექტრული ველების სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, შესაძლებელია, სივრცის ერთსა და იმავე წერტილში რამდენიმე სხვადასხვა მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი ერთდროულად არსებობდეს. ეს ველები ამ წერტილში შეტანილ საცდელ მუხტზე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მოქმედებს, ანუ როგორც ამბობენ, ამ წერტილში ელექტრული ველების ზედდება ხდება („სუპერპოზიცია“ „ზედდება“ ნიშნავს) (სურ. 1).

მოდით, განვიხილოთ სხვადასხვა ამოცანა და ვნახოთ, ველების სუპერპოზიციის პრინციპის გათვალისწინებით, როგორ შეიძლება ვიპოვოთ რამდენიმე დამუხტული ნაწილაკის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა.



სურ. 1

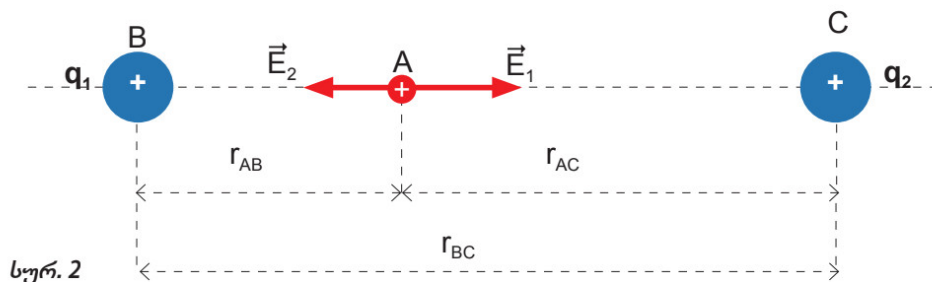


ამოსანა 1

იპოვე **B** და **C** წერტილებში მოთავსებული წერტილოვანი $q_1 = 10^{-10}$ კ და $q_2 = 2 \cdot 10^{-10}$ კ მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის $\vec{E}_A$ დაძაბულობა იმ **A** წერტილში, რომელიც მუხტების შემაერთებელი წრფეზე მდებარეობს, თუ ცნობილია, რომ **AB** = 3 სმ, ხოლო **BC** = 9 სმ. განიხილეთ **A** წერტილის მდებარეობის ყველა შესაძლო შემთხვევა.

ამოხსნა

ვთქვათ, A წერტილი B და C წერტილების შორის მდებარეობს.



1. გაიხსენე: ნებისმიერ წერტილში ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის მიმართულება ამ წერტილში მოთავსებულ დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას ემთხვევა. დავუშვათ, რომ A წერტილში დადებითი საცდელი მუხტია მოთავსებული. შესაბამისად, A წერტილში q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ველების $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ დაძაბულობების ვექტორები ისე იქნება მიმართული, როგორც ეს ნახაზზეა გამოსახული (სურ. 2).

2. ველების სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა A წერტილში ასე გამოითვლება:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1)$$

3. იმის გამო, რომ $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ დაძაბულობების ვექტორები ერთი წრფის გასწვრივ, ერთმანეთის საპირისპიროდაა მიმართული, $\vec{E}_A$ -ს მოდული ასე გამოითვლება:

$$E_A = |E_1 - E_2| \quad (2)$$

4. გაიხსენე: ზოგადად, წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული მისგან r მანძილზე ასე გამოითვლება:

$$E = k \frac{|q_0|}{r^2} \quad (3)$$

ასე რომ, q_1 და q_2 მუხტების მიერ ცალ-ცალკე შექმნილი ველების დაძაბულობების მოდული A წერტილში, შესაბამისად, ტოლია:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_{AB}^2}; \quad E_2 = k \frac{|q_2|}{r_{AC}^2}$$

5. შეიტანე E_1 და E_2 -ის მნიშვნელობები მე-2 ტოლობაში და გამოთვალე A წერტილში ჯამური ველის დაძაბულობის მოდული E_A .

6. დაფიქრდი: რა მიმართულებისაა $\vec{E}_A$ ვექტორი? რატომ?

შეამოწმე პასუხი: უნდა მიგელო: $E_A = 500$ ნ/კ. $\vec{E}_A$ ვექტორი $\vec{E}_1$ ვექტორის თანამართულია.

1

განიხილე A წერტილის მდებარეობის სხვა შემთხვევაც 1-ლ ამოცანაში და გამოთვალე E_A .

შეამოწმე პასუხი: $E_A = 1125$ ნ/კ. $\vec{E}_A$ ვექტორი $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ ვექტორების თანამართულია.



ამოსანა 2

იპოვე ტოლი სიდიდისა და სხვადასხვანიშნა-ნი ორი წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ **A** წერტილში, რომელიც მოცემული მუხტებიდან ერთსა და იმავე r მანძილზე მდებარეობს, თუ ცნობილია, რომ მუხტებიც ერთმანეთისგან იმავე r მანძილითაა დაშორებული.

ამოხსნა

1. ამოცანის პირობის თანახმად, **A** წერტილი და ორივე მუხტი ტოლგვერდა **ABC** სამკუთხედის წვეროებში მდებარეობს;
2. თუ წარმოვიდგენთ, რომ **A** წერტილში დადებითი საცდელი მუხტია მოთავსებული, q_1 და q_2 მუხტების მიერ ამ წერტილში შექმნილი ველების $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ დაძაბულობების ვექტორები ისე იქნება მიმართული, როგორც ეს ნახაზზეა გამოსახული (სურ. 3).
3. ველების სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა **A** წერტილში ასე გამოითვლება:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1)$$

4. $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ ვექტორების პარალელოგრამის წესით შეკრებით მივიღებთ, რომ $\vec{E}_A$ ვექტორი სიგრძით **ADEF** პარალელოგრამის პატარა **AE** დიაგონალს დაემთხვევა (სურ. 4).

5. q_1 და q_2 მუხტების მიერ ცალ-ცალკე შექმნილი ველების დაძაბულობების მოდული **A** წერტილში, შესაბამისად, ტოლია:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_{AB}^2}; \quad E_2 = k \frac{|q_2|}{r_{AC}^2}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $|q_1| = |q_2| = q$ და $r_{AB} = r_{AC} = r$, მივიღებთ, რომ

$$E_1 = E_2 = k \frac{q}{r^2};$$

6. $\triangle ABC$ ტოლგვერდაა, ანუ $\angle BAC = \angle ADE = 60^\circ$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **ADEF** პარალელოგრამი რომბია და ამასთან $AD = AF = AE$. ე. ი. **A** წერტილში ჯამური ველის $\vec{E}_A$ დაძაბულობა

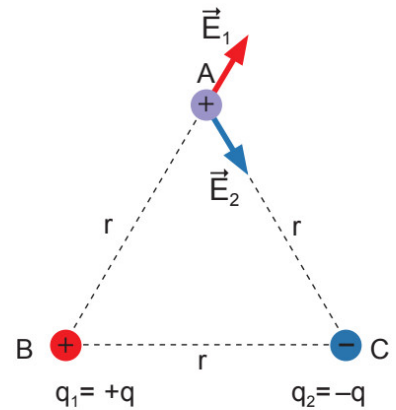
ა) მოდულით ისეთივეა, როგორც $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ დაძაბულობათა მოდული და ასე გამოითვლება: $E_A = k \frac{q}{r^2}$;

ბ) მიმართულია ჰორიზონტალურად, მარცხნიდან მარჯვნივ.

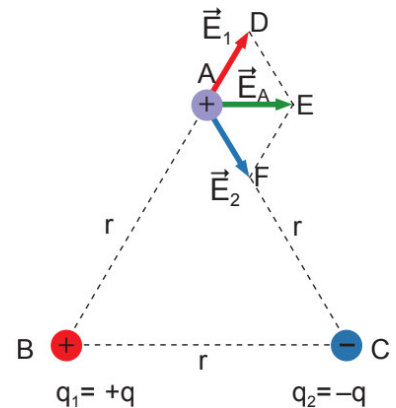
2 ამოხსენი მე-2 ამოცანა იმ შემთხვევისთვის, როცა $q_1 = q_2 = +q$.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგელო: $E_A = \sqrt{3} E_1 = \sqrt{3} k \frac{q}{r^2}$.

$\vec{E}_A$ დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად ზევით.



სურ. 3



სურ. 4



უილიამ გილბერტმა, რომელიც ანტიკური ხანის სწავლულთა მოსაზრებებითა და მათი ნაშრომებით დაინტერესდა, ელექტრული მოვლენების კვლევა ხელსაწყოს დახმარებით გადაწყვიტა. მან 1600 წელს უმარტივესი ხელსაწყო, ვერსორიუმი, შექმნა (სურ.1).

„ვერსორიუმი“ ლათინური სიტყვაა და „მბრუნავს“ ნიშნავს. ვერსორიუმის ძირითადი ნაწილი ლითონის მსუბუქი წკირია, რომელიც საყრდენზე დამაგრებულ ვერტიკალურ ღერძზეა ჩამოცმული. წკირი ღერძის გარშემო ჰორიზონტალურ სიბრტყეში თავისუფლად ბრუნავს. დაელექტროებული სხეულის წკირთან მიახლოებისას წკირი შემობრუნდება. სწორედ ვერსორიუმის დახმარებით აღმოაჩინა გილბერტმა, რომ ხახუნის შედეგად მიზიდულობის უნარს არა მარტო ქარვა, არამედ სხვა სხეულებიც (მაგ., საფირონი, ალმასი, მინა) იძენდა.

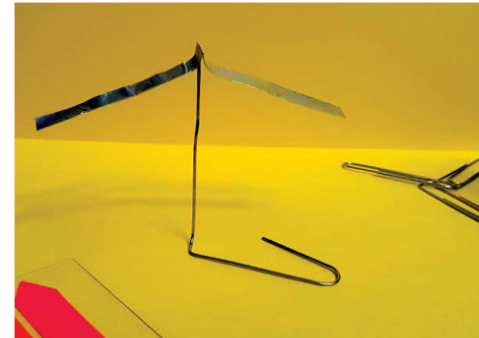


სურ. 1.



დავლება 1. დაამზადე ვერსორიუმი (სურ. 2):

1. გამოჭერი ფოლგისგან (ან ჩვეულებრივი ფურცლისგან) მართკუთხედის ფორმის ზოლი (20x80 მმ);
2. ზოლი ჯერ სიგრძეზე ოთხად გადაკეცი, შემდეგ კი შუაზე მოკეცი;
3. ქაღალდის სამაგრის ერთი ბოლო გაშალე, ხოლო მეორე – საყრდენად გამოიყენე და მიღებული კონსტრუქცია ფურცელზე მოათავსე;
4. მოათავსე სამაგრის გაშლილი ბოლოს წვერზე შუაზე გაკეცილი ზოლი;
5. მიუახლოე ზოლის ერთ ბოლოს:



სურ. 2

ა) დაუმუხტავი პლასტმასის სხეული (სავარცხელი, სახაზავი).

მითითება: სხეულს წინასწარ მთელ სიგრძეზე გადაუსვი ხელი.

რა მოხდა? „იგრძნო“ თუ არა ზოლმა სხეულის მიახლოება?

ბ) შალის ქსოვილზე ან მშრალ თმაზე ხახუნით დაელექტროებული სავარცხელი (სახაზავი);

აღწერე ცდის შედეგი. იმოქმედა თუ არა ძალამ სამაგრის ბოლოზე მოთავსებულ ზოლზე? რატომ ფიქრობ ასე?

ვერსორიუმის განსხვავებულ ვერსიებს შეგიძლია შემდეგ ვიდეოებზე დააკვირდე: <http://bitly.ws/okxF> <http://bitly.ws/okxH>



დავლება 2. ახსენი ვერსორიუმის მოქმედების პრინციპი.

დავლება 3. შეარჩიე ნებისმიერად მოხახუნე სხეულთა წყვილები (მაგ., პლასტმასა და პოლიეთილენი, მინა და ქაღალდი, ხე და შალის ქსოვილი, ლითონი და კაპრონი და ა. შ.).

ა) განსაზღვრე ვერსორიუმის დახმარებით, რომელი სხეულები ელექტროვდება ხახუნისას და რომელი არა;

ბ) წარმოადგინე იმ სხეულთა წყვილების ჩამონათვალი, რომლებიც ხახუნით ელექტროვდება.

დავალეზა 4. შენთვის ცნობილია, რომ მინა დადებითად იმუხტება, თუ მას აბრე-შუმის ქსოვილზე ახახუნებ, ხოლო ებონიტი (ქარვა, პლასტმასა) უარყოფითად დაიმუხტება შალის ქსოვილზე (ან თმაზე, ბენვზე) გახახუნებით.

ა) დააელებტროე შალზე, აბრეშუმზე, გაზეთზე, თმაზე, რეზინზე ხახუნით სხვა-დასხვა სხეული: კალამი, სავარცხელი, კბილის ჯაგრისი, მინის პატარა ჭიქა, რეზინის მილი და სხვ.

ბ) შეარჩიე ნებისმიერად მოხახუნე სხეულთა წყვილები. დაგეგმე და ჩაატარე ცდა, რომლითაც განსაზღვრავ, რა ნიშნის მუხტი წარმოიქმნება ამ სხეულებზე. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში.

	აბრეშუმი	შალი	გაზეთი	რეზინი	
მინის ჭიქა	+	—			
პლასტმასის სავარცხელი					
ბუშტი					
რეზინის მილი					

მინიშნება: გაიხსენე დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებაზე დაკვირვების მიზნით ჩატარებული ცდები მასრებზე. შეგიძლია, მსგავსი ცდები ჩაატარო დავალების შესასრულებლად ან მოიფიქრო სხვა, უფრო საინტერესო და განსხვავებული ექსპერიმენტი.

თუ უკვე ჩაატარე ცდები, რომლებიც მიზნად ისახავდა შეხებისას (ხახუნისას) სხეულთა დაელებტროეებაზე დაკვირვებას, შეამჩნევდი, რომ სხეულთა ზოგიერთი წყვილი უკეთ იმუხტება ხახუნისას, ზოგი კი საერთოდ არ ელექტროვდება. ერთი და იგივე სხეული შეიძლება სხვადასხვა ნიშნის მუხტით დაიმუხტოს იმის მიხედვით, რა მასალისგან დამზადებულ სხეულს ეხება. ასე რომ, შენ უკვე შეგიძლია მასალების კლასიფიკაცია დაელებტროების ხარისხისა და ელექტრული მუხტის მიხედვით. ასეთი კლასიფიკაცია პირველად 1757 წელს შევდმა მეცნიერმა, იოჰან კარლ ვილკემ სცადა და მასალები ე.წ. **ტრიბოელექტრულ მწკრივში** განალაგა.

„ტრიბო“ („tribos“) ბერძნულად „ხახუნს“ ნიშნავს. მოვლენა, რომლის დროსაც შემხებ სხეულებს შორის ელექტრონები გადანაწილდება და სხეულთა გაცალკევების შემდეგ მათზე გაუნონასწორებელი ელექტრული მუხტი გროვდება, **ტრიბოელექტრული ეფექტის** სახელითაა ცნობილი.

ტრიბოელექტრულ მწკრივში მასალები დალაგებულია იმის მიხედვით, თუ რა ნიშნის მუხტი გროვდება მათზე სხვადასხვა მასალისგან დამზადებულ სხეულებთან შეხებისას (ხახუნისას) (სურ. 4): თუ მწკრივიდან რომელიმე ორი მასალისგან დამზადებულ სხეულთა წყვილს შევარჩევთ, ხახუნის შედეგად დადებითად დაიმუხტება ის სხეული, რომელიც მწკრივის დადებით ბოლოსთან უფრო ახლოსაა. შესაბამისად, მეორე სხეული, რომელიც მწკრივის უარყოფით ბოლოსთანაა ახლოს, უარყოფითად დაიმუხტება.

მაგ., მე-4 სურათზე გამოსახული ტრიბოელექტრული მწკრივის მიხედვით,

ა) რეზინის აბრეშუმზე ხახუნისას რეზინი უარყოფითად დაიმუხტება, ხოლო აბრე-შუმი – დადებითად;

ბ) ვინილის ქაღალდზე ხახუნისას ვინილი უარყოფითად დაიმუხტება, ხოლო ქაღალდი – დადებითად.

ამასთან, რაც უფრო მეტადაა დაშორებული მწკრივში განლაგებული მასალები ერთმანეთისგან, მით მეტი მუხტის მიღებაა შესაძლებელი მათი ერთმანეთზე ხახუნისას.

ტრიბოელექტრულ მწკრივებს უამრავი ცდის შედეგების მიხედვით ქმნიან. ექსპე-

რიმენტის შედეგები კი სხვადასხვა ფაქტორზეა დამოკიდებულია: ჰაერის ტენიანობაზე, გარემოს ტემპერატურაზე, გამოყენებული მასალების შემადგენლობაზე და ა. შ. შესაძლოა, ექსპერიმენტებში სხვადასხვა მეცნიერმა სხვადასხვა შედეგი მიიღოს და, შესაბამისად, ყველა მათგანმა განსხვავებული მწკრივი წარმოადგინოს. ზოგჯერ მწკრივის შექმნისას **კოენის წესითაც** ხელმძღვანელობენ: ორი დიელექტრიკის ხახუნისას დადებითად ის დიელექტრიკი იმუხტება, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობაც უფრო დიდია.

კოენის წესიც და ტრიბოელექტრული მწკრივებიც დიდი სიზუსტითა და სანდოობით არ გამოირჩევა, თუმცა მიუხედავად ამისა, მათ წარმატებით იყენებენ. მაგ.,

ა) ფაბრიკა-ქარხნებში სტატიკური ელექტრობის მავნე შედეგების თავიდან ასაცილებლად: რაც უფრო ახლოსაა მწკრივში მასალები ერთმანეთთან, მით უფრო ნაკლებია მათი ხახუნისას სტატიკური ელექტრობის წარმოქმნის შესაძლებლობა.

ბ) ტექსტილის წარმოებისას: იმისათვის, რომ სტატიკური ელექტრობა თავიდან ავიცილოთ, სასურველია, ვატაროთ იმ მასალისგან (სელისგან, ბამბისგან) შეკერილი ტანსაცმელი, რომელიც მწკრივში ახლოსაა ადამიანის კანთან (სურ. 3).



სურ.3

დავალეზა 5. შექმენი შენ მიერ ჩატარებული ცდების შედეგების მიხედვით მასალათა ტრიბოელექტრული მწკრივი.

წარმოადგინე პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. ვერსორიუმის დამზადების ცალკეული ეტაპის აღწერა და მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომელსაც მოდელის მოქმედება ეფუძნება (მაგ., რა მიზეზით გენერირდება ელექტრული მუხტები მოხახუნე სხეულებზე, ვერსორიუმზე და რა შედეგი მოჰყვება ამ პროცესს);

2. როგორ არის დამოკიდებული სხეულთა დაელექტროების ხარისხი

ა) იმ ნივთიერებებზე (მასალაზე), რომლისგანაც მოხახუნე სხეულებია დამზადებული;

ბ) გარემო ფაქტორებზე;

3. რა მიზეზით აიხსნება დაელექტროების ხარისხის დამოკიდებულება სხვადასხვა მასალასა და გარემო ფაქტორებზე;

4. ანალიზური აღწერა: როგორ არის დამოკიდებული ვერსორიუმის შემობრუნების კუთხე (ელექტრული ძალის მოქმედების შედეგი):

ა) მანძილზე, რა მანძილითაც დაელექტროებული სხეული ვერსორიუმს უახლოვდება (როცა მოხახუნე სხეულთა წყვილს არ ცვლი);

ბ) იმ მასალებზე (ნივთიერებებზე), რომლისგანაც მოხახუნე სხეულებია დამზადებული (მანძილი ვერსორიუმსა და დაელექტროებულ სხეულებს შორის უცვლელია);

5. ტრიბოელექტრული მწკრივი და მასში მასალათა განლაგების ექსპერიმენტულად დასაბუთებული კანონზომიერება.

პროექტზე მუშაობაში დაგეხმარება მასალები, რომლებიც ინტერნეტშია განთავსებული მისამართებზე: <http://bitly.ws/p9Ac> <http://bitly.ws/p9Ai>





სურ. 1

მანქანის ლითონის კორპუსი ერთგვარი „ფარადეის გალიაა (სურ.1): აღმოჩნდა, რომ ჭექა-ქუხილის დროს გაცილებით უსაფრთხოა მანქანაში ყოფნა, ვიდრე მის გარეთ. მეხის დაცემისას მუხტი მანქანის შიგნით ვერ აღწევს (და არა იმიტომ, რომ რეზინის საბურავები გიცავს. ისინი შეიძლება ძლიერ ელექტრულ ველში გამტარიც კი გახდეს)... რატომ ვერ აღწევს ელექტრული ველი ფარადეის გალიის შიგნით... რა მოვლენა უდევს ამ ფაქტს საფუძვლად? ამ კითხვებზე პასუხს ამ პარაგრაფის შესწავლისას გაცემ. მანამდე კი ჩაატარე ცდა და დააკვირდი, როგორ მოქმედებს ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ გამტარ სხეულზე.

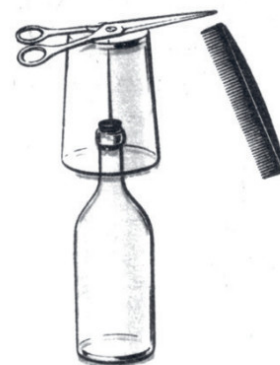


ცდა I



ცდისთვის საჭიროა: ბოთლი, კორპის საცობი, რომელიც ბოთლის ყელს მჭიდროდ ერგება, ნემსი, რკინის მაკრატელი, პლასტმასის სავარცხელი.

1. მოარგე ბოთლის ყელს კორპის საცობი, რომელშიც ნემსია გაყრილი;
 2. მოათავსე ნემსის წვერზე ჭიქა ისე, როგორც ეს მე-2 სურათზეა მითითებული და მოათავსე ზედ ლითონის მაკრატელი;
 3. დააელექტროე სავარცხელი: გადაისვი რამდენჯერმე თმაზე. **გამოთქვი ვარაუდი**, რა მოხდება, თუ დაელექტროებულ სავარცხელს მაკრატელის ბოლოს **მიუახლოებ**? ჩაატარე ცდა და შეამონმე შენი ვარაუდი.
 4. შეეცადე, სავარცხელი წრიულად ამოძრაო და დააკვირდი, როგორ „მოიქცევა“ ამ დროს მაკრატელი.
- ახსენი ცდის შედეგი:** რატომ იზიდავს დამუხტული სავარცხელი დაუმუხტავ სხეულს (რკინის მაკრატელს)?



სურ. 2

შენ უკვე იცი, როგორ მოქმედებს ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ დამუხტულ სხეულზე, მაგრამ გაიხსენე: ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ ნეიტრალურ სხეულებზეც მოქმედებს. მაგ., დაელექტროებული ჯოხი იზიდავს ალუმინის ფოლგისგან დამზადებულ დაუმუხტავ მასრას, მაკრატელს, ვერსორიუმის ისარს, წყლის წერილ ჭავლს, ქაღალდის ნაკუნებს.

რატომ იზიდავს დამუხტული სხეული დაუმუხტავს? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად და ჩვენ მიერ ჩატარებული ცდის შედეგის ასახსნელად განვიხილოთ, როგორ მოქმედებს ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ გამტარ სხეულზე.

2.4.1. გამტარი ელექტროსტატიკური ველში

გაიხსენე: **გამტარი** ისეთ ნივთიერებას ჰქვია, რომელშიც თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების დიდი კონცენტრაციაა. გამტარებს მიეკუთვნება: ლითონები, ელექტროლიტები და პლაზმა. ელექტროლიტებისა და პლაზმის თვისებებს მოგვიანებით გავეცნო-

ბით. ამჯერად ლითონის ერთგვაროვანი გამტარის ელექტრული თვისებები განვიხილოთ.

შენ იცი, რომ ლითონის კარგ გამტარობას თავისუფალი ელექტრონების დიდი კონცენტრაცია განაპირობებს. ნეიტრალური ატომებისგან ლითონის წარმოქმნისას ატომები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ, რის შედეგადაც გარე სავალენტო შრის ელექტრონები საკუთარ ბირთვებს „სწყდებიან“ და კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებულ დადებით იონებს შორის სივრცეში თავისუფლად, ნებისმიერი მიმართულებით გადაადგილდებიან (სურ. 3).

ელექტრულ ველში მოთავსებული ლითონის გამტარის თავისუფალი ელექტრონები ძალწირების საპირისპირო მიმართულებით გადაადგილდება, დადებით იონებზე კი ელექტრული ძალა ძალწირების მიმართულებით მოქმედებს, თუმცა კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებულ დადებით იონებს გადაადგილება არ შეუძლიათ (სურ. 4).

იმის გამო, რომ ველში გამტარის შეტანისას ელექტრონები მიმართულად გადაადგილდებიან, ელექტრულ ველში მოთავსებისას გამტარის ერთ მხარეს ელექტრონების, ანუ უარყოფითი მუხტის, ჭარბი რაოდენობა შეიქმნება, ხოლო მეორე მხარეს – ელექტრონების დანაკლისი, ანუ დადებითი მუხტის სიჭარბე. შესაბამისად, ელექტრულ ველში მოთავსებისას გამტარის ერთი მხარე დადებითად დაიმიუხტება, ხოლო მეორე – უარყოფითად (სურ. 5).

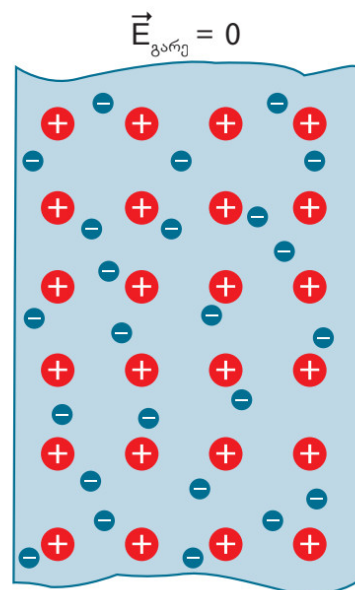
1 როგორ ფიქრობ, რა მოხდება, თუ ამ დროს გამტარს შუაზე გავჭრით?

გამტარში დადებითი და უარყოფითი მუხტების გადანაწილების პროცესი იმ მომენტამდე გაგრძელდება, სანამ ამ მუხტების მიერ გამტარის შიგნით შექმნილი ველი მთლიანად არ გააკომპენსირებს გარე ელექტრულ ველს (სურ. 5).

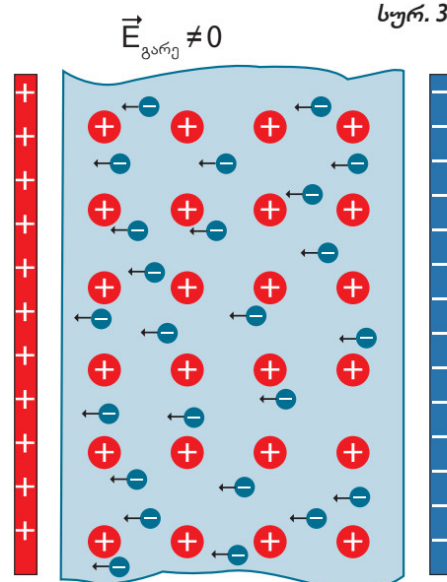
შიგა და გარე ველების ჯამური ველის დაძაბულობა გამტარის შიგნით ნულის ტოლი გახდება და მუხტების მოძრაობა შეწყდება (დაახლოებით 10^{-13} ნმ-ში). ასე რომ, ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ელექტროსტატიკური ველი ნულის ტოლია.

2.4.2. ელექტროსტატიკური ინდუქცია

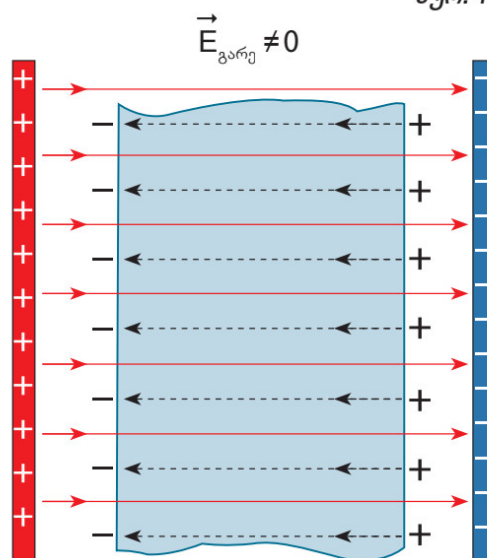
როგორც უკვე იცი, გარე ელექტრულ ველში გამტარის მოთავსებისას გამტარის ურთიერთსაპირისპირო კიდეებზე სხვადასხვა ნიშნის მუხტი



სურ. 3



სურ. 4



$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{გარე}} + \vec{E}_{\text{შიგა}} = 0$$

სურ. 5

გროვდება (ინდუცირდება). ამ მოვლენას **ელექტროსტატიკური ინდუქცია** ჰქვია. სწორედ ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგია დამუხტული სხეულის ურთიერთქმედება დაუმუხტავ გამტარ სხეულთან, მაგ., დამუხტული სავარცხლისა მაკრატელთან, ვერსორიუმის ნემსთან, ფოლგისგან დამზადებულ მასრასთან და ა.შ.

დააკვირდი მე-6 სურათს: თუ დაუმუხტავ გამტარს (მაკრატელს, ნემსს, მასრას) დამუხტულ სხეულს (სავარცხელს) მიუახლოებ (არ შეახებ!), ამ უკანასკნელის ელექტრული ველის გავლენით გამტარის (მაგ., მაკრატლის) თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდებიან: თუ სხეული

ა) დადებითადაა დამუხტული, ელექტრონები მისკენ მიიზიდებიან;

ბ) უარყოფითადაა დამუხტული, ელექტრონები მისგან განიზიდებიან.

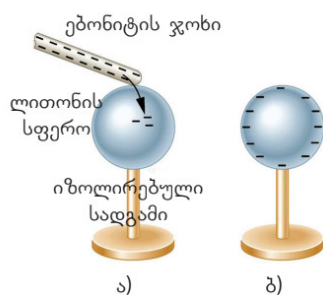
დადებითი და უარყოფითი მუხტების გაცალკევება გამტარში მანამ გაგრძელდება, სანამ ამ მუხტების მიერ გამტარის შიგნით შექმნილი ველი გარე ველს არ გააკომპენსირებს. გამტარის (მაკრატლის) ის ნაწილი, რომელშიც ელექტრონების სიჭარბე ჩნდება, უარყოფითად დაიმუხტება, ხოლო მოპირდაპირე მხარე – დადებითად (დადებითი იონების სიჭარბის გამო).

ამასთან, დამუხტული სხეული და გამტარის ის მხარე, რომელიც მასთან ახლოს იმყოფება, სხვადასხვანიშნაანი მუხტით იქნება დამუხტული და შედეგად ისინი ურთიერთმიიზიდებიან. დამუხტვის ამგვარ ხერხს **გავლენით დამუხტვა** ჰქვია. სწორედ გავლენით დამუხტვა უდევს საფუძვლად ელექტროფორულ მანქანაში მუხტების ინდუცირებას (მათ წარმოქმნას ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგად).

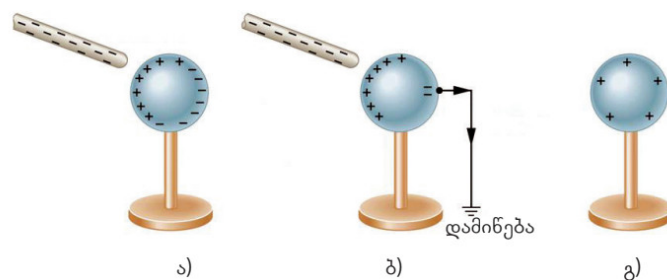
ნახე ვიდეო და დააკვირდი გავლენით დამუხტვას: <http://bitly.ws/rZnc>



2 სხეულთა დაელექტროება შესაძლებელია **შეხებითა** და **გავლენით**. მე-7 და მე-8 სურათებზე სხეულთა ორივე გზით დაელექტროების სქემაა გამოსახული. ახსენი თითოეულ შემთხვევაში დაელექტროების მექანიზმი.



სურ. 7. დამუხტვა შეხებით



სურ. 8. დამუხტვა გავლენით

2.4.3. ელექტროსტატიკური დასვა

ცდა II

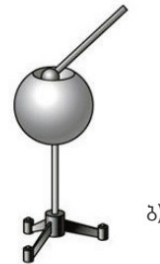
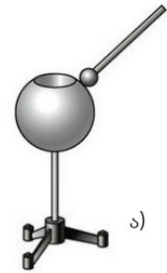


1. დამუხტე იზოლირებულ სადგამზე დამაგრებული გამტარი სფერო (სფერო ერთი მხრიდან ღიაა): შეახე სფეროს ზედაპირს დაელექტროებული მინის ან ებონიტის ჯოხი.



2. შეახე ლითონის ბურთულა (რომელსაც არაგამტარი სახელური აქვს) დამუხტული სფეროს ზედაპირს გარედან (სურ. 9 ა) და შემდეგ მიუახლოე ელექტროსკოპს. გადაიხარა თუ არა ელექტროსკოპის ისარი? რატომ?

3. განმუხტე ლითონის ბურთულა (შეეხე ხელით) და გაიმეორე ცდა. ოღონდ ამჯერად ლითონის ბურთულა სფეროს შიდა ზედაპირს შეახე (სურ. 9 ბ) და მიუახლოე (ან შეახე) ელექტროსკოპის ღეროს. გადაიხარა თუ არა ელექტროსკოპის ისარი? როგორ ფიქრობ, რატომ?



სურ. 9.



ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ელექტროსტატიკური ველი ნულის ტოლია. მეტიც, თუ დამუხტული ან ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ცარიელი სივრცეა, მაშინ ამ სივრცის ნებისმიერ წერტილშიც დაძაბულობა ნულის ტოლია.

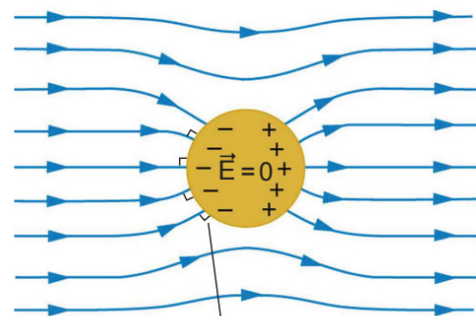
სწორედ ეს მოვლენაა ე. წ. **ელექტროსტატიკური დაცვა**, რომელიც ფარადეის გალიის მოქმედებას უდევს საფუძვლად: იმისათვის, რომ გამზომი ხელსაწყოები გარე ელექტრული ველის არასასურველი გავლენისგან დაიცვან, მათ ლითონის ყუთში ათავსებენ. ლითონის ყუთის გარდა, ელექტრული ველის გავლენისგან ლითონის ბადეც იცავს. თუმცა გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ გარე ელექტრული ველი ბადის შიგნით მოცულობაში აღწევს, მაგრამ მხოლოდ ბადის უჯრედის ზომის მანძილებზე. ამიტომ ბადის უჯრედები საკმარისად პატარა უნდა იყოს.

ნახე ვიდეო და დააკვირდი ელექტროსტატიკური დაცვის მოვლენას: <http://bitly.ws/oexC>

სწორედ ელექტროსტატიკური დაცვის შედეგად ვერ აღწევს ელექტრული ველი მანქანის ლითონის კორპუსის შიგნით... და მაინც, **გახსოვდეს უსაფრთხოების დამატებითი ზომების შესახებაც**: ჭექა-ქუხილის დროს დახურე ფანჯრები და ლუკი, არ შეეხო ავტომობილის ლითონის დეტალებს. გამორთე მანქანის ძრავა, რადიო და ნავიგაციის სისტემა, გადაიყვანე მობილური ტელეფონი ფრენის რეჟიმზე. არ გააჩერო მანქანა მაღალი ხის ქვეშ!

2.4.4. გამტარის ელექტრული მუხტი

თუ მუხტები წონასწორობაშია, მაშინ გამტარის შიგნით არა მარტო ველის დაძაბულობა, არამედ მუხტიც ნულის ტოლია. გამტარის მთელი სტატიკური მუხტი მის ზედაპირზეა გადანაწილებული (სურ. 10). წინააღმდეგ შემთხვევაში, თუ გამტარის შიგნით მუხტი იქნებოდა, მაშინ მის გარშემო ველიც იარსებებდა. **გამტარში კი ელექტროსტატიკური ველი ნულის ტოლია**, რაც იმას ნიშნავს, რომ **გამტარის მთელი მუხტი ზედაპირზეა თავმოყრილი**. ეს დასკვნა მართებულია ელექტრულ ველში მოთავსებული როგორც დაუმუხტავი, ისე დამუხტული გამტარისთვის.



ძალნირები გამტარის ზედაპირის მართებულია.

სურ. 10

2.4.5. ველის ძალნირები გამტარის ზედაპირზე

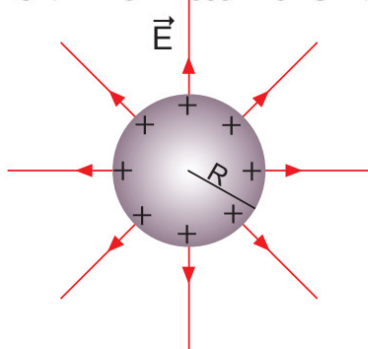
გამტარის გარეთ ელექტროსტატიკური ველის ძალნირები გამტარის ზედაპირის მართებულია (სურ. 10). წინააღმდეგ შემთხვევაში იარსებებდა ველის დაძაბულობის მდგენელი, რომელიც მიმართული იქნებოდა გამტარის ზედაპირის გასწვრივ და ზედაპირზე მუხტები კვლავ იმოძრაებდნენ.

2.4.6. დამუხტული გამტარი სფეროს (ბირთვის) ველი

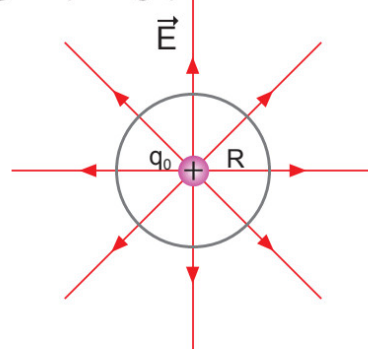
ბუნებაში სფეროს (ბირთვის) ან მასთან მიახლოებული ფორმა ბევრ სხეულს აქვს: მაგ., ატომბირთვებს, წვეთს, დამუხტულ ბურთულებს, რომლებსაც ხშირად მოიხსენიებენ ამოცანებში. შესაბამისად, საინტერესოა, ვიცოდეთ, როგორ გამოითვლება დამუხტული გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტრული ველის დაძაბულობა.

განვიხილოთ R რადიუსიანი დამუხტული გამტარი სფერო (ბირთვი), რომლის ზედაპირზე q_0 მუხტი თანაბრადაა გადანაწილებული (სურ. 11). როგორც უკვე იცით, გამტარის გარეთ ველის ძაღწირები გამტარის ზედაპირის მართობულია. შესაბამისად, სფეროს (ბირთვის) მიერ შექმნილი ელექტრული ველის ძაღწირები რადიალურად, სფეროს (ბირთვის) რადიუსების გაგრძელებათა გასწვრივაა მიმართული და ზედაპირზე განლაგებულ მუხტებზე იწყება (ან მთავრდება) (სურ. 11).

დააკვირდი (სურ. 11, 12): სფეროს (ბირთვის) გარეთ ძაღწირების განაწილების გრაფიკული სურათი ზუსტად ისეთივეა, როგორიც წერტილოვანი მუხტის ველისა. მტკიცდება, რომ ეს უბრალო შემთხვევითობა კი არ არის, არამედ სფეროს (ბირთვის) გარეთ ველის დაძაბულობა ემთხვევა წერტილოვანი მუხტის დაძაბულობას:



სურ. 11



სურ. 12

თუ დამუხტული გამტარი სფეროს (ან ბირთვის) ზედაპირზე q_0 მუხტი თანაბრადაა განაწილებული, მაშინ სფერო (ან ბირთვი) ისეთივე ელექტრულ ველს შექმნის სფეროს (ბირთვის) გარეთ, როგორსაც მის ცენტრში მოთავსებული q_0 მუხტი შექმნიდა.

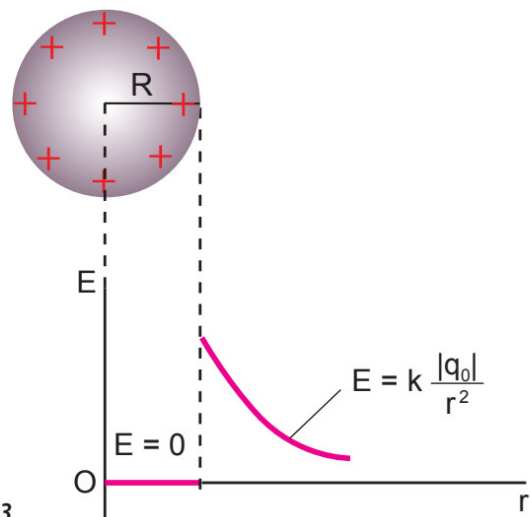
R რადიუსის მქონე გამტარი სფეროს (ან ბირთვის) ელექტრული ველის დაძაბულობა:

1. სფეროს (ბირთვის) გარეთ (როცა მანძილი სფეროს (ბირთვის) ცენტრიდან $r > R$) ისევე გამოითვლება, როგორც წერტილოვანი q_0 მუხტის ველის დაძაბულობა (სურ. 13):

$$E = k \frac{|q_0|}{r^2}$$

2. სფეროს (ბირთვის) შიგნით (როცა $r \leq R$) ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია (სურ. 13).

(გაითვალისწინე: შემთხვევა, როცა $r = 0$, უფრო ღრმა განხილვას მოითხოვს. მაგ., თუ ჩავთვლით, რომ სფეროს გარსს გარკვეული სისქე აქვს, მაშინ ველის დაძაბულობა სხვაგვარად გამოითვლება. ველის დაძაბულობის გამოსათვლელი ფორმულები სხვადასხვა გეომეტრიული ფორმის წყაროს შემთხვევაში შეგიძლია სახელმძღვანელოს ბოლო გვერდზე ნახო).



სურ. 13

დიელექტრიკებს ფართოდ იყენებენ ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნიკაში. მაგ., დიელექტრიკები, როგორც იზოლატორები, გამოიყენება მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზების ანძებზე დასამაგრებლად, ელექტრული სადენების გარსაკრავად. დიელექტრიკებს იყენებენ ასევე ელექტროტექნიკაში (მაგ., კონდენსატორებში), ოპტიკურ ხელსაწყოებში (ე. წ. ოპტიკის გასხივოსნებისთვის) და ა. შ.

არსებობს განსაკუთრებული თვისებების მქონე დიელექტრიკები, რომლებსაც პიეზოელექტრიკებს უწოდებენ. მათ მიეკუთვნება, მაგ., კვარცის კრისტალი.

თუ კვარცის მონოკრისტალიდან გამოჭრილი ფირფიტის დეფორმაციას მოვახდენთ, რამდენჯერმე გავჭიმავთ და შევკუმშავთ, მაშინ ფირფიტის საპირისპირო კიდეებს შორის ელექტრული ველი აღიძვრება. ასეთი მონოკრისტალი ისეთი სიხშირის ბგერებს იჭერს, რომელსაც ადამიანი ვერ აღიქვამს, მაგ., ულტრაბგერას. თუ, პირიქით, კვარცის მონოკრისტალს ცვლად ელექტრულ ველში მოვათავსებთ, ველის დაძაბულობის მიმართულების განუწყვეტელი ცვლა კრისტალის უწყვეტად დეფორმირებას, ანუ რხევას, გამოიწვევს, რის შედეგადაც კრისტალი ულტრაბგერას გამოსცემს.

პიეზოელექტრული ელემენტი გამოიყენება თანამედროვე ხმის ჩამწერ ხელსაწყოებში, პიეზოელექტრულ მიკროფონებსა და ტელეფონებში, ექოლოკატორებში, ჰიდროლოკატორებში და სხვ. გაიგე მეტი პიეზოელექტრიკების შესახებ. მოძებნე ინფორმაცია მისამართებზე:

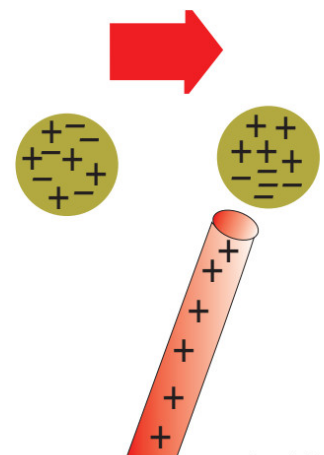
<http://bitly.ws/otQL> <http://bitly.ws/otQY> <http://bitly.ws/otR3>

თუ ჩვეულებრივი მინის ან ებონიტის ჯოხს დავაელექტროვებთ, ის საკმაოდ მალე დაკარგავს ელექტრულ მუხტს და ცდების ჩასატარებლად მისი კვლავ დაელექტროება მოგვინევს. დიელექტრიკის ერთ-ერთი სახეობა, ელექტრეტი, კი უნიკალური ხელოვნური მასალაა, რომელიც ელექტრულ ველში მოთავსების შემდეგ ძალიან დიდი ხნის განმავლობაში ინარჩუნებს თავის ელექტრულ თვისებებს. როგორ „იქცევა“ დიელექტრიკი ელექტრულ ველში მოთავსებისას? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას ამ პარაგრაფის შესწავლის შემდეგ გაცემ.

2.5.1. პოლარული და აპოლარული დიელექტრიკები

შენ უკვე იცი, რატომ იზიდავს დაელექტროებული ჯოხი ნეიტრალურ გამტარ სხეულს (მაგ., ფოლგისგან დამზადებულ ბურთულას): ჯოხის ელექტრული ველის გავლენით გამტარის შიგნით დადებითი და უარყოფითი მუხტების გაცალკევება ხდება, რის გამოც გამტარის ერთი მხარე დადებითად დაიმუხტება, ხოლო მეორე – უარყოფითად. ჯოხი და გამტარის ის მხარე, რომელიც მასთან უფრო ახლოსაა, სხვადასხვა ნიშნით იქნება დამუხტული და ჯოხი ბურთულას მიიზიდავს (სურ. 1).

მაგრამ რატომ იზიდავს დაელექტროებული სავარცხელი ქაღალდის ნეიტრალურ ნაკუნებს ან წყლის ჭავლს (გვ. 88, სურ. 2,3)? ქაღალდი და წყალი (გამოხდილი) ხომ დიელექტრიკია, რომელშიც ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკე-



სურ. 1



სურ. 2



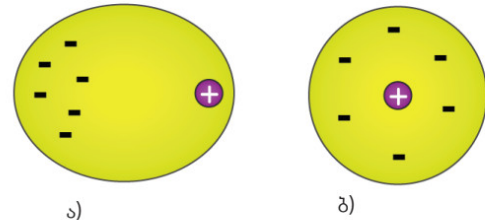
სურ. 3

ბი (ელექტრონები და ატომბირთვები) ნეიტრალურ ატომშია ურთიერთბმული და მათ ელექტრული ველის გავლენით სხეულის მთელ მოცულობაში გადაადგილება არ შეუძლიათ (განსხვავებით გამტარის თავისუფალი მუხტებისგან).

ვნახოთ, როგორ მოქმედებს ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ დიელექტრიკზე. ამისათვის ჯერ დიელექტრიკების აგებულებას გავეცნოთ.

დიელექტრიკები ორი სახისაა: პოლარული და არაპოლარული.

პოლარული დიელექტრიკი ისეთი მოლეკულებისგან შედგება, რომლებშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა, ანუ ასეთი დიელექტრიკის მოლეკულები დიპოლებს წარმოადგენს, რომლებსაც ორი პოლუსი აქვთ – დადებითი და უარყოფითი (სურ. 4ა). პოლარული დიელექტრიკებია: წყალი, სპირტი, ამიაკი და სხვ.

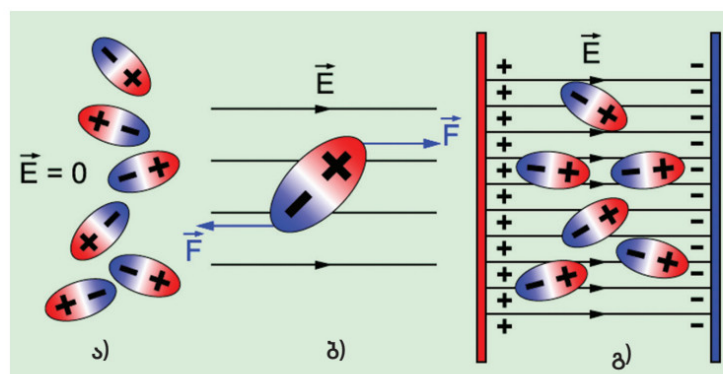


სურ. 4

არაპოლარული დიელექტრიკები ისეთი მოლეკულებისა და ატომებისგან შედგება, რომლებშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს ემთხვევა (სურ. 4ბ). არაპოლარული დიელექტრიკებია, მაგ., ინერტული აირები, ჟანგბადი, წყალბადი, ბენზოლი, პოლიეთილენი და სხვ.

სითბური მოძრაობის გამო პოლარული დიელექტრიკის დიპოლები ქაოსურადაა ორიენტირებული, ამიტომ პოლარულ დიელექტრიკში (როგორც ზედაპირზე, ისე მის ნებისმიერ მოცულობაში) ელექტრული მუხტის და, შესაბამისად, ელექტრული ველის დაძაბულობის საშუალო მნიშვნელობა ნულის ტოლია (სურ. 5ა).

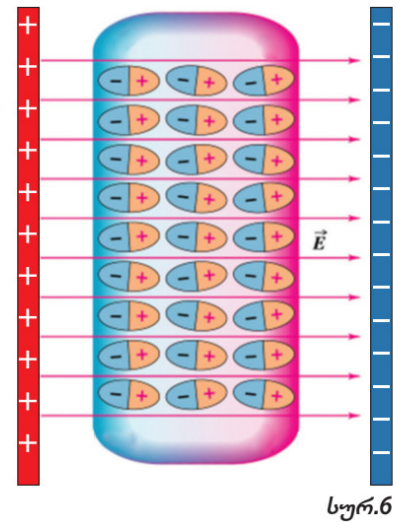
სურ. 5



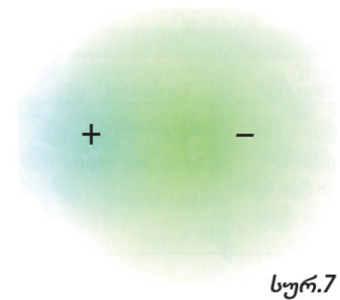
თუ პოლარულ დიელექტრიკს ორ პარალელურ, საპირისპირო ნიშნით დამუხტულ ლითონის ფირფიტას შორის ელექტრულ ველში მოვათავსებთ, ველის მხრიდან თითოეულ დიპოლზე მოდულით ტოლი და მიმართულებით საპირისპირო ორი ძალა იმოქმედებს (სურ. 5ბ). ძალები მაბრუნებელ მომენტს შექმნის, დიპოლები შემობრუნდება და ველის ძალწირების გასწვრივ განლაგდება: მათი დადებითი პოლუსები უარყოფითად დამუხტული ფირფიტისკენ შებრუნდება, ხოლო უარყოფითი პოლუსები – დადებითად დამუხტული ფირფიტისკენ (სურ. 5გ).

დიელექტრიკში დადებითი და უარყოფითი მუხტების საპირისპირო მხარეს ნანაცვლებას დიელექტრიკის პოლარიზაცია ჰქვია.

მიუხედავად იმისა, რომ სითბური მოძრაობა ხელს უშლის დიელექტრიკის პოლარიზაციას და ის მხოლოდ ნაწილობრივ პოლარიზდება, დიელექტრიკის ზედაპირზე დადებითად დამუხტული ფირფიტის მხარეს მეტწილად დიპოლების უარყოფითი პოლუსები განლაგდება, უარყოფითად დამუხტული ფირფიტის მხარეს კი – მეტწილად დადებითი პოლუსები (სურ. 6). ამის გამო დიელექტრიკის ზედაპირზე ჩნდება მოპირდაპირე ნიშნის ბმული მუხტი (ანუ მუხტი, რომელსაც დიელექტრიკის შიგნით თავისუფლად გადაადგილება, გამტარებისგან განსხვავებით, არ შეუძლია). დიელექტრიკის შიგნით კი დიპოლთა დადებითი და უარყოფითი მუხტები ერთმანეთს აკომპენსირებს და დიელექტრიკის შიგნით საშუალო ელექტრული მუხტი ისევ ნულის ტოლია.



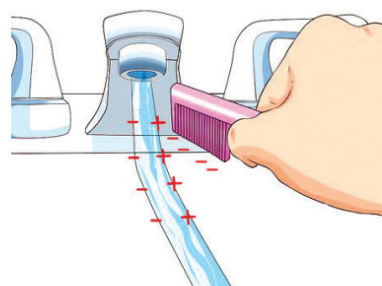
ელექტრულ ველში მოთავსებისას არაპოლარული დიელექტრიკიც პოლარიზდება: მისი მოლეკულა (ან ატომი) ელექტრული ველის გავლენით თითქოს გაიწელება და დადებითი და უარყოფითი მუხტები საპირისპირო მიმართულებით წაინაცვლებს, რის გამოც არაპოლარულ მოლეკულაში დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს აღარ დაემთხვევა (ისევე, როგორც პოლარულში) (სურ. 7). ასეთი დეფორმირებული მოლეკულები დიპოლების მსგავსად ველის ძალწირების გასწვრივ ორიენტირდება. დიელექტრიკის ზედაპირზე ამ შემთხვევაშიც საპირისპირო ნიშნის ბმული მუხტები წარმოიქმნება, სწორედ ისე, როგორც პოლარული დიელექტრიკის შემთხვევაში.



რა მოხდება, თუ პოლარიზებულ დიელექტრიკს შუაზე გავჭრით? დიელექტრიკის მეზობელ მოლეკულებს შორის მიზიდვის ძალა გაცილებით სუსტია იმ ელექტრომაგნიტურ ძალაზე, რომელიც მოლეკულაში საპირისპირო ნიშნის მუხტებს აკავშირებს. თუ დიელექტრიკს გავჭრით, ჭრილის ზედაპირზე მოლეკულები მთლიანობას შეინარჩუნებს და, შესაბამისად, დიელექტრიკის ორივე ნაწილი ელექტრულად ნეიტრალური იქნება.

1

შენ უკვე იცი, როგორ მოქმედებს ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ დიელექტრიკზე. ახსენი, რატომ იზიდავს დაელექტროებული სხეული (პლასტმასის სავარცხელი) ქაღალდის ნეიტრალურ ნაკუნებს ან წყლის ჭავლს. გამოიყენე მინიშნებად მე-8 და მე-9 სურათები.



2.5.2. დიელექტრიკული შეღწევადობა

მაშ ასე, როგორც პოლარული, ისე არაპოლარული დიელექტრიკის ელექტრულ ველში მოთავსებისას დიელექტრიკის მოპირდაპირე ზედაპირებზე ბმული მუხტი წარმოიქმნება (გვ. 89, სურ. 6).

ზედაპირული ბმული მუხტი დიელექტრიკის შიგნით შექმნის ველს, რომლის $\vec{E}_{\text{შიგა}}$ დაძაბულობა გარე ელექტრული ველის (დამუხტული ფირფიტების ველის) $\vec{E}_{\text{გარე}}$ დაძაბულობის საპირისპიროდ იქნება მიმართული (სურ. 10ა) და შედეგად ელექტრული ველი დიელექტრიკის შიგნით შესუსტდება (სურ. 10ბ). იმას, თუ რამდენჯერ სუსტდება ელექტრული ველი დიელექტრიკში, გვიჩვენებს სიდიდე, რომელსაც დიელექტრიკული შეღწევადობა ჰქვია. ეს სიდიდე ϵ -ით („ეფსილონით“) აღინიშნება.

გარემოს (ნივთიერების) დიელექტრიკული შეღწევადობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული (E) ერთგვაროვან დიელექტრიკში იმავე მუხტების მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის მოდულზე (E_0) ვაკუუმში:

$$\epsilon = \frac{E_0}{E} \quad (1)$$

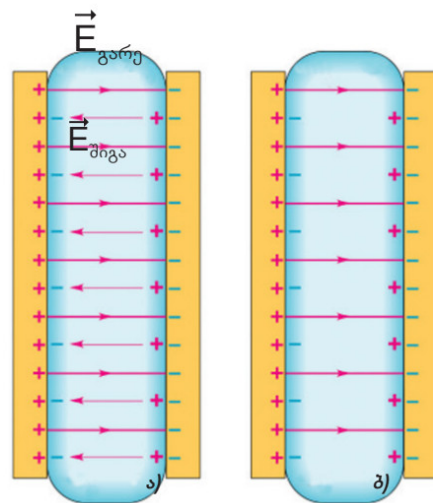
დიელექტრიკული შეღწევადობა დამოკიდებულია ნივთიერების აგებულებასა და გარემო პირობებზე (სხვადასხვა ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობის ცხრილი მოცემულია სახელმძღვანელოს ბოლოში). მაგ., წყლის დიელექტრიკული შეღწევადობა 20°C -ზე 81-ია, ხოლო ჰაერისა – 1,0006 (დაფიქრდი, რას გიჩვენებს ეს რიცხვები?).

1-ლი ფორმულის მათემატიკური გარდაქმნით მივიღებთ, რომ დიელექტრიკში ველის შესუსტების გამო წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია, გამოითვლება ფორმულით:

$$E = k \frac{|q_0|}{\epsilon r^2} \quad (2)$$

კულონური ძალა, მსოფლიო მიზიდულობის ძალისაგან განსხვავებით, გარემოს თვისებებზეა დამოკიდებული: თუ წერტილოვანი ელექტრული მუხტები ურთიერთქმედებენ არა ვაკუუმში, არამედ რაიმე გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია, მაშინ კულონური ძალის მოდული ϵ -ჯერ შესუსტდება. შესაბამისად, კულონის კანონის მათემატიკური ჩანაწერი ასეთ სახეს მიიღებს:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2} \quad (3)$$



სურ. 10

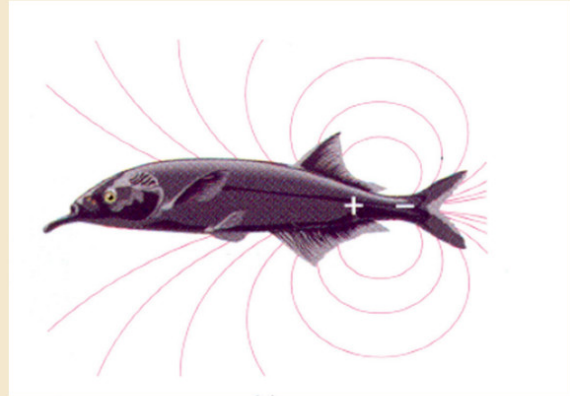
იცი თუ არა, რომ...

„Gnathonemus petersii“ აფრიკის ჭაობების ბინადარი თევზია, რომელიც თავისი ხორთუმისებრი წანაზარდით სპილოს წააგავს, რის გამოც მას ასეც მოიხსენიებენ: „სპილო-თევზი“ (სურ.1).



სურ. 1

სპილო-თევზი კუდის მიდამოში მდებარე სპეციალური „ელექტრული ორგანოს“ მეშვეობით თავის გარშემო ელექტრულ ველს ქმნის (სურ.2). თევზის სხეულის ზედაპირზე განლაგებული რეცეპტორები ამ ველის უმნიშვნელო ცვლილებასაც კი მყისიერად გრძნობენ.



სურ. 2

მიუხედავად იმისა, რომ სპილო-თევზს ცუდი მხედველობა აქვს, თავისი მგრძნობიარე შინაგანი ელექტროსისტემა ნავიგაციის არაჩვეულებრივ უნარს ანიჭებს.

სპილო-თევზი გამოსცემს ელექტრულ სიგნალებს, რომლებსაც რადარის მსგავსად იყენებს, რათა თავი აარიდოს დაბრკოლებას, მოძებნოს საკვები, გაექცეს მტაცებელს და ბოლოს, მოძებნოს მეგობრები. პიეზოელექტრული ყურსასმენის საშუალებით ელექტრული სიგნალები ბგერებად გარდაიქმნება.

ასე რომ, თუ სპილო-თევზის „საუბრების“ მოსმენა გსურს, შედი ინტერნეტში მისამართზე:

<http://bitly.ws/otRy>

<http://bitly.ws/otRt>



გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ზვიგენებს უნიკალური ელექტრომგრძნობიარე რეცეპტორები აქვთ: მათ შეუძლიათ, არა მარტო ისეთი ელექტრული თევზები აღმოაჩინონ, რომლებიც თავის გარშემო საკმაოდ ძლიერ ელექტრულ ველს ქმნიან, არამედ იმ სუსტი ელექტრული ველის „დანახვაც“ კი ძალუძთ, რომლებიც მიკროფლორის მიერაა გენერირებული.



სურ. 3

მაგრამ აღმოჩნდა, რომ ზვიგენების „ხედვის“ დიაპაზონი არც ისე დიდია, რამდენიმე მეტრს არ აღემატება, მაგრამ ეს სრულიად საკმარისია იმისათვის, რომ მან მსხვერპლი ოკეანის ფსკერზე, ქვიშის ქვეშ დამარხულიც კი აღმოაჩინოს.

გაიგე მეტი ზვიგენების ელექტროსენსორული სისტემის შესახებ:

<http://bitly.ws/otRF>



ცივილიზაციის არსებობის საფუძველი ენერგიაა: იმისათვის, რომ რაიმე ქმედება განხორციელდეს, საჭიროა ენერგია. ადამიანს სჭირდება სითბო, სინათლე, ტრანსპორტი, სხვადასხვა სახის მოწყობილობა, რომელიც მას გონებრივსა თუ ფიზიკურ შრომას შეუძლებს. ყველაფერ ამას კი ენერგიის წყარო ესაჭიროება. ცივილიზაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიღწევა ელექტროენერგიის მიღება და მისი გამოყენებაა.

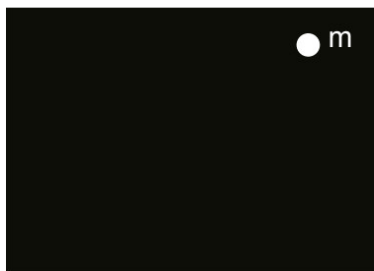
შეუძლებელია, წარმოიდგინო თანამედროვე სამყარო ელექტრული ენერგიის გარეშე. ის შეუცვლელია ჩვენს ყოფა-ცხოვრებაში, მეცნიერებისა და ტექნიკის ყველა სფეროში. რა განაპირობებს ელექტრული ენერგიის ასეთ პოპულარობას? ელექტრული ენერგია მარტივად გარდაიქმნება სხვა სახის (მექანიკურ, სითბურ, სინათლის) ენერგიად, შესაძლებელია მისი დაგროვება და შენახვა, გადაიცემა დიდ მანძილებზე, მისი მიღება შესაძლებელია განახლებადი ენერგიის წყაროებიდან (მზის, ქარის, წყლის, ტალღების ენერგიის გარდაქმნით), საყოფაცხოვრებო თუ საწარმოო ნარჩენების გადამუშავების შედეგად...

მაინც რა არის ელექტრული ენერგია? როგორ მიიღება და რომელი მოვლენა უდევს საფუძვლად მის „დაბადებას“?.. სწორედ ამ კითხვებზე შეძლებ პასუხების გასცემს ამ პარაგრაფის შესწავლის შემდეგ...

2.6.1. ელექტრული ენერგია

1

1. წარმოიდგინე უსასრულო ცარიელი სივრცე (სურ. 1 ა), რომელშიც არც ერთი სხეული არ არის! ვთქვათ, ასეთ სივრცეში მოვათავსეთ სხეული.

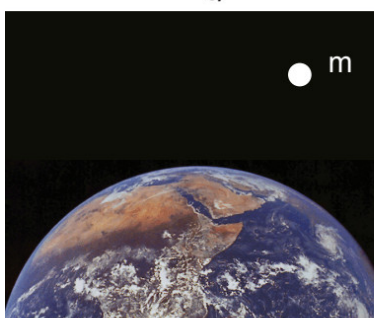


ა)

ა) იმოქმედებს თუ არა სხეულზე რაიმე ძალა?

ბ) იმოქმედებს თუ არა სხეულზე ძალა, თუ ცარიელ სივრცეში დედამიწას „შევიტანთ“ და სხეული დედამიწის გრავიტაციულ ველში აღმოჩნდება (სურ. 1 ბ)?

გ) გაიხსენე: როგორი ენერგია აქვს დედამიწის გრავიტაციულ ველში მოთავსებულ სხეულს დედამიწასთან ურთიერთქმედების შედეგად?



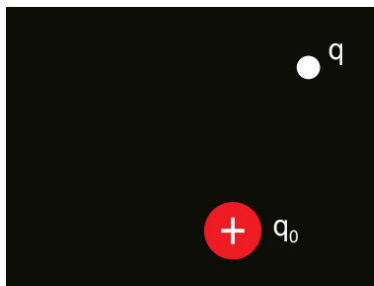
ბ)

2. ახლა წარმოიდგინე, რომ უსასრულო ცარიელ სივრცეში მოვათავსეთ საცდელი q მუხტი (სურ. 1 გ).

ა) იმოქმედებს თუ არა q მუხტზე რაიმე ძალა?

ბ) რა შეიცვლება, თუ ცარიელ სივრცეში q_0 მუხტს შევიტანთ და საცდელი q მუხტი მის მიერ შექმნილ ელექტრულ ველში აღმოჩნდება?

გ) გამოთქვი ვარაუდი, რა სახის ენერგია შეიძლება ჰქონდეს ელექტრულ ველში მოთავსებულ საცდელ q მუხტს q_0 მუხტთან ურთიერთქმედების შედეგად? როგორ ფიქრობ, აქვს თუ არა q_0 მუხტის ელექტრულ ველს მუშაობის შესრულების უნარი? რატომ?



გ)

სურ. 1

დამუხტული სხეულები ურთიერთქმედებენ: ერთმანეთს მიიზიდავენ ან განიზიდავენ. მექანიკიდან შენ უკვე იცი, რომ სხეულთა ურთიერთქმედების შედეგად ამ სხეულთა სისტემას პოტენციური ენერგია აქვს და მუშაობის შესრულება შეუძლია. **პოტენციური ენერგია აქვს დამუხტულ სხეულთა სისტემასაც.** ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **დამუხტულ სხეულთა სისტემას აქვს უნარი, შეასრულოს მუშაობა.** დამუხტულ სხეულთა პოტენციურ ენერგიას **ელექტრული, ანუ კულონური, ენერგია** ჰქვია.

2.6.2. ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა

შენ იცი, რომ მუხტზე სხვა მუხტები არა უშუალოდ, არამედ ელექტრული ველის საშუალებით მოქმედებს. მუხტის გადაადგილებისას სწორედ ველის მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალა ასრულებს მუშაობას, რომელსაც შემდგომში ელექტრული ველის მუშაობას ვუწოდებთ. ყოფა-ცხოვრებაში, ტექნიკაში თუ წარმოებაში სხვადასხვა სახის ელექტრულ ხელსაწყოებს ვიყენებთ, რომელთა მოქმედება სწორედ ელექტრული ველის მიერ მუხტების გადაადგილებაზე შესრულებულ მუშაობას ეფუძნება. როგორ გამოვთვალოთ მუშაობა, რომელსაც ელექტრული ველი ასრულებს?

ამჯერად მხოლოდ ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველს განვიხილავთ, რომელიც უძრავი მუხტებით იქმნება და დროის მიხედვით უცვლელი, მუდმივი ველია.

ერთგვაროვანი ველი, რომლის ყველა წერტილში დაძაბულობა ერთნაირია. ერთგვაროვანი ველის დაძაბულობის ძალწირები პარალელური წირებია. აბსოლუტურად ერთგვაროვანი ველი არ არსებობს, მაგრამ მიახლოებით ერთგვაროვნად შეიძლება ჩაითვალოს ველი ორ ერთნაირ პარალელურ გამტარ ფირფიტას შორის (კიდებიდან მოშორებით), თუ ფირფიტები მოდულით ტოლი და სხვადასხვანიშნიანი მუხტით თანაბრად დატენილი. ამასთან, ფირფიტები ერთმანეთისგან დაშორებულია მცირე (ფირფიტის წრფივ ზომებზე გაცილებით ნაკლები) მანძილით.

მექანიკის კურსიდან იცი, რომ გრავიტაციულ ველში ორ წერტილს შორის სხეულის გადაადგილებისას სიმძიმის ძალის მუშაობა სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიაზე დამოკიდებული არ არის. კულონის კანონს, რომელიც წერტილოვანი დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას აღწერს, ისეთივე მათემატიკური ჩანაწერი აქვს, როგორიც მსოფლიო მიზიდულობის კანონს. ამ ანალოგიაზე დაყრდნობით, შეგვიძლია, ვივარაუდოთ, რომ ელექტროსტატიკურ ველში ორ წერტილს შორის მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ველი ასრულებს მუშაობას, რომელიც მუხტის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმაზე დამოკიდებული არ არის.

იმისათვის, რომ გამოვთვალოთ მუშაობა, რომელსაც ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველი მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს, განვიხილოთ საცდელი დადებითი q მუხტის გადაადგილება ველის ორ წერტილს შორის ძალწირების გასწვრივ.

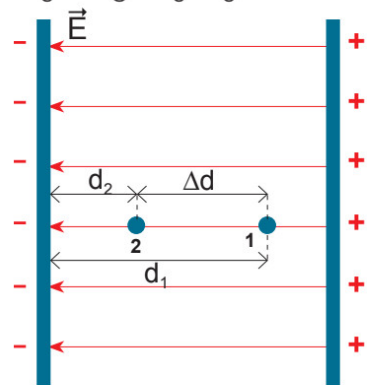
ვთქვათ, საცდელი q მუხტი სხვადასხვანიშნიანი ტოლი მუხტით დამუხტულ პარალელურ ფირფიტებს შორის ერთგვაროვან ველშია მოთავსებული და ველის მოქმედებით 1-ლიდან მე-2 წერტილში, ძალწირის გასწვრივ გადაადგილდება (სურ. 2). თუ **ათვლის ნულოვან დონედ უარყოფითად დამუხტულ ფირფიტას მივიჩნევთ**, მაშინ d_1 და d_2 მანძილები, შესაბამისად, 1-ლი და მე-2 წერტილის დაშორებაა ნულოვანი დონიდან (ანუ მუხტის საწყისი და საბოლოო დონეებია).

ერთგვაროვანი ველი მის ნებისმიერ წერტილში მოთავსებულ q მუხტზე მუდმივი ძალით მოქმედებს, რომლის მოდული გამოითვლება ფორმულით:

$$F = E q \quad (1)$$

რომელშიც E ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულია (გაიხსენე: გრავიტაციული ველი დედამიწის ზედაპირის მახლობლად სხეულზე მოქმედებს მუდმივი ძალით, რომლის მოდული ასე გამოითვლება: $F = mg$, სადაც g გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდულია, m კი სხეულის მასა, ანუ გრავიტაციული მუხტია).

შენ იცი, რომ თუ სხეულზე მოქმედებს მუდმივი ძალა და სხეული ძალის მოქმედების მიმართულებით გადაადგილდება, მაშინ ძალა ასრულებს მექანიკურ მუშაობას, რომელიც ძალისა და გადაადგილების მოდულების ნამრავლის ტოლია: $A = F \cdot s$



სურ. 2

ასე რომ, მუშაობა, რომელსაც ელექტრული ველი მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს, გამოითვლება ფორმულით:

$$A = F \cdot \Delta d \quad (2)$$

რომელშიც F ველის მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალის მოდულია, ხოლო Δd მუხტის გადაადგილებისა ძალნირის გასწვრივ. დააკვირდი ნახაზს (გვ. 93, სურ. 2):

$$\Delta d = d_1 - d_2 \quad (3)$$

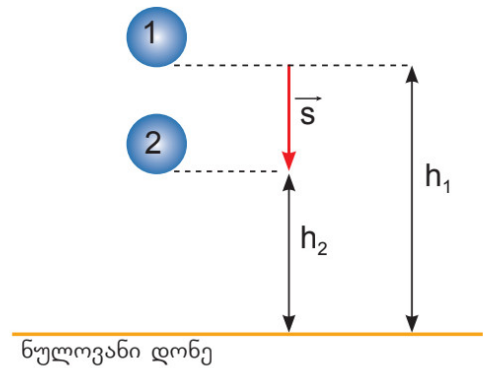
თუ 1-ლ, მე-2 და მე-3 ტოლობებს გავითვალისწინებთ, მივიღებთ, რომ ერთგვაროვანი ველის მიერ მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა ასე გამოითვლება:

$$A = F\Delta d = qE\Delta d = qE(d_1 - d_2) \quad (4)$$

(გაიხსენე: გრავიტაციულ ველში სხეულის გადაადგილებისას სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება ფორმულით:

$$A = mgh_1 - mgh_2$$

რომელშიც h_1 და h_2 სხეულის საწყისი და საბოლოო მდებარეობების კოორდინატებია (დაშორებებია ნულოვანი დონიდან (სურ. 3)).



სურ. 3

2.6.3. პოტენსიალური ველი

დავამტკიცოთ, რომ ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, რომელსაც ველი ორ წერტილს შორის მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს, მუხტის ტრაექტორიის ფორმაზე დამოკიდებული არ არის (სამართლიანია ნებისმიერი ელექტრული ველისთვის).

ვთქვათ, ერთგვაროვან ელექტრულ ველში, რომლის დაძაბულობაა $\vec{E}$, საცდელი დადებითი q მუხტი B წერტილიდან D წერტილში გადაადგილდება (სურ. 4). თუ მუხტი BD წრფის გასწვრივ იმოძრაავს, ელექტრული ველი შეასრულებს მუშაობას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

რომელშიც

F – ელექტრული ველის მხრიდან q მუხტზე მოქმედი ძალის მოდულია: $F = Eq$;

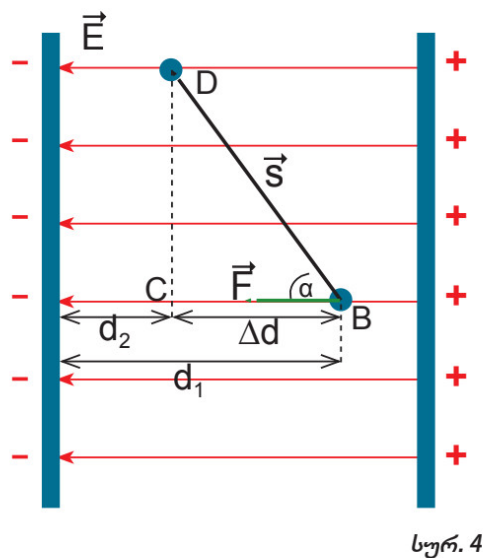
s – მუხტის გადაადგილების მოდულია;

α – ელექტრული ძალის მიმართულებასა და გადაადგილების ვექტორს შორის კუთხის სიდიდეა.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $s \cdot \cos \alpha = \Delta d$ ($\Delta d = d_1 - d_2$) (სურ. 4), მივიღებთ, რომ ერთგვაროვანი ველის მიერ მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა ასე გამოითვლება:

$$A = qE\Delta d \quad (6)$$

ვთქვათ, q მუხტი B წერტილიდან D წერტილში გადაადგილებისას წრფივად მოძრაობდა ჯერ B -დან C წერტილისკენ, შემდეგ კი – C -დან D -სკენ (სურ. 4). ამ შემთხვევაში B წერტილიდან D წერტილში q მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ველის მიერ



სურ. 4

შესრულებული მუშაობა გამოითვლება როგორც ველის მიერ BC და CD მონაკვეთებზე შესრულებული მუშაობების ჯამი:

$$A = A_{BC} + A_{CD} = F \cdot BC \cdot \cos 0^\circ + F \cdot CD \cdot \cos 90^\circ = F \cdot BC = qE\Delta d \quad (7)$$

თუ ველის მუშაობის გამოსათვლელ მე-4, მე-6 და მე-7 გამოსახულებებს შეადარებ, მიიღებ, რომ **ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, რომელსაც ველი ორ წერტილს შორის მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს, მუხტის ტრაექტორიის ფორმაზე დამოკიდებული არ არის და გამოითვლება ფორმულით:**

$$A = qE\Delta d \quad (8)$$

რომელშიც Δd მანძილია, რომელზეც q მუხტი ელექტრული ველის დაძაბულობის ძალწირის გასწვრივ გადაადგილდა.

მუხტის გადაადგილების მიმართულების საპირისპიროდ ცვლილებისას ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, ისევე როგორც სიმძიმის ძალის მუშაობა, ნიშანს იცვლის: თუ q მუხტის B წერტილიდან D წერტილში გადაადგილებისას ველი ასრულებს A მუშაობას, მაშინ იმავე მუხტის D წერტილიდან B წერტილში გადაადგილებისას ველი შეასრულებს $-A$ მუშაობას. რაც იმას ნიშნავს, რომ **წერტილოვანი მუხტის ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე მოძრაობისას ელექტროსტატიკური ველის ჯამური მუშაობა ნულის ტოლია** (მსგავსად გრავიტაციული ველისა). ველს, რომლის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია, **პოტენციალური (კონსერვატიული) ველი** ჰქვია. გრავიტაციული და ელექტროსტატიკური ველები პოტენციალური ველებია.

2.6.4. მუხტის პოტენციური ენერგია ერთგვაროვან ველში

დააკვირდი: მე-4 გამოსახულების გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$A = qE(d_1 - d_2) = qE d_1 - qE d_2 = -(qEd_2 - qEd_1) \quad (9)$$

2 გაიხსენე: გრავიტაციული ველის (სიმძიმის ძალის) მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია პოტენციური ენერგიის ცვლილებისა მოპირდაპირე ნიშნით:

$$A_{\text{სიმ}} = -(mgh_2 - mgh_1) = -\Delta E_{\text{პოტ}}$$

გამოთქვი ვარაუდი: რა ფიზიკური სიდიდე შეიძლება იყოს მე-9 ფორმულაში qEd , რომლის ცვლილება საპირისპირო ნიშნით ელექტროსტატიკური ველის მუშაობის ტოლია?

თუ ველის მუშაობა სხეულის ტრაექტორიის ფორმაზე დამოკიდებული არ არის, მაშინ ის ტოლია პოტენციური ენერგიის ცვლილებისა საპირისპირო ნიშნით. ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში ნულოვანი დონიდან d მანძილზე **მუხტს ველთან ურთიერთქმედების შედეგად აქვს პოტენციური ენერგია (W_p)**, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$W_p = qE d \quad (10)$$

მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციურ ენერგიას შემდგომში, შემოკლებით, **მუხტის პოტენციურ ენერგიას** ვუწოდებთ. მუხტის პოტენციური ენერგია დადებითია, თუ $q > 0$ და უარყოფითია, თუ $q < 0$.

მე-9 გამოსახულების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ **ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა ტოლია მუხტის პოტენციური ენერგიის ცვლილებისა საპირისპირო ნიშნით:**

$$A = -\Delta W_p \quad (11)$$

გათვალისწინე:

- მე-10 ფორმულით მხოლოდ ერთგვაროვან ველში მოთავსებული მუხტის პოტენციური ენერგია გამოითვლება;

2. მე-11 ფორმულა სამართლიანია არა მარტო ერთგვაროვანი, არამედ ნებისმიერი ელექტროსტატიკური ველისთვის, მაგ., ნერტილოვანი მუხტის ელექტროსტატიკური ველისთვის, რომელიც ერთგვაროვანი არ არის.

დააკვირდი მე-10 ფორმულას: მუხტის პოტენციური ენერგია ნულოვან დონეზე ნულის ტოლია. ასე რომ, მუშაობა, რომელსაც ელექტრული ველი მოცემული ნერტილიდან ნულოვან დონემდე მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს, ასე გამოითვლება:

$$A = -\Delta W_3 = -(0 - qEd) = qEd$$

ანუ მუხტის პოტენციური ენერგიის ფიზიკური აზრი ასეთია: მუხტის პოტენციური ენერგია, რომელიც ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ ნერტილშია მოთავსებული, იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ველი ამ ნერტილიდან ნულოვან დონემდე მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს.

ისევე როგორც გრავიტაციული ველის შემთხვევაში, ნულოვანი დონე ელექტრულ ველშიც ნებისმიერად შეიძლება შეირჩეს, რადგან ფიზიკური აზრი აქვს არა პოტენციურ ენერგიას (რომელიც დამოკიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე), არამედ პოტენციური ენერგიის ცვლილებას, რომლის საშუალებითაც ელექტრული ველის მუშაობა განისაზღვრება.

3

1. გაანალიზე მე-(11) ფორმულა და დაფიქრდი: როგორ შეიცვლება დადებითი საცდელი მუხტის პოტენციური ენერგია, თუ ველი ასრულებს:

ა) დადებით მუშაობას? ბ) უარყოფით მუშაობას?

2. ვთქვათ, დადებით საცდელ მუხტზე მხოლოდ ელექტრული ველი მოქმედებს. როგორ შეიცვლება მუხტის კინეტიკური ენერგია, თუ ველი ასრულებს:

ა) დადებით მუშაობას? (გაავლე პარალელი ვარდნილი ქვის მოძრაობასთან);

ბ) უარყოფით მუშაობას? (გაავლე პარალელი ზემოთ ასროლილი ქვის მოძრაობასთან).

3. გადაიხაზე სამუშაო რეგულში I და II ცხრილები და შეავსე:

ცხრილი I

თუ სხეული მოძრაობს გრავიტაციულ ველში $\vec{g}$ დაძაბულობის	დადებითია თუ უარყოფითი ველის მიერ შესრულებული მუშაობა?	იზრდება თუ მცირდება სხეულის პოტენციური ენერგია?	იზრდება თუ მცირდება მუხტის კინეტიკური ენერგია?
1. მიმართულებით (ვერტიკალურად ქვევით თავისუფლად ვარდება)	$A > 0$		
2. საპირისპირო მიმართულებით (ვერტიკალურად ზევითაა ასროლილი)	$A < 0$		

შენიშვნა: ჩათვალე, რომ სხეულზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს

ცხრილი II

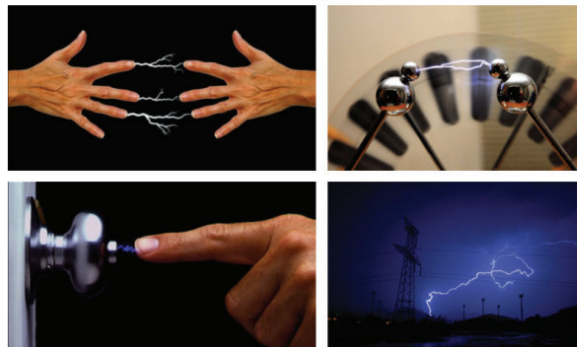
თუ დადებითი საცდელი მუხტი მოძრაობს ელექტრულ ველში $\vec{E}$ დაძაბულობის	დადებითია თუ უარყოფითი ველის მიერ შესრულებული მუშაობა?	იზრდება თუ მცირდება მუხტის პოტენციური ენერგია?	იზრდება თუ მცირდება მუხტის კინეტიკური ენერგია?
1. მიმართულებით	$A > 0$		
2. საპირისპირო მიმართულებით	$A < 0$		

შენიშვნა: ჩათვალე, რომ მუხტზე მხოლოდ ელექტრული ძალა მოქმედებს.

სტატიკური ელექტრობის შესწავლისას შენ საკმაოდ საინტერესო და შთამბეჭდავ მოვლენას გაეცანი: დამუხტული სხეულის განმუხტვისას შესაძლებელია, ნაპერწკალი წარმოიქმნას და დამახასიათებელი ხმა (ტკაცუნა) გაისმას.

მაგ., თუ ადამიანის სხეული ხალიჩასთან, ტანსაცმელთან შეხებისას საკმაოდ ძლიერად დაელექტროვდება, სხვა გამტარ სხეულთან შეხებისას (ან მიახლოებისას) განიმუხტება, რასაც ხანმოკლე გაელვება (ნაპერწკალი) და ტკაცუნა მოჰყვება. ამ დროს ადამიანი მსუბუქ დარტყმას გრძნობს. ეს ყველაფერი კი იმაზე მეტყველებს, რომ განმუხტვისას (მუხტის ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასვლისას) მუხტების ელექტრული ენერგია სხვა სახის (სინათლის, ბგერის, მექანიკურ) ენერგიად გარდაიქმნება (სურ. 1). ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ დამუხტული სხეული მაღალი ძაბვის ან პოტენციალის ქვეშ იმყოფება.

რა არის პოტენციალი, ძაბვა? რას ახასიათებს ეს ფიზიკური სიდიდეები, ელექტრულ ველს თუ მასში მოთავსებულ ელექტრულ მუხტს? როგორ აღინერება ისინი რაოდენობრივად? ამ კითხვებზე პასუხის გასამარტივებლად გამოვიყენოთ ანალოგია ელექტრულ და გრავიტაციულ ველებს შორის.

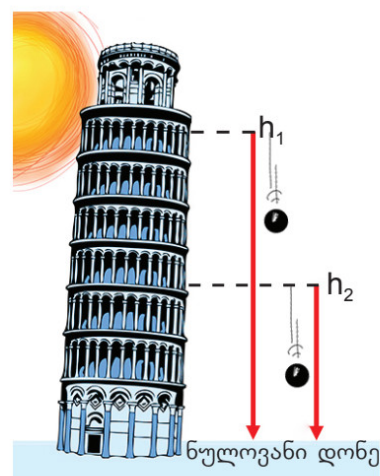


სურ. 1

2.7.1. გრავიტაციული პოტენციალი

გრავიტაციული ველის დაძაბულობა ($\vec{g}$) დედამიწის ზედაპირის მახლობლად შეგვიძლია უცვლელად ჩავთვალოთ ($\vec{g} = \text{const}$). ასეთ შემთხვევაში, იმ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან მცირე მანძილითაა ($h \ll R$) დაშორებული, მუდმივია. ნულოვან დონედ დედამიწის ზედაპირი ავირჩიოთ.

გაიხსენე: სხეულს, რომელიც ნულოვანი დონიდან გარკვეულ სიმაღლეზეა აწეული (სურ. 2), პოტენციური ენერგიის მარაგი აქვს. დედამიწის გრავიტაციული ველი მასში მოთავსებულ ნებისმიერ სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალით, რომლის გავლენითაც სხეული ნულოვან დონეზე ვარდება. ვარდნისას სხეულის პოტენციური ენერგია მცირდება და მოძრაობის, ანუ კინეტიკურ ენერგიად გარდაიქმნება. სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა კი სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილებით განისაზღვრება და ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული არ არის:



სურ. 2

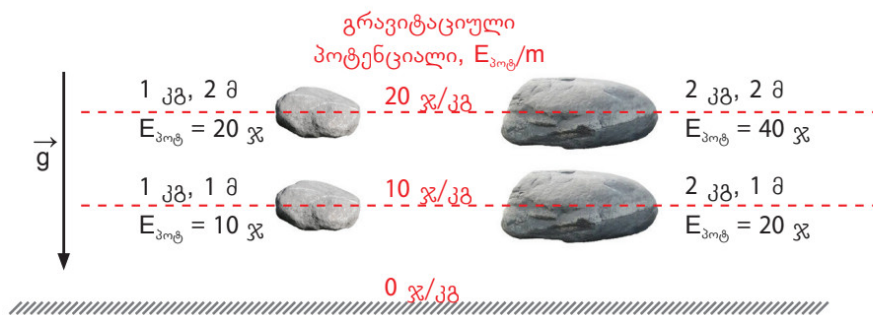
$$A = -(E_{\text{პოტ}2} - E_{\text{პოტ}1}) = -(mgh_2 - mgh_1) \quad (1)$$

როცა სხეული ნულოვან დონეზე მდებარეობს, მისი პოტენციური ენერგია ნულის ტოლია. პოტენციური ენერგიის ფიზიკური აზრი ასეთია: ნულოვანი დონიდან h სიმაღლეზე ატანილი სხეულის პოტენციური ენერგია ($E_{\text{პოტ}} = mgh$) იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც გრავიტაციული ველი (სიმძიმის ძალა) სხეულის ნულოვან დონემდე დაშვებისას ასრულებს:

$$A = -(E_{\text{პოტ}2} - E_{\text{პოტ}1}) = -(0 - mgh) = mgh \quad (2)$$

1 ცხადია, რაც მეტია h , მით მეტია სხეულის პოტენციური ენერგია, მით მეტ მუშაობას ასრულებს სიმძიმის ძალა ნულოვან დონემდე ვარდნისას. შეიძლება თუ არა ველის მოცემული წერტილი პოტენციური ენერგიით დავახასიათოთ? შეიძლება თუ არა, რომ დედამიწიდან დიდ სიმაღლეებზე განლაგებულ წერტილებს მაღალი პოტენციური ენერგიის მქონე წერტილები ვუნოდოთ? იქნება თუ არა ეს მართებული? რატომ?

პოტენციური ენერგია დამოკიდებულია არა მარტო ნულოვანი დონის მიმართ სხეულის მდებარეობაზე (h სიმაღლეზე), არამედ სხეულის m მასაზეც. სხვადასხვა მასის სხეულს შეიძლება ერთნაირი პოტენციური ენერგია ჰქონდეს: მაგ., 1 კგ მასის სხეულს, რომელიც ნულოვანი დონიდან 2 მ-ზეა ატანილი, ისეთივე პოტენციური ენერგია აქვს, როგორიც 2 კგ მასის სხეულს 1 მ სიმაღლეზე (სურ. 3).



სურ. 3

პოტენციური ენერგია ახასიათებს სხეულს და არა ველის მოცემულ წერტილს. თუმცა არსებობს ფიზიკური სიდიდე, რომლითაც შეგვიძლია ველის მოცემული წერტილები დავახასიათოთ. ასეთი სიდიდე გრავიტაციული პოტენციალია, რომელიც ასე გამოითვლება:

$$\frac{E_{\text{პოტ}}}{m} = gh \quad (3)$$

(მე-3 ფორმულა სამართლიანია, როცა $h \ll R$. თუ დედამიწას მატერიალურ წერტილად მივიჩნევთ, გრავიტაციული პოტენციალის გამოსათვლელ ფორმულას სხვა სახე აქვს).

დააკვირდი მე-3 ფორმულას: გრავიტაციული პოტენციალი (gh) სხეულის მასაზე დამოკიდებული არ არის და განისაზღვრება:

- ველის მოცემული წერტილის მდებარეობით (h -ით) ნულოვანი დონის მიმართ;
- დედამიწის გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდულით (g -ით).

ასე რომ, გრავიტაციული gh პოტენციალი ველის მოცემული წერტილის მახასიათებელი სიდიდეა და არა ამ წერტილში მოთავსებული სხეულის.

„*potentia*“ – ლათინური სიტყვაა და „შესაძლებლობას“ ნიშნავს. გრავიტაციული პოტენციალიც ველის მოცემული წერტილის „შესაძლებლობაა“, რომ ამ წერტილში მოთავსებულ სხეულს პოტენციური ენერგია მიანიჭოს. გრავიტაციული პოტენციალი რიცხობრივად გვიჩვენებს: რა სიდიდის პოტენციური ენერგია შეიძლება ჰქონდეს ამ წერტილში მოთავსებულ ერთეულოვანი მასის სხეულს.

მე-3 ფორმულის თანახმად, SI-ში გრავიტაციული პოტენციალის ერთეულია 1 ჯ / კგ: ასეთი პოტენციალი აქვს გრავიტაციული ველის იმ წერტილს, რომელშიც 1 კგ მასის სხეულს 1 ჯოულის ტოლი პოტენციური ენერგია აქვს.

ველის წერტილების დახასიათება პოტენციალით (და არა პოტენციური ენერგიით) სავსებით შესაძლებელია (სურ. 3): პოტენციალის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ, ველის რომელ წერტილში მოთავსებისას ექნება სხეულს მეტი ან ნაკლები პოტენციური ენერგია.

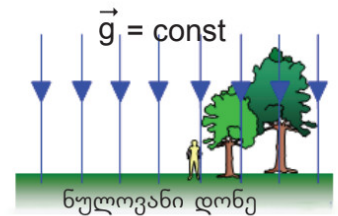
ნულოვანი დონიდან ერთ სიმაღლეზე განლაგებულ წერტილებს ერთნაირი პოტენციალი აქვს. რაც უფრო მეტია ნულოვანი დონიდან წერტილის დაშორება, მით უფრო მაღალია მისი პოტენციალი. რაც უფრო მაღალია ველის წერტილის პოტენციალი, მით მეტი პოტენციური ენერგია აქვს ამ წერტილში მოთავსებულ სხეულს და, შესაბამისად, მით მეტ მუშაობას ასრულებს გრავიტაციული ველი (სიმძიმის ძალა) სხეულის ნულოვან დონემდე ვარდნისას.

2 დაფიქრდი:

1. საითაა მიმართული დედამიწის გრავიტაციული ველის დაძაბულობის $\vec{g}$ ვექტორი (სურ. 4): პოტენციალის ზრდისა თუ შემცირების (ვარდნის) მხარეს?
2. რისი ტოლია ნულოვან დონეზე გრავიტაციული ველის პოტენციალი?
2. თუ 1-ლ გამოსახულებას გარდაქმნი, მიიღებ

$$A = mgh_1 - mgh_2 = m(g h_1 - g h_2) \quad (4)$$

როგორ ფიქრობ, შესაძლებელია თუ არა, რომ სხეული თავისით, მხოლოდ გრავიტაციული ველის გავლენით, გადაადგილდეს ერთნაირი პოტენციალის მქონე წერტილებს შორის? რატომ?



სურ. 4

2.7.2. პოტენციური ენერგია – მუხტის მახასიათებელი

გრავიტაციული პოტენციალის ფიზიკური შინაარსის გაცნობიერება საშუალებას მოგვცემს, ანალოგიური მახასიათებელი ელექტრული ველისთვისაც განვსაზღვროთ და მისი არსი უფრო თვალსაჩინოდ წარმოვიდგინოთ.

შენ იცი, რომ ელექტრული ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ q მუხტს პოტენციური ენერგია აქვს (მსგავსად m მასის სხეულისა, რომელიც გრავიტაციულ ველშია მოთავსებული): რაც მეტია მუხტის პოტენციური ენერგია, მით მეტ მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი მუხტის ნულოვან დონემდე გადაადგილებისას. ველის მიერ შესრულებული მუშაობის შედეგად მუხტის პოტენციური ენერგია კინეტიკურად გარდაიქმნება: მაგ., თუ დადებით საცდელ მუხტზე მხოლოდ ელექტრული ძალა მოქმედებს და საცდელი მუხტი ველის E დაძაბულობის

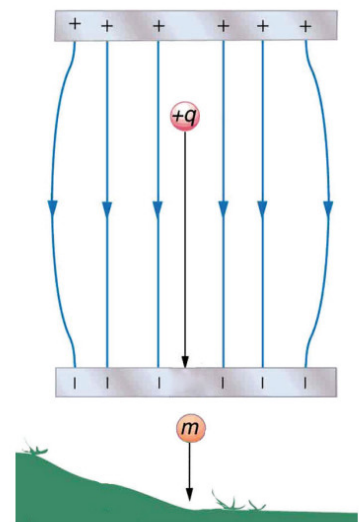
ა) მიმართულებით მოძრაობს (ანუ ვარდება უარყოფითად დამუხტულ ფირფიტაზე, მსგავსად დედამიწის ზედაპირზე ვარდნილი ქვისა), მაშინ ველი დადებით მუშაობას ასრულებს: მუხტის პოტენციური ენერგია იკლებს და კინეტიკური ენერგია იზრდება (სურ. 5);

ბ) საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობს (მსგავსად ზევით ასროლილი ქვისა), მაშინ ველი უარყოფით მუშაობას ასრულებს: მუხტის პოტენციური ენერგია იმატებს და კინეტიკური ენერგია მცირდება, დამუხტული ნაწილაკი მუხრუჭდება.

გაიხსენე: ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მუხტის პოტენციური ენერგია ასე გამოითვლება:

$$W = qEd \quad (5)$$

პოტენციური ენერგია დამოკიდებულია არა მარტო ნულოვანი დონის მიმართ მუხტის დაშორებაზე (d -ზე), არამედ მუხტის მოდულზეც. პოტენციური ენერგია ახასიათებს ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებულ მუხტს და არა ველის მოცემულ წერტილს: მის მიხედვით შეგვიძლია ვიმსჯე-



სურ. 5

ლოთ, რა მუშაობის შესრულება შეუძლია ელექტრულ ველს მუხტის ნულოვან დონემდე გადაადგილებისას. არსებობს ფიზიკური სიდიდე, რომლითაც შეგვიძლია ელექტრული ველის მოცემული წერტილი (და არა ამ წერტილში მოთავსებული მუხტი!) დავახასიათოთ. ასეთი სიდიდე ელექტრული პოტენციალია.

2.7.3. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი

$W = qEd$ ფორმულიდან ჩანს, რომ ელექტროსტატიკურ ველში მუხტის პოტენციური ენერგია მუხტის სიდიდის პროპორციულია (მართებულია არა მხოლოდ ერთგვაროვანი ველისთვის, არამედ ნებისმიერი ელექტროსტატიკური ველისთვის). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ელექტროსტატიკური ველის ნებისმიერ წერტილში მოთავსებული მუხტის პოტენციური ენერგიის შეფარდება მუხტის მოდულთან მუდმივია და მუხტის მოდულზე დამოკიდებული არ არის. სწორედ ამიტომ W/q შეფარდება შეიძლება მოცემულ წერტილში ველის მახასიათებლად მივიჩნიოთ (ისევე, როგორც გრავიტაციული ველის მოცემული წერტილის მახასიათებელია შეფარდება: $E_{\text{გრავიტ.}}/m$).

ელექტროსტატიკური ველის ნებისმიერ წერტილში მოთავსებული მუხტის პოტენციური ენერგიის შეფარდებას ამ მუხტის მოდულთან მოცემულ წერტილში ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი ეწოდება. პოტენციალი ϕ ასოთი აღინიშნება და ასე გამოითვლება:

$$\phi = \frac{W}{q} \quad (6)$$

გაიხსენე: ელექტრული ველის $\vec{E}$ დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა და ველის ძალურ მახასიათებელს წარმოადგენს: დაძაბულობა ველის მხრიდან საცდელ ერთეულოვან მუხტზე მოქმედ ძალას გვიჩვენებს. პოტენციალი კი სკალარული სიდიდეა, რომელიც ველის ენერგეტიკული მახასიათებელია და რიცხობრივად გვიჩვენებს, რისი ტოლია ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებული ერთეულოვანი მუხტის ენერგია.

თუ პოტენციური ენერგიის ნულოვან დონედ უარყოფითად დამუხტულ ფირფიტას მივიჩნევთ (სურ. 6), მაშინ მე-5 და მე-6 ფორმულის გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში იმ წერტილის პოტენციალი, რომელიც ნულოვანი დონიდან d მანძილითაა დაშორებული, გამოისახება ფორმულით:

$$\phi = Ed \quad (7)$$

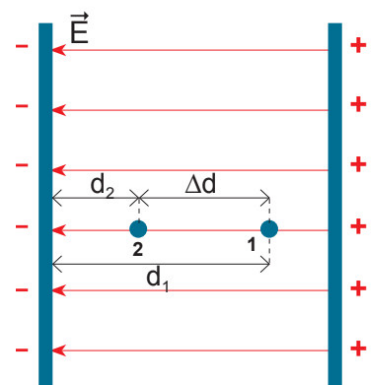
პოტენციური ენერგიის მსგავსად, პოტენციალის მნიშვნელობა ნულოვანი დონის არჩევაზეა დამოკიდებული: ნულოვანი დონის ნებისმიერ წერტილში პოტენციალი ნულის ტოლი იქნება.

SI-ში პოტენციალის ერთეულია 1 ვოლტი (ვ). მე-6 ფორმულის თანახმად,

$$1 \text{ ვ} = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კ}}$$

1 ვოლტის ტოლი პოტენციალი ელექტრული ველის იმ წერტილს აქვს, რომელშიც 1 კულონი მუხტის პოტენციური ენერგია 1 ჯოულია. რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ წერტილიდან 1 კ საცდელი დადებითი მუხტის ნულოვან დონემდე გადაადგილებისას ველი 1 ჯ მუშაობას ასრულებს.

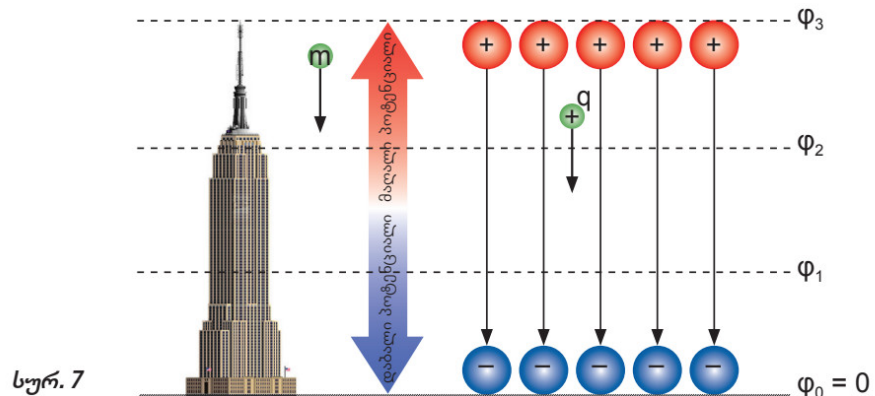
პოტენციალი პოტენციური ენერგია არ არის: ის ველის მოცემული წერტილის „შესაძლებლობა“, რომ ამ წერტილში მოთავსებულ სხეულს პოტენციური ენერგია მიანიჭოს. პოტენციალის მიხედვით, შეიძლება, ვიმსჯელოთ, ველის რომელ წერტილში ექნება მუხტს მეტი ან ნაკლები პოტენციური ენერგია.



სურ. 6

ნულოვანი დონიდან ერთნაირად დაშორებულ წერტილებს ერთნაირი პოტენციალი აქვს (სურ. 7). რაც უფრო მეტია ნულოვანი დონიდან წერტილის დაშორება, მით უფრო მაღალია ველის მოცემული წერტილის პოტენციალი. რაც უფრო მაღალია ველის წერტილის პოტენციალი, მით მეტი პოტენციური ენერგია აქვს ამ წერტილში მოთავსებულ საცდელ დადებით მუხტს და, შესაბამისად, მით მეტ მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი (ელექტრული ძალა) ამ მუხტის ნულოვან დონემდე გადაადგილებისას.

როგორც გრავიტაციულ, ისე ელექტრულ ველში ყოველთვის არსებობს მაღალი და დაბალი პოტენციალის მქონე წერტილები. **ველის გავლენით სხეული ყოველთვის მაღა-**



ლი პოტენციალის მქონე წერტილიდან დაბალი პოტენციალის მქონე წერტილისკენ გადაადგილდება. მაგ., გრავიტაციული ველის გავლენით სხეული ვერტიკალურად ქვევით ვარდება, ხოლო იმისათვის, რომ სხეულმა ვერტიკალურად ზევით (დაბალიდან მაღალი პოტენციალის მქონე წერტილისკენ) იმოძრაოს, საჭიროა, გარე ძალამ შეასრულოს მუშაობა: სხეულს სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ.

ანალოგიურად, ელექტრული ველის გავლენით დადებითი მუხტი მაღალი პოტენციალის მქონე წერტილიდან დაბალი პოტენციალის მქონე წერტილისკენ გადაადგილდება (დადებითი საცდელი მუხტი „ვარდება“ უარყოფითად დამუხტულ ფირფიტაზე). იმისათვის, რომ დადებითი საცდელი მუხტი დაბალიდან მაღალი პოტენციალისკენ გადავაადგილოთ (მაგ., უარყოფით ფირფიტას „მოვწყვიტოთ“), საჭიროა, გარე ძალამ შეასრულოს დადებითი მუშაობა.

2.7.4. ველის მუშაობა და პოტენციალთა სვლილება

გაიხსენე: ელექტროსტატიკურ ველში მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია მუხტის პოტენციური ენერგიის ცვლილებისა საპირისპირო ნიშნით. ეს არის თეორემა პოტენციური ენერგიის შესახებ და მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

$$A = -\Delta W \quad (8)$$

მე-5-ისა და მე-7-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$A = -\Delta W = -(W_2 - W_1) = -(qEd_2 - qEd_1) = -(q\phi_2 - q\phi_1) = -q(\phi_2 - \phi_1) = -q\Delta\phi$$

ე. ი. ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველი მუხტის ერთი წერტილიდან მეორეში გადაადგილებისას ასრულებს მუშაობას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$A = -q\Delta\phi \quad (9)$$

რომელშიც q მუხტის მოდულია, ხოლო $\Delta\phi$ – მუხტის მდებარეობის საბოლოო და საწყის წერტილებს შორის პოტენციალთა ცვლილება.

პოტენციალის მნიშვნელობა ველის მოცემულ წერტილში დამოკიდებულია იმაზე, თუ

რას ავირჩევთ ათვლის ნულოვან დონედ. დააკვირდი მე-9 გამოსახულებას: პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს არა პოტენციალს მოცემულ წერტილში, არამედ პოტენციალის ცვლილებას ორ წერტილს შორის, რაც ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული არ არის.

2.7.5. პოტენციალთა სხვაობა – ძაბვა

მე-9 გამოსახულება შეიძლება სხვა სახითაც ჩაიწეროს:

$$A = -q \Delta\varphi = -q (\varphi_2 - \varphi_1) = q (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (10)$$

ნაცვლად პოტენციალთა ცვლილებისა ($\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$), შემოდის ახალი ფიზიკური სიდიდე – პოტენციალთა სხვაობა ($\varphi_1 - \varphi_2$). პოტენციალთა სხვაობას ხშირად ძაბვას უწოდებენ. ძაბვა U ასოთი აღინიშნება:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi \quad (11)$$

ძაბვა და პოტენციალთა ცვლილება მხოლოდ ნიშნით განსხვავებული სიდიდეებია. ტერმინ „ძაბვა“, მეტწილად, ელექტრული დენის შესწავლისას იყენებენ, ხოლო „პოტენციალთა ცვლილება“ ელექტროსტატიკაში გამოიყენება.

მე-10 და მე-11 ტოლობების თანახმად, ელექტრული ველის მიერ მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა ახე გამოითვლება:

$$A = q (\varphi_1 - \varphi_2) = qU \quad (12)$$

მე-12-დან ჩანს, რომ ძაბვა, ანუ ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა, ტოლია საწყისიდან საბოლოო წერტილში მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტის მოდულთან:

$$U = \frac{A}{q} \quad (13)$$

ისევე, როგორც პოტენციალი, ძაბვაც ელექტრული ველის ენერგეტიკული მაჩვენებელია. ოღონდ პოტენციალისგან განსხვავებით, ძაბვის მნიშვნელობა ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული არ არის. ძაბვა ველის ორ წერტილს შორის განისაზღვრება და რიცხობრივად გვიჩვენებს: რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი ამ ორ წერტილს შორის 1 კულონი მუხტის გადაადგილებისას.

3 როგორ ფიქრობ, არის თუ არა ორ წერტილს შორის ძაბვა დამოკიდებული ამ წერტილებს შორის გადატანილი მუხტის მოდულზე?

ისევე, როგორც პოტენციალის, ძაბვის ერთეული SI-ში 1 ვოლტია ($1 \text{ ვ} = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კ}}$): ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა) 1 ვოლტის ტოლია, თუ ამ ორ წერტილს შორის 1 კ მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ 1 ჯ მუშაობა სრულდება.

4 მე-8 სურათზე ელექტრული ველის რამდენიმე წერტილია მონიშნული.

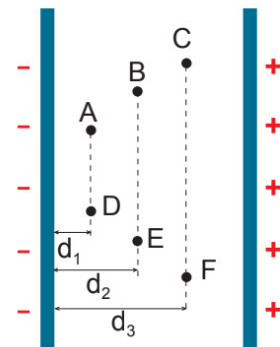
1. იპოვე წერტილები, რომელთა შორისაც ძაბვა

ა) $U \neq 0$; ბ) $U = 0$; გ) მაქსიმალურია.

2.

ა) რომელ ორ წერტილს შორის გადაადგილდება ელექტრული ველის გავლენით დადებითი საცდელი მუხტი? როდის ასრულებს ველი მეტ მუშაობას?

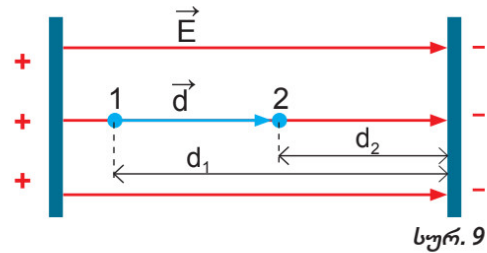
ბ) რომელ ორ წერტილს შორის გადაადგილებისას შეიძენს დადებითი საცდელი მუხტი მეტ კინეტიკურ ენერგიას?



სურ. 8

2.7.6. კავშირი დაძაბულობასა და კავშირის შორის

ვთქვათ, დადებითი საცდელი q მუხტი ერთგვაროვანი ველის $\vec{E}$ დაძაბულობის მიმართულებით 1-ლიდან მე-2 წერტილში გადაადგილდება (სურ. 9). მოცემულ ორ წერტილს შორის q მუხტის გადაადგილებაზე ველი ასრულებს მუშაობას, რომელიც ასე გამოითვლება:



სურ. 9

$$A = -(W_2 - W_1) = -(qEd_2 - qEd_1) = -qE(d_2 - d_1) = qEd \quad (14)$$

რომელშიც d მუხტის გადაადგილების მოდულია (ძალწირების გასწვრივ გავლილი მანძილი): $d = d_1 - d_2$

მე-12 ტოლობის თანახმად, ველის მუშაობა მოცემულ წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობითაც გამოისახება:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU \quad (15)$$

მე-14 და მე-15 ფორმულების შედარებით მიიღებ, რომ

$$U = Ed \quad (16)$$

მე-16 ტოლობიდან კი ჩანს კავშირი ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულსა და ძაბვას შორის:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad (17)$$

(მე-17 ფორმულა შეიძლება ნებისმიერი ელექტრული ველისთვის გამოვიყენოთ, თუ d მანძილი ისე მცირეა, რომ ამ მანძილზე ველის დაძაბულობის ცვლილება უმნიშვნელოა).

მე-17 ტოლობიდან ჩანს:

1. რაც უფრო ნაკლებად იცვლება პოტენციალი ველის ორ წერტილს შორის d მანძილზე (რაც უფრო ნაკლებია ძაბვა ამ ორ წერტილს შორის), მით უფრო მცირეა ველის დაძაბულობის მოდული;
2. თუ ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია, ეს იმას ნიშნავს, რომ ველის ნებისმიერ ორ წერტილს შორის პოტენციალს ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს ($\varphi_1 = \varphi_2$);
3. დადებითი მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ველი დადებით მუშაობას ასრულებს (დადებითი მუხტი დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის მიმართულებით გადაადგილდება): $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) > 0$ ანუ $\varphi_1 > \varphi_2$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა მიმართულია პოტენციალის ვარდნის მიმართულებით (დადებითად დამუხტული ფირფიტიდან უარყოფითისკენ, ანუ იმ მიმართულებით, რა მიმართულებითაც პოტენციალი იკლებს. გაიხსენე: გრავიტაციულ ველში $\vec{g}$ ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით, ანუ იმ მიმართულებით, რა მიმართულებითაც გრავიტაციული პოტენციალი იკლებს).
4. SI-ში დაძაბულობის შენთვის ცნობილი ერთეული, 1 ნ/კ, დაძაბულობის ახალი ერთეულის – 1 ვ/მ-ის ეკვივალენტურია. მართლაც:

$$1 \frac{\text{ვ}}{\text{მ}} = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კ}} \cdot \frac{1}{\text{მ}} = 1 \frac{\text{მ} \cdot \text{ვ}}{\text{კ}} \cdot \frac{1}{\text{მ}} = 1 \frac{\text{ვ}}{\text{კ}}$$

2.7.7. ეკვიპოტენციალური ზედაპირები

5 გაიხსენე:

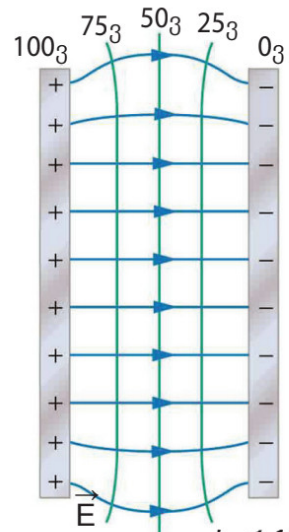
1. რისი ტოლია ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ სხეულის გადაადგილება ძალის მართობულია?
2. როგორ განისაზღვრება ველის ნებისმიერ წერტილში დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება ელექტრული ძალის მიმართულების მიხედვით? ველის ძალწირების მიმართულების მიხედვით?

ამრიგად, თუ მუხტი ძალწირებისადმი მართობულად გადაადგილდება, მაშინ ელექტრული ველი მუხტის გადაადგილებისას მუშაობას არ ასრულებს (რადგან ძალა გადაადგილების მართობულია). თუ ველის თითოეულ წერტილზე ძალწირების მართობულ ზედაპირს გავავლებთ, ამ ზედაპირის გასწვრივ მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია:

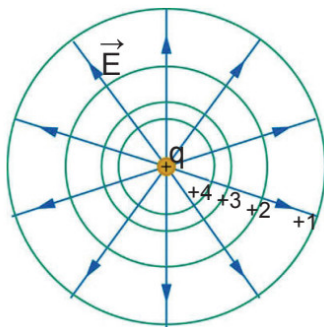
$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

ანუ ძალწირების მართობული ზედაპირის ყველა წერტილს ერთი და იგივე პოტენციალი აქვს ($\varphi_1 = \varphi_2$). ასეთ ზედაპირებს ეკვიპოტენციალური ზედაპირები ჰქვია.

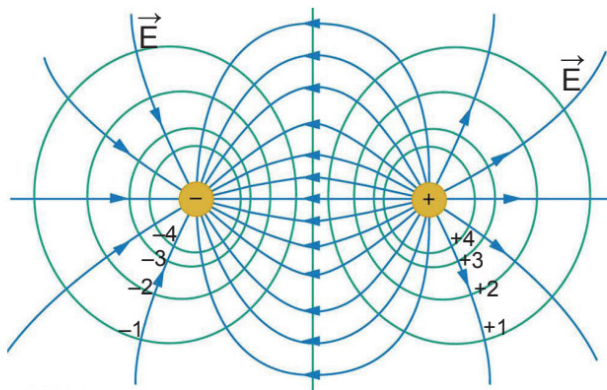
ერთგვაროვანი ველის ეკვიპოტენციალური ზედაპირები ძალწირების მართობული სიბრტყეებია (სურ. 10), წერტილოვანი მუხტის ეკვიპოტენციალური ზედაპირები კი – კონცენტრული სფეროები, რომელთა ცენტრში მოთავსებულია წერტილოვანი მუხტი (სურ. 11). დიპოლის ველის ეკვიპოტენციალური ზედაპირები გამოსახულია მე-12 სურათზე.



სურ. 10



სურ. 11

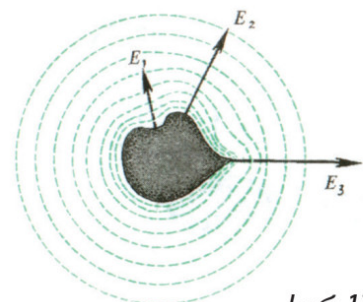


სურ. 12

დააკვირდი სურათებს (სურ. 11,12,13): ძალწირების მსგავსად ეკვიპოტენციალური ზედაპირებიც სივრცეში ველის განაწილებას თვისებრივად ახასიათებს: იქ, სადაც მათი სიხშირე მეტია, ელექტრული ველი ძლიერია (მუხტთან ახლოს).

6

1. დააკვირდი ნახაზს (სურ.13): მასზე არასწორი ფორმის დამუხტული გამტარი სხეული და მისი ელექტროსტატიკური ველის ეკვიპოტენციალური ზედაპირებია გამოსახული. როგორ ფიქრობ, რა ადგილებშია გამტარის ელექტროსტატიკური ველი განსაკუთრებით ძლიერი: წვეტებთან თუ ჩაღრმავებაში?



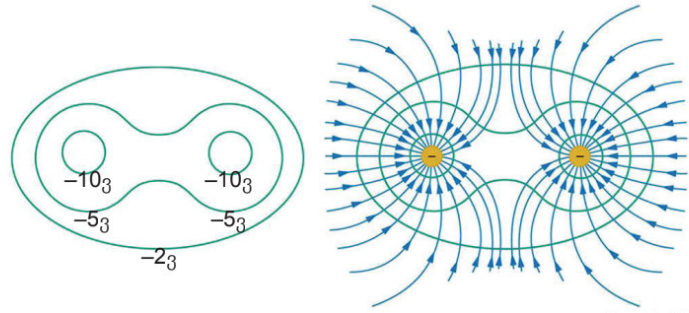
სურ. 13

2. გაიხსენე, როგორია წანვეტებული ფორმის დამუხტული სხეულის გარშემო ელექტრული ველის ძალწირების განლაგების სურათი (იხ. §2.2. სურ. 15).

გამოიტანე დასკვნა: როგორაა განაწილებული მუხტი არასწორი ფორმის გამტარის ზედაპირზე?

ეკვიპოტენციალური ზედაპირების განლაგების სურათით შეიძლება დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება განვსაზღვროთ: დაძაბულობის ვექტორი ეკვიპოტენციალური ზედაპირის მართობულია და მიმართულია პოტენციალის ვარდნის (შემცირების) მხარეს:

ა) წერტილოვანი დადებითი მუხტის ველის პოტენციალი მით უფრო მცირდება, რაც უფრო დაშორებულია წერტილი მუხტიდან (გვ. 104, სურ. 11,12). ველის დაძაბულობის ვექტორი კი მიმართულია პოტენციალის ვარდნის მხარეს (სფეროების ცენტრიდან გარეთ, რადიუსის გასწვრივ);



სურ. 14

ბ) უარყოფითი მუხტის ველის

პოტენციალი მით უფრო მცირდება, რაც უფრო ახლოსაა წერტილი მუხტიდან (სურ. 14). დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია პოტენციალის ვარდნის მხარეს (სფეროების ცენტრისკენ).

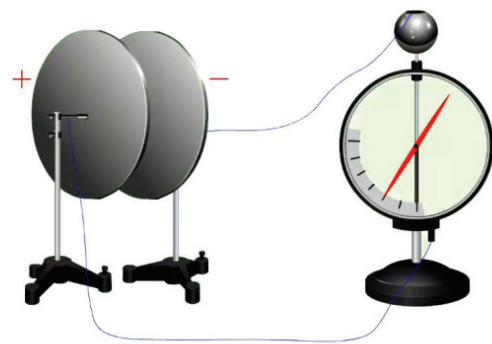
გაიხსენე: ელექტროსტატიკური ველის ძალწირები გამტარის ზედაპირის მართობულია (§ 2.4), ანუ **ელექტროსტატიკურ ველში ნებისმიერი გამტარის ზედაპირი ეკვიპოტენციალურია, მისი ყველა წერტილის პოტენციალი ერთნაირია.**

გამტარის შიგნით ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია, რაც იმას ნიშნავს, რომ არა მარტო გამტარის ზედაპირის, არამედ გამტარის შიგნითაც ყველა წერტილს ერთნაირი პოტენციალი აქვს, შესაბამისად, **გამტარის ნებისმიერ ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა 0-ის ტოლია.**

2.7.8. პოტენციალთა სხვაობის გაზომვა

ორ დამუხტულ სხეულს შორის პოტენციალთა სხვაობას ელექტრომეტრით ზომავენ: ერთ მათგანს ელექტრომეტრის ღეროსთან აერთებენ გამტარით, ხოლო მეორეს – კორპუსთან (სურ. 15) (როცა პოტენციალს დედამიწის მიმართ ზომავენ, ღეროს სხეულთან აერთებენ, ხოლო კორპუსს დაამიწებენ).

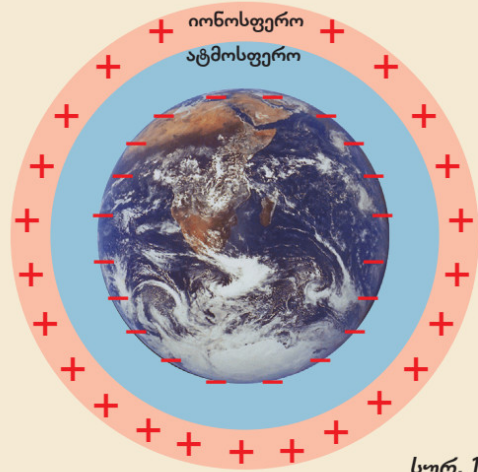
იმის გამო, რომ ნებისმიერი გამტარის ზედაპირი ეკვიპოტენციალურია, ღეროსა და კორპუსს შორის პოტენციალთა სხვაობა დამუხტულ სხეულებს შორის პოტენციალთა სხვაობის ტოლია. ელექტროსკოპის შიგნით აღიძვრება ელექტრული ველი, რომელიც მხოლოდ ღეროსა და კორპუსს შორის არსებულ პოტენციალთა სხვაობაზეა დამოკიდებული (რადგან გარე ველი ლითონის კორპუსის შიგნით ელექტროსტატიკური დაცვის შედეგად ვერ აღწევს). ღეროსა და კორპუსს შორის პოტენციალთა სხვაობა ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხის მიხედვით განისაზღვრება.



სურ. 15

დედამიწის ელექტრული ველი

დედამიწა დამუხტული გამტარი ბირთვია, რომლის უარყოფითი მუხტი ზედაპირზე თანაბრადაა განაწილებული (სურ. 1). დედამიწა თავის გარშემო ელექტრულ ველს ქმნის, რომლის დაძაბულობის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა დედამიწის ზედაპირთან ახლოს 130 ვ/მ-ია და სიმაღლის ზრდასთან ერთად თანდათან მცირდება: 1 კმ სიმაღლეზე დედამიწის ელექტრული ველის დაძაბულობა მხოლოდ 40 ვ/მ-ია, ხოლო 50 კმ სიმაღლეზე უმნიშვნელო სიდიდით განისაზღვრება. დაახლოებით ამ სიმაღლეზე ატმოსფეროს ფენა დადებითადაა დამუხტული – ეს **იონოსფერო**, რომელიც იონიზირებული მოლეკულებისგან შედგება. სწორედ ატმოსფეროს ამ ფენაში იწყება დედამიწის ელექტრული ველის ძალწირები და დედამიწის ზედაპირზე მთავრდება.



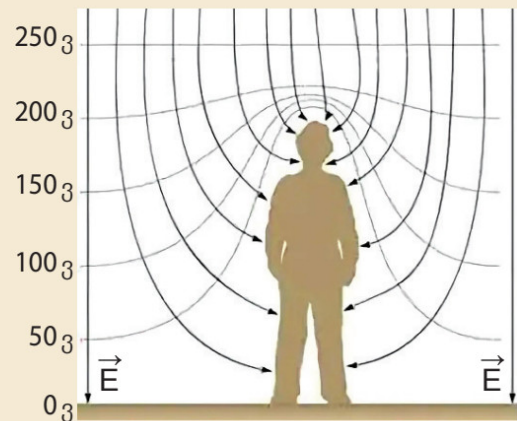
სურ. 1

ასე რომ, დედამიწის დაძაბულობის ვექტორი ქვევითაა მიმართული. **გაიხსენე:** პოტენციალი მცირდება დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებით (იხ. § 2.7), ანუ დედამიწის ზედაპირიდან სიმაღლის ზრდასთან ერთად ელექტრული ველის პოტენციალი მატულობს.

გაიხსენე, რომ $\Delta \varphi = Ed$ და **გამოთვალე** პოტენციალთა სხვაობა დედამიწის ელექტრული ველის იმ ორ წერტილს შორის, რომელთაგან ერთი დედამიწის ზედაპირზეა, ხოლო მეორე – დაახლოებით 170 სმ სიმაღლეზე (ადამიანის საშუალო სიმაღლე).

ამ მარტივი ამოცანის ამოხსნის შემდეგ დარწმუნდები, რომ თითოეული ჩვენგანი ქუჩაში გასვლისას დაახლოებით 220 ვ-ის ძაბვის ქვეშ ხვდება. მაშ, რატომ არ შევიგრძნობთ?

საქმე ის არის, რომ ადამიანი საკმაოდ კარგი გამტარია, ამიტომ, როცა დედამიწის ზედაპირზე ვდგავართ, მასთან ერთად ჩვენ ეკვიპოტენციალურ ზედაპირს ვქმნით (სურ.2): ჩვენი სხეულის ყველა წერტილს ერთი და იგივე პოტენციალი აქვს და ამიტომ პოტენციალთა სხვაობა ტერფსა და თავს შორის ნულის ტოლია.



სურ. 2

გაიხსენე, რომ დედამიწის რადიუსი $6,4 \cdot 10^6$ მ-ია და **გამოთვალე**, რა სიდიდისაა დედამიწის მუხტი.

დედამიწის მუხტის მოდული პრაქტიკულად უცვლელია რეგულარული ატმოსფერული ელექტრული მოვლენების (მაგ., ჭექა-ქუხილის) შედეგად. დედამიწის ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ მუხტებზე კულონური ძალით მოქმედებს. სწორედ ამ ძალის მოქმედებით გადაადგილდება დადებითი მუხტები დედამიწისკენ, ხოლო უარყოფითი მუხტები – ზევით, ღრუბლებისკენ.

შესაძლებელია თუ არა დედამიწის ელექტრული ველის ენერგიის გამოყენება? გაინტერესებს? მოძებნე ინფორმაცია ინტერნეტში, მისამართზე:

<http://bitly.ws/p6hc>

<http://bitly.ws/p6gg>



2.8.1. დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა ელექტრულ ველში

ამოცანა 1

გამოთვალე, რა მუშაობას ასრულებს ძველი თაობის ტელევიზორის კინესკოპში (სურ. 1) ელექტრული ველი, რომლის მოქმედებითაც ელექტრონი აჩქარდება, თუ ცნობილია, რომ ელექტრონის ტრანეპტორიის სანჯის და საბოლოო წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა $U = -10$ კვ-ია (ჩათვალე, რომ კინესკოპში ელექტრონზე მხოლოდ კულონური ძალები მოქმედებს).

სურ. 1

როგორია ელექტრული ველის მიერ ამ დროს შესრულებული მუშაობა: დადებითი თუ უარყოფითი? განსაზღვრე, რა სიჩქარეს შეიძენს ელექტრონი გზის ბოლოს.



უ-3. v

მოც.: $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ კ;

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ კგ

$v_0 = 0$;

$U = -10$ კვ = $-10\,000$ ვ

ამოხსნა

1. ელექტრულ ველში კულონური ძალების მოქმედების შედეგად ელექტრონი აჩქარდა და, შესაბამისად, მისი კინეტიკური ენერგია გაიზარდა (ამოცანის პირობის მიხედვით, ელექტრონზე მხოლოდ კულონური ძალები მოქმედებს). ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული ელექტრული ველის მუშაობა (A) კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$A = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{m_e v_0^2}{2} \quad (1)$$

v_0 – ელექტრონის სანჯისი სიჩქარის მოდულია, v კი – საბოლოო სიჩქარის, m_e – ელექტრონის მასაა;

2. თუ ჩავთვლით, რომ ელექტრონის სანჯისი სიჩქარე (v_0) ნულის ტოლია (იგულისხმება ველის მოქმედების შედეგად აღძრული მიმართული მოძრაობის სანჯისი სიჩქარე), 1-ლი ტოლობა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$A = \frac{m_e v^2}{2} \quad (2)$$

3. გაიხსენე: თუ ცნობილია ორ წერტილს შორის ძაბვა (U), მაშინ ერთი წერტილიდან მეორეში საცდელი q მუხტის ($q = q_e$) გადაადგილებაზე შესრულებული ელექტრული ველის მუშაობა ასე გამოითვლება:

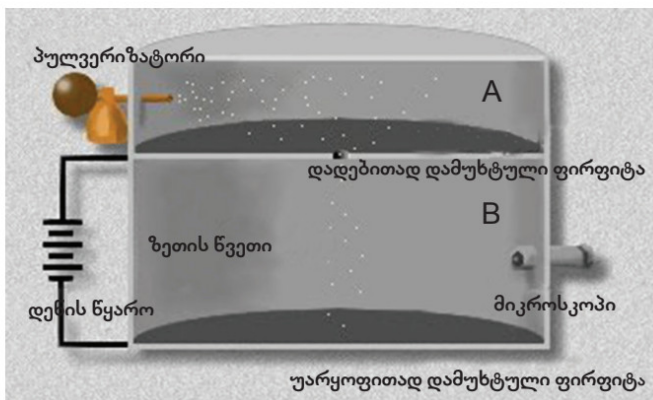
$$A = q_e U \quad (3)$$

4. მე-3-ის გათვალისწინებით, მე-2 ტოლობა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$q_e U = \frac{m_e v^2}{2} \quad (4)$$

5. მე-4 ტოლობიდან კი შეგვიძლია გამოთვალო ელექტრონის სიჩქარე, რომელიც მან ველის მოქმედებით შეიძინა.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგელო: $v = 5,9 \cdot 10^7$ მ/წმ.



სურ. 2

ამოსანა 2

1910-1911 წლებში ამერიკელი ფიზიკოსი რობერტ მილიკენი თავის მოსწავლესთან, ჰარვი ფლეტჩერთან ერთად მუშაობდა ექსპერიმენტზე, რომლის დახმარებითაც მილიკენმა ელექტრონის მუხტი იმ დროისათვის საკმაოდ დიდი სიზუსტით განსაზღვრა (დაახლოებით 1%-ით განსხვავდება დღეს აღიარებული მნიშვნელობისგან).

1923 წელს მილიკენს ნობელის პრემია მიენიჭა ელექტრონის მუხტის განსაზღვრისთვის.

მილიკენმა ცდისთვის ორკამერიანი დანადგარი გამოიყენა (სურ. 2):

ზედა (A) კამერაში პულვერიზატორით ზეთს აშხეფებდა. გაშხეფებისას ზეთის წვეთები ელექტროვდებოდა. დაელექტროვებული წვეთები სიმძიმის ძალის მოქმედებით ვერტიკალურად ქვევით ვარდებოდა და ზოგიერთი მათგანი ზედა კამერის ფსკერზე არსებული ნახვრეტიდან ქვედა (B) კამერაში ხვდებოდა.

ქვედა (B) კამერაში მოთავსებული იყო $d = 1,65$ სმ-ით დამორებული ორი ფირფიტა, რომლებსაც მილიკენი ტოლი და სხვადასხვანიშნიანი მუხტით მუხტავდა: ზედა ფირფიტას დადებითად, ქვედას კი უარყოფითად. თუ ფირფიტებს შორის ელექტრული ველი არ იყო, დამუხტული წვეთები ვერტიკალურად ქვევით ვარდებოდა. ფირფიტებზე პოტენციალთა სხვაობის მოდების შემდეგ უარყოფითად დამუხტული წვეთები ელექტრული ძალის გავლენით მუხრუჭდებოდა.

წვეთებს მილიკენი მიკროსკოპით აკვირდებოდა. ის ერთ რომელიმე წვეთს ირჩევდა და ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობას თანდათან ზრდიდა მანამ, სანამ წვეთი ფირფიტებს შორის უძრავად არ გაჩერდებოდა.

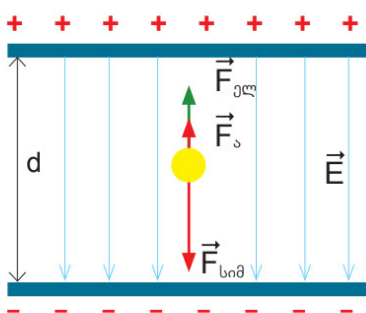
როცა დამუხტულ წვეთზე მოქმედი ელექტრული ძალა მოდულით მისი სიმძიმის ძალას გაუტოლდებოდა, წვეთი ფირფიტებს შორის ჩერდებოდა (ძაბვის მნიშვნელობა U) ამ დროისთვის $7,5$ კვ-მდე აღწევდა).

მიკროსკოპზე დატანილი სკალის საშუალებით მეცნიერი წვეთის რადიუსს ზომავდა ($r = 0,07$ მმ).

ცდის ამ მონაცემებით კი მილიკენი წვეთის q მუხტს ითვლიდა.



გამოთვალე წვეთის მუხტი იმ მონაცემებით, რომლებიც მილიკენის ცდის აღწერილობაშია მოცემული. ცნობილია, რომ ზეთის სიმკვრივე $\rho_1 = 900$ კგ/მ³, კამერაში ჰაერის სიმკვრივე კი $\rho_2 = 1,29$ კგ/მ³. ჰაერის წინააღმდეგობის ძალას ნუ გაითვალისწინებ.



სურ. 3

ამოხსნა

1. გაითვალისწინე: დამუხტულ ფირფიტებს შორის ელექტრულ ველში ვარდნილ წვეთზე მოქმედებს (სურ. 3):

ა) ელექტრული ველის მხრიდან ელექტრული ძალა:

$$F_{\text{ელ}} = Eq = \frac{Uq}{d};$$

ბ) წვეთის სიმძიმის ძალა: $F_{\text{სიმ}} = mg$ ($g = 9,8$ ნ/კგ);

გ) ჰაერის მხრიდან ამომგდები ძალა: $F_{\text{ა}} = \rho_2 V_{\text{წვ}} g$;

2. წვეთი წონასწორობაში იქნება, თუ მასზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედი 0-ის ტოლია. შესაბამისად, წვეთის წონასწორობის პირობაა: $F_{\text{სიმ}} = F_{\text{ელ}} + F_{\text{ა}}$ (1)

3. ჩათვალი, რომ წვეთს სფეროს ფორმა აქვს. ასეთ შემთხვევაში წვეთის მოცულობა გამოითვლება ფორმულით: $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$;

გაიხსენე, როგორ გამოითვლება სხეულის მასა და გამოსახე ზეთის წვეთის მასა სიმკვრივითა და მოცულობით;

4. შეიტანე წონასწორობის პირობაში ძალების მოდულების, მასის გამოსათვლელი გამოსახულებები და გამოსახე წვეთის მუხტი.

შეიტანე სიდიდეთა ცნობილი მნიშვნელობები და გამოთვალე წვეთის მუხტი.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგეღო: $q = \frac{4\pi r^3 dg(\rho_1 - \rho_2)}{3U} \approx 2,4 \cdot 10^{-14} \text{ კ.}$

მილიკენი განმეორებით ცდაში წვეთის მუხტს რენტგენის სხივების ზემოქმედებით ამცირებდა. შედეგად მცირდებოდა წვეთზე მოქმედი ელექტრული ძალა, წონასწორობა ირღვეოდა და წვეთი ისევ ვარდნას იწყებდა. მილიკენი კვლავ ზრდიდა პოტენციალთა სხვაობას, წვეთს აწონასწორებდა და თავიდან ითვლიდა მის მუხტს.

მეცნიერმა შეამჩნია, რომ წვეთის მუხტი ყოველთვის $1,6 \cdot 10^{-19}$ კ-ის ჯერადი იყო. სწორედ ეს იყო ელექტრონის მუხტის აბსოლუტური სიდიდე – ბუნებაში დამოუკიდებლად არსებული ელემენტარული მუხტი, რომლის კიდეც უფრო შემცირება შეუძლებელია. მილიკენის ცდის ანიმაციური სახით ნახვა შეგიძლია ინტერნეტში, მისამართზე: <http://bitly.ws/p6wf>



2.8.2. წერტილოვანი მუხტისა და გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი

წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის პოტენციალის მანძილზე დამოკიდებულების ფორმულის გამოყვანა რთულ მათემატიკურ გარდაქმნებს საჭიროებს, ამიტომ ამ ფორმულას გამოყვანის გარეშე გთავაზობთ:

წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის პოტენციალი ვაკუუმში გამოითვლება ფორმულით:

$$\varphi = k \frac{q}{r} \quad (1)$$

სადაც q ის მუხტია, რომელიც ველს ქმნის (ველის წყარო), ხოლო r მანძილია, რომლითაც q მუხტიდან ველის მოცემული წერტილია დაშორებული.

ϵ დიელექტრიკული შეღწევადობის მქონე გარემოში წერტილოვანი მუხტის პოტენციალის ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

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

პოტენციალი სკალარული სიდიდეა: (1)-ლი ფორმულიდან ჩანს, რომ დადებითი მუხტის ($q > 0$) ველის წერტილთა პოტენციალი დადებითია ($\varphi > 0$), ხოლო უარყოფითი მუხტის ($q < 0$) ველის წერტილთა პოტენციალი – უარყოფითი ($\varphi < 0$).

(1)-ლი ფორმულის გამოყენებისას იგულისხმება, რომ ნულოვან დონედ მიჩნეულია ველის პოტენციალი მუხტიდან უსასრულოდ დაშორებულ წერტილში (როცა $r \rightarrow \infty$, მაშინ $\varphi \rightarrow 0$). ნულოვანი დონის ასე შერჩევა მოსახერხებელია, მაგრამ სავალდებულო არ არის, რადგან, როგორც უკვე იცი, პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს არა პოტენციალს მოცემულ წერტილში, არამედ **პოტენციალის ცვლილებას ორ წერტილს შორის**, რაც ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული აღარ არის.

თუ უსასრულოდ დაშორებული წერტილების პოტენციალს ნულის ტოლად ჩავ-

თვლით, მაშინ წერტილოვანი მუხტის ველის პოტენციალს მარტივი ფიზიკური აზრი ეძლევა: წერტილოვანი მუხტიდან r მანძილზე ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი რიცხობრივად იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ველი სივრცის მოცემული წერტილიდან უსასრულობაში ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს (რადგან, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\varphi_2 = 0$, მაშინ $U = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_1 - 0 = \varphi_1(r) = \frac{A}{q}$).

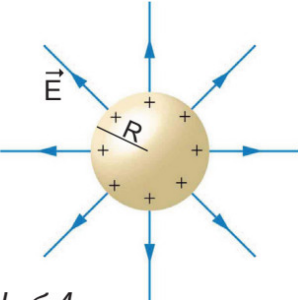
გაითვალისწინე: თუ დამუხტული გამტარი სფეროს (ბირთვის) ზედაპირზე q მუხტი თანაბრადაა განაწილებული, მაშინ სფერო (ბირთვი) ისეთივე ელექტრულ ველს შექმნის სფეროს (ბირთვის) გარეთ, როგორსაც მის ცენტრში მოთავსებული q მუხტი შექმნიდა.

დამუხტული გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტრული ველის პოტენციალი **იმ წერტილებში, რომლებიც სფეროს (ბირთვის) ცენტრიდან რადიუსზე უფრო მეტი მანძილითაა დაშორებული ($r > R$)**, ასევე 1-ლი ფორმულით გამოითვლება:

$$\varphi = k \frac{q}{r} \tag{3}$$

დამუხტული გამტარი სფეროს (ან ბირთვის) შიგნით ($r \leq R$) და ზედაპირზე პოტენციალი ყველა წერტილში ერთნაირია და ასე გამოითვლება:

$$\varphi = k \frac{q}{R} \tag{4}$$



სურ. 4

ამოსანა 3

1 მკვ სიდიდის დადებითი მუხტი იმ სფეროს ზედაპირზე, რომლის რადიუსი 10 სმ-ია, თანაბრადაა განაწილებული (სურ.4). გამოთვალე გარე ძალის მუშაობა, რომელიც სრულდება სფეროს ცენტრიდან 30 სმ-ით დაშორებული წერტილიდან სფეროს ზედაპირზე 10^{-8} კ დადებითი საცდელი მუხტის გადაადგილებისას.

ამოხსნა:



1. გაიხსენე: მუშაობა, რომელსაც ველი ორ წერტილს შორის q მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს, ასე გამოითვლება:

$$A = qU = q (\varphi_1 - \varphi_2) \tag{1}$$

φ_1 – საწყისი წერტილის, ანუ სფეროს ცენტრიდან 30 სმ-ით დაშორებული წერტილის, პოტენციალია;

φ_2 – საბოლოო წერტილის (სფეროს ზედაპირის) პოტენციალია.

ამოცანის პირობიდან ჩანს, რომ დადებითი q მუხტი დაბალი პოტენციალის მქონე წერტილიდან მაღალი პოტენციალის წერტილისკენ გადაადგილდება. ამ დროს მუხტის გადასადგილებლად მუშაობას გარე ძალა ასრულებს. **დაფიქრდი:** რისი ტოლია გარე ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა?

2. გაიხსენე: როგორ გამოითვლება პოტენციალი R რადიუსის მქონე თანაბრად დამუხტული სფეროს

ა) ცენტრიდან r მანძილზე ($r > R$), ანუ φ_1 ; ბ) ზედაპირზე ($r = R$), ანუ φ_2 .

3. გამოთვალე მუხტის საწყისი და საბოლოო მდებარეობების შესაბამის წერტილებში ველის პოტენციალები და განსაზღვრე მუშაობა, რომელიც სფეროს ცენტრიდან 30 სმ-ით დაშორებული წერტილიდან სფეროს ზედაპირზე 10^{-8} კ დადებითი საცდელი მუხტის გადაადგილებისას სრულდება.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგეღო: $A_{\text{გარე}} = 6 \cdot 10^{-4}$ ჯ;



ამოსანა 4

ელექტროსტატიკური მოვლენების გაცნობისას, ალბათ, ხშირად მუხტავდი გაბერილ ბუშტებს თმაზე ხახუნით. გარკვეული მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ბუშტი სფეროა და მის ზედაპირზე სტატიკური მუხტი თანაბრადაა გადანაწილებული (სურ. 5). **ცნობილია, რომ დაელექტროებისას 10 სმ რადიუსის მქონე ბუშტის ზედაპირზე საშუალოდ 0,1 მკვ მუხტი გროვდება. გამოთვალე:**



სურ. 5

- ა) პოტენციალი დამუხტული ბუშტის ზედაპირზე;
- ბ) ენერგია, რომელიც ბუშტის განმუხტვისას ადამიანს გადაეცემა.

ამოხსნა:

1. გამოთვალე დამუხტული ბუშტის პოტენციალი ზედაპირზე, $\varphi(R)$;

შეამოწმე. უნდა მიგელო: $\varphi(R) = 9\,000\text{ ვ}$;

2. თმაზე ხახუნისას დაელექტროებული ბუშტის ზედაპირს საკმაოდ მაღალი, 9000 ვ-ის ტოლი პოტენციალი აქვს. მეტიც, როცა ტანსაცმლის გახდისას ნაპერკალი ჩნდება, ამ დროს თქვენი სხეულის პოტენციალი 10 000-იდან 20 000 ვოლტამდე მერყეობს.

რა სიდიდის ენერგია გამოიყოფა ნაპერწკალში, რომელიც ბუშტის განმუხტვას ახლავს თან?

გამოვთვალოთ ენერგია, რომელიც დაელექტროებული ბუშტის განმუხტვისას ადამიანს გადაეცემა:

განმუხტვისას ბუშტის პოტენციალი მაქსიმალური $\varphi(R)$ მნიშვნელობიდან თანდათან ეცემა ნულამდე, შესაბამისად, ენერგია, რომელიც განმუხტვისას ადამიანს გადაეცემა, ასე გამოითვლება:

$$W = q \cdot \varphi_{\text{საშ}}, \text{ რომელშიც } \varphi_{\text{საშ}} = \frac{\varphi(R) + 0}{2}$$

ანუ,

$$W = q \cdot \varphi_{\text{საშ}} = q \cdot \frac{\varphi(R) + 0}{2} = \frac{q \cdot \varphi(R)}{2} = 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ კ} \cdot 9 \cdot 10^3 \text{ ვ} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ ჯ}.$$

2.8.3. დამუხტულ ნაწილაკთა სისტემის ველის პოტენციალი

პოტენციალი სკალარული სიდიდეა. შესაბამისად, თუ სივრცის რომელიღაც წერტილში ელექტრული ველი რამდენიმე მუხტის ველის ზედდების შედეგად იქმნება, მაშინ ჯამური ელექტრული ველის პოტენციალი თითოეული მუხტის ველის პოტენციალთა **ალგებრული ჯამის** ტოლია: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$

ნებისმიერი სხეული შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც უამრავი წერტილოვანი მუხტის ერთობლიობა (სისტემა). სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე, დამუხტული სხეულის გარშემო არსებული ველის მოცემულ წერტილში პოტენციალი განისაზღვრება იმ პოტენციალთა **ალგებრული** ჯამით, რომლებიც ცალკეული წერტილოვანი მუხტის მიერაა შექმნილი.

ამოსანა 5

$q_1 = 10^{-9}$ კ და $q_2 = -10^{-8}$ კ მუხტებს შორის მანძილი 55 სმ-ია. იპოვეთ დაძაბულობა ველის იმ წერტილში, რომლის პოტენციალი ნულის ტოლია, თუ ცნობილია, რომ ეს წერტილი q_1 და q_2 მუხტებს შორის მათ შემაერთებელ წრფეზე მდებარეობს.



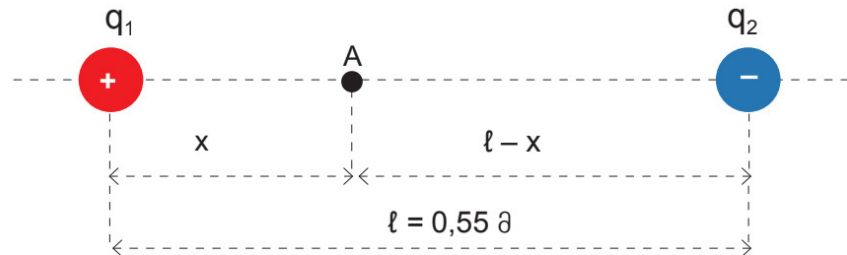
ამოხსნა:

ვთქვათ, A საძიებელი წერტილია (სურ. 6).

1. დააკვირდი ნახაზს და დაფიქრდი, როგორ გამოითვლება A წერტილში:

ა) q_1 მუხტის პოტენციალი (φ_1); ბ) q_2 მუხტის პოტენციალი: (φ_2).

2. სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე, დანერე, როგორ გამოითვლება



სურ. 6

A წერტილში q_1 და q_2 მუხტების ჯამური ველის პოტენციალი (φ) და პირობის თანახმად გაუტოლე ნულს (გაითვალისწინე, რომ დადებითი მუხტის ველის წერტილთა პოტენციალი დადებითია, ხოლო უარყოფითი მუხტის ველის წერტილთა პოტენციალი – უარყოფითი);

ამოხსენი მიღებული განტოლება x -ის მიმართ.

3. გამოსახე გრაფიკულად q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ველების $\vec{E}_1$ და $\vec{E}_2$ დაძაბულობათა ვექტორები A წერტილში.

4. გაიხსენე, როგორ გამოითვლება წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობის მოდული. გაითვალისწინე ველების სუპერპოზიციის პრინციპი და გამოთვალე q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობა A წერტილში (E_A).

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგეღო: $x = 0,05$ მ; $E_A \approx 4 \cdot 10^3$ ნ/კ.

2.8.4. ორი წერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია

შენ იცი, რომ ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული q მუხტის პოტენციური ენერგია გამოითვლება ფორმულით:

$$W = \varphi q \quad (1)$$

სადაც φ ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალია იმ წერტილში, რომელშიც q მუხტია მოთავსებული.

თუ q_2 წერტილოვანი მუხტი q_1 წერტილოვანი მუხტის ელექტრულ ველშია მოთავსებული, მაშინ q_2 მუხტის პოტენციური ენერგია გამოითვლება ფორმულით:

$$W = q_2 \varphi \quad (2)$$

სადაც φ არის q_1 წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის პოტენციალი იმ წერტილში, რომელშიც q_2 მუხტია მოთავსებული:

$$\varphi = k \frac{q_1}{r}, \text{ ე. ი. } W = q_2 \varphi = k \frac{q_1 q_2}{r} \quad (3)$$

ამრიგად, ერთი წერტილოვანი მუხტის პოტენციური ენერგია მეორე წერტილოვანი მუხტის ველში, ანუ

ორი წერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია გამოისახება ფორმულით:

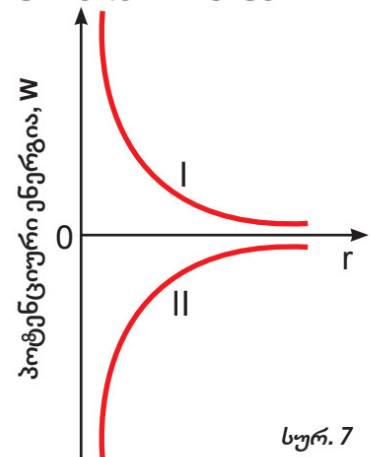
$$W = k \frac{q_1 q_2}{r} \quad (4)$$

მე-4 ფორმულა სამართლიანია ვაკუუმში მოთავსებული მუხტებისთვის. გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობაა ϵ , მე-4 ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$W = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r} \quad (5)$$

თუ q_1 და q_2 მუხტები ერთნაირნიშნაანია, მაშინ მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია დადებითია და მისი მოდული მით უფრო მეტია, რაც ნაკლებია მუხტებს შორის მანძილი, რადგან ამ შემთხვევაში მეტია მუხტების ურთიერთგანზიდვისას კულონური ძალების მიერ მუხტების უსასრულოდ დაშორებაზე შესრულებული მუშაობა (სურ. 7, I).

თუ q_1 და q_2 მუხტები სხვადასხვანიშნაანია, მაშინ მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია უარყოფითია და მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა ნულის ტოლია. ეს მნიშვნელობა მაშინ მიიღება, როცა მუხტებს შორის მანძილი უსასრულოდ იზრდება (თუ $r \rightarrow \infty$, მაშინ $W \rightarrow 0$). რაც უფრო მეტია მუხტებს შორის მანძილი, მით მეტ მუშაობას შეასრულებს მიზიდვის ძალები მუხტების ურთიერთმიახლოებისას (სურ. 7, II).



სურ. 7

ამოცანა 6

პირველ, უძრავ, პროტონს უახლოვდება საკმაოდ დიდი მანძილით დაშორებული მეორე პროტონი, რომელსაც მათი შემაერთებელი წრფის გასწვრივ მიმართული $\vec{V}_0$ სანყისი სიჩქარე მიანიჭეს. გამოთვალე მეორე პროტონის სანყისი სიჩქარის მოდული (V_0), თუ ცნობილია, რომ უმცირესი მანძილი (r_0), რომელზეც ის პირველ პროტონს მიუახლოვდა, 10^{-12} სმ-ის ტოლია. ჩათვალე, რომ ამ ორი პროტონის სისტემა ჩაკეტილია (სხვა სხეულების (ნაწილაკების) ზეგავლენა უმნიშვნელოა).

მოც.: $q_1 = q_2 = q_{\text{პრ}} = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ კ;

$m_1 = m_2 = m_{\text{პრ}} = 1,6 \cdot 10^{-27}$ კგ;

$r_0 = 10^{-12}$ სმ = 10^{-14} მ.

უკ. V_0

ამოხსნა:

1. ამოცანაში მოცემულ პროტონთა სისტემის მდგომარეობა მივიჩნიოთ:

ა) **სანყისად** მაშინ, როცა პირველი პროტონი უძრავია და მეორე პროტონს $\vec{V}_0$ სანყისი სიჩქარე მიანიჭეს (გვ. 114. სურ.8 ა);

ბ) **საბოლოოდ** მაშინ, როცა პროტონებს შორის მანძილი (r_0) უმცირესია (გვ. 114. სურ.8 ბ).

2. იმის გათვალისწინებით, რომ ამოცანაში პროტონთა სისტემას ჩაკეტილად მივიჩნევთ, სისტემის ჯამური იმპულსი და სრული ენერგია ინახება (მუდმივია);

3. **სისტემის ჯამური იმპულსი:**

ა) **სანყის მდგომარეობაში:** $\vec{p}_0 = m_2 \vec{V}_0$ (რადგან პირველი პროტონი სანყის მომენტში უძრავია);

ბ) **საბოლოო მდგომარეობაში:** $\vec{p}_1 = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2$; სადაც $\vec{V}_1$ და $\vec{V}_2$, შესაბამისად, პირველი და მეორე პროტონის სიჩქარეებია სისტემის საბოლოო მდგომარეობაში. პირველი პროტონი კულონური განზიდვის ძალის მოქმედებით სიჩქარეს შეიძენს;

იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად მივიღებთ, რომ

$$m_2 \vec{v}_0 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (1)$$

3. სისტემის სრული ენერგია:

ა) **საწყისი მდგომარეობაში** (E_0) მთლიანად მეორე პროტონის კინეტიკური ენერგიით განისაზღვრება:

$$E_0 = \frac{m_2 v_0^2}{2}$$

რადგან

- პირველი პროტონი უძრავია (ანუ მისი კინეტიკური ენერგია ნულის ტოლია);
- პროტონები საკმაოდ დიდი მანძილითაა დაშორებული ერთმანეთისგან, ამიტომ მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია: $W_0 = 0$;

ბ) **საბოლოო მდგომარეობაში** (E) პროტონების კინეტიკური ენერგიებითა და მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიით განისაზღვრება:

- პროტონები უმცირესი r_0 მანძილითაა დაშორებული ერთმანეთისგან, ამიტომ მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია ასე გამოითვლება:

$$W = k \frac{q_1 q_2}{r_0}$$

- პროტონები მოძრაობენ $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ სიჩქარეებით;

ასე რომ, საბოლოო მდგომარეობაში სისტემის სრული ენერგია ასე გამოითვლება:

$$E = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + k \frac{q_1 q_2}{r_0}$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად მივიღებთ, რომ

$$\frac{m_2 v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + k \frac{q_1 q_2}{r_0} \quad (2)$$

4. პროტონებს შორის ურთიერთგანზიდვის კულონური ძალა პირველ პროტონს სიჩქარეს მიაწევს, ხოლო მეორე პროტონს დაამუხრუჭებს. ნაწილაკებს შორის მანძილი მცირდება მანამ, სანამ მეორე პროტონის სიჩქარე მოდულით პირველი პროტონის სიჩქარეზე მეტია, ანუ სანამ $v_2 > v_1$ (მეორე პროტონი „მისდევს“ პირველს). მანძილი პროტონებს შორის უმცირესი იქნება მაშინ, როცა პროტონების სიჩქარეები ერთმანეთს გაუტოლდება (მათი ფარდობითი სიჩქარე ნულის ტოლია), ანუ როცა $v_2 = v_1$ (ამ მომენტის შემდეგ მანძილი მათ შორის კვლავ გაიზრდება).

5. საბოლოო მდგომარეობაში პროტონთა სიჩქარეები ერთ მხარესაა მიმართული. ავირჩიოთ მოძრაობის OX ღერძი პროტონების შემაერთებული წრფის გასწვრივ (სურ.8 ბ). OX ღერძზე 1-ლი ტოლობის დაგეგმილების შედეგად მივიღებთ:

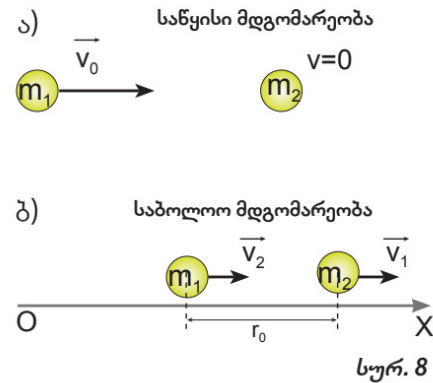
$$m_2 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (3)$$

რადგან $v_2 = v_1$ და $m_1 = m_2$, მე-3 განტოლებიდან მივიღებთ, რომ

$$v_2 = v_1 = \frac{v_0}{2} \quad (4)$$

6. თუ გავითვალისწინებთ მე-4 შედეგს და ამოცანის მოცემულობას, მე-2 ტოლობის გამარტივების შედეგად მივიღებთ, რომ

$$v_0 = 2e \sqrt{\frac{k}{m_{\text{პრო}} r_0}} \approx 7,6 \cdot 10^5 \text{ მ/წმ}$$





1745 წელი. ვერსალის ბრწყინვალე სასახლის დარბაზი. საზეიმო მუნდირში გამოწყობილი, სამეფო კარის ას ოთხმოცი ხელიხელჩაკიდებული გვარდიელი წრეზე დგას და ბრძანებას ელოდება (სურ. 1).

ბრძანებას საფრანგეთის მეცნიერებათა აკადემიის წევრი, აბატი ჟან ანტუან ნოლე იძლევა. ჟან ნოლე საზოგადოებისთვის ცნობილი იყო თავისი საჯარო ექსპერიმენტებით, რომლებიც იდუმალებით მოცულ ელექტრულ მოვლენებს ეფუძნებოდა და XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში ძალიან მოდური იყო.

...ნოლეს ხელში უცნაური ქილა უჭირავს (სურ.2). ეს „ლეიდენის ქილა“, პირველი კონდენსატორი – მოწყობილობა, რომლითაც ელექტრული მუხტის დაგროვებაა შესაძლებელი. ლეიდენის ქილას ოტო გერიკეს მიერ შექმნილი „ელექტრული მანქანით“ მუხტავდნენ და ამ გზით ქილაში საკმაოდ დიდი რაოდენობის მუხტს აგროვებდნენ (სურ. 3). სწორედ ამგვარად დაგროვილი ელექტრობის სადემონსტრაციო ცდას ატარებს აბატი ნოლე ვერსალში...



სურ. 1



სურ. 2



სურ. 3

ექსპერიმენტის მსვლელობას თვით მისი უდიდებულესობა საფრანგეთის მეფე ადვენებს თვალს. აბატის ბრძანებაზე გვარდიელები „ელექტრულ წრედს“ კრავენ: „წრედის“ ერთ ბოლოში მდგარი გვარდიელი ლეიდენის ქილას ხელში იღებს, მეორე ბოლოში მდგარი გვარდიელი კი ქილის საცობში გაყრილ ლურსმანს ეხება... ას ოთხმოცივე გვარდიელს მოულოდნელობისა და გაურკვეველი შეგრძნებისგან ყვირილი აღმოხდება. ყველა მათგანი ძლიერ ელექტრულ დარტყმას იღებს!

ეს იყო გართობის მიზნით ჩატარებული ექსპერიმენტი, რომლის შედეგი ელექტრობის კვლევაში გარდამტეხი გახდა: მეცნიერებს შესაძლებლობა გაუჩნდათ, დაეგროვებინათ ელექტრული მუხტი.

ლეიდენის საოცარი ქილის ამბავმა მთელი ევროპა შეძრა: იმდენად დიდი იყო „ელექტრული ცდებით“ გამოწვეული შთაბეჭდილება, რომ ადამიანები (ისინიც კი, ვინც საკმაოდ შორს იდგა მეცნიერებისგან) ცდილობდნენ, თავიანთ თავზე გამოეცადათ უცხო შეგრძნება ან ენახათ, რა ზეგავლენას ახდენდა ელექტრობა სხვებზე. ხმები „ელექტრული ცდების“ შესახებ სწრაფად გავრცელდა და ევროპიდან ჩრდილოეთ ამერიკაში, ფილადელფიაში, გამოჩენილი მეცნიერისა და საზოგადო მოღვაწის, ბენჯამინ ფრანკლინის ყურამდეც მიაღწია. ფრანკლინი ატმოსფეროში მიმდინარე მოვლენებს შეისწავლიდა და ღრმად სწამდა, რომ „ელვა ბუნების ხელში იგივეა, რაც ელექტრობა – ფიზიკოსთა ხელში“. ფრანკლინმა ელვის დაუფლება და ადამიანის სამსახურში ჩაყე-

ნება გადაწყვიტა. ცხადია, ის ლეიდენის ქილამ ძალიან დააინტერესა, რადგან მისი დახმარებით ატმოსფერული ელექტრობის დაგროვებას შეძლებდა. მან ინგლისიდან ლეიდენის ქილა სპეციალურად გამოიწერა და 1748 წლის გაზაფხულზე ცდების ჩატარებას შეუდგა...

დავალეზა 1. დაამზადე ლეიდენის ქილა.

ამისთვის დაგჭირდება:



მინის ან პლასტმასის პატარა ქილა (ჭიქა) ან პლასტმასის ცილინდრული ბოთლი, 200-იდან 500 მლ-მდე მოცულობის; პლასტმასის თავსახური, რომელიც ქილას მჭიდროდ ერგება; ფოლგა; შემაერთებული გამტარები, რომლებიც საიზოლაციო ფენითაა დაფარული.

I. სამუშაოს შესრულების ეტაპები:

1. გამოჭერი ფოლგისგან ზოლი, რომლის
 - ა) სიმაღლე ქილის (ჭიქის) სიმაღლის 2/3-ია;
 - ბ) სიგანე ქილის გარშემოწერილობის ტოლია.
2. შემოაკარი ქილას მჭიდროდ ფოლგისგან გამოჭრილი ზოლი როგორც გარე, ისე შიდა ზედაპირზე (სურ. 4,5);
3. გამოჭერი ფოლგისგან ორი წრე:
 - ა) ერთზე გამტარი სადენი წებოვანი ლენტით მიამაგრე და ფსკერზე ჩააფინე ისე, რომ გამტარის ბოლო ქილის გარეთ გამოდიოდეს. მოარგე ქილას თავსახური;
 - ბ) მეორე წრე ქილას ძირზე გარედან შემოაფინე (სურ. 6).

შენიშვნა: იზოლირებული სადენების ნაცვლად შეგიძლია ფოლგისგან დამზადებული „სადენები“ გამოიყენო: გამოჭერი ფოლგისგან ზოლი (30X50 მმ) და გადაახვიე ისე, რომ წერილი მილი მიიღო. გამოდევენე ჰაერი ფოლგის მილიდან (სურ. 7).

4. მეორე გამტარი სადენი ქილას გარედან, ფოლგით დაფარულ კედელზე, წებოვანი ლენტით მიამაგრე (ან ისე, როგორც ეს მე-10 სურათზე (გვ. 118) გამოსახულ მოდელებზეა);

5. იზოლირებული სადენების ბოლოებს მოაცილე საიზოლაციო ფენა, ისე, რომ დაახლოებით 1 სმ სიგრძის გამტარი „შიშველი“ დარჩეს; ეს უკვე ლეიდენის ქილაა! ლეიდენის ქილის განსხვავებული მოდელების ნახვა შეგიძლია ინტერნეტში მითითებულ მისამართებზე:

<http://bitly.ws/p6Rk> <http://bitly.ws/p6nb>

<http://bitly.ws/p6Rn> <http://bitly.ws/pgCh> <http://bitly.ws/pgCk>



II. დამუხტე ლეიდენის ქილა:

1. გამოიყენე ტრიბოელექტრული მწკრივი (შესაძლოა, შენ მიერ შედგენილი მწკრივიც გამოიყენო, თუ იმუშავე პროექტზე – „ვერსორიუმი“) და დააკვირდი: რომელი ორი მასალის ხახუნის შედეგად შეიძლება მიიღო დიდი მუხტი. აარჩიე დაელექტროების თვალსაზრისით მასალის ყველაზე ეფექტიანი წყვილი, დაელექტროვე ერთმანეთზე ხახუნით;



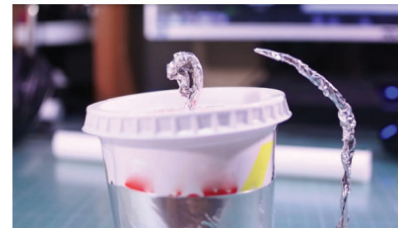
სურ. 4



სურ. 5



სურ. 6



სურ. 7

2. გადაიტანე მოხახუნე სხეულებიდან მუხტი ელექტროფორის დახმარებით ქილის შიდა სადენზე: შეახე მას (გაიმეორე რამდენჯერმე).



III. განმუხტე ლეიდენის ქილა: ქილის გარე და შიდა ზედაპირებზე მიმაგრებული სადენების გაშიშვლებული ბოლოები ერთმანეთს მიუახლოვე (სურ. 8) და დააკვირდი: თუ ქილა სწორად დაამზადე და დამუხტე, მაშინ სადენებს შორის ნაპერწკალი უნდა გაჩნდეს.

შენიშვნა:

- განმუხტვისას ნაპერწკლის მიღებას ჰაერის ტენიანობა ხელს უშლის. ჩაატარე ცდა მშრალ ამინდში (ჰაერის რეკომენდებული ტენიანობაა 50 %);
- ლეიდენის ქილა დამუხტვისას აუცილებლად უნდა დაამინო: ხელი მოჰკიდე ქილას ან მისი გარე შემონაფენი სადენით „მინასთან“ შეაერთე.

IV. დაფიქრდი:

1. დააკვირდი მე-3 სურათს (გვ.115): ექსპერიმენტატორს ლეიდენის ქილა (მინის ჭურჭელი, რომელშიც წყალი ასხია) ხელში უჭირავს. როგორ იმუხტება ამ დროს მინის ჭურჭელი, რომელსაც შემონაფენები არ აქვს (ისეთი, როგორიც შენ მიერ დამზადებულ ქილას აქვს)? რის როლშია „ხელი“, „წყალი“ და ჭურჭლის „მინის კედელი“?

2. ლეიდენის ქილის დამზადებისას გაითვალისწინე, რომ შეგიძლია შიდა ამონაფენი მარილის წყალხსნარით ჩაანაცვლო (სურ.9). ახსენი, რატომ იქცევიან ასე?

დავალემა 2. გამოთვალე შენ მიერ დამზადებული ლეიდენის ქილის ელექტროტევადობა.

შენიშვნა:

1. მე-2, მე-3 და მე-4 დავალებების შესრულებას 2.9 და 2.10 პარაგრაფების დამუშავების შემდეგ შეძლებ.

2. შენ მიერ დამზადებული ლეიდენის ქილა თითქმის ცილინდრული კონდენსატორია. მისი ტევადობის გამოსათვლელად შეგიძლია ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობის გამოსათვლელი ფორმულა გამოიყენო (თუ შემონაფენებს შორის მცირე მანძილია). გამოთვლის შედეგი შეგიძლია შეამოწმო მულტიმეტრით, რომელსაც ელექტროტევადობის საზომი ფუნქცია აქვს.

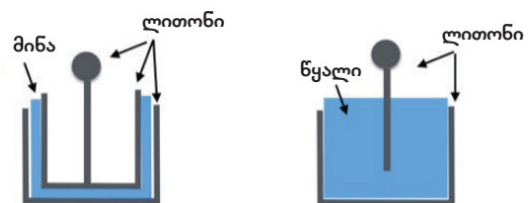
დავალემა 3. გამოთვალე ელექტრული ენერგიის ის მარაგი, რომლის დაგროვებაც შენ მიერ დამზადებულ ლეიდენის ქილას შეუძლია.

შენიშვნა: დაგჭირდება ძაბვის იმ მნიშვნელობის ცოდნა, რომელიც ქილის შემონაფენებს (ანუ შიდა და გარე სადენებს) შორისაა.

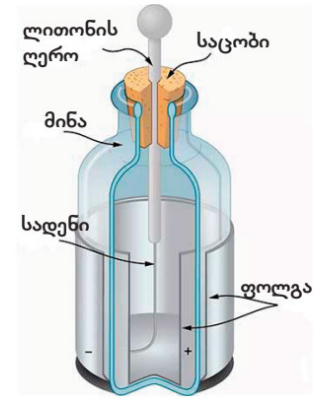
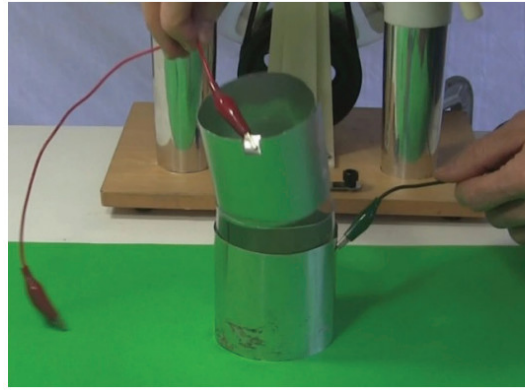
1. **გაარკვიე:** რა სიდიდის ძაბვა უნდა არსებობდეს ჰაერში მოთავსებულ 1 სმ-ით დაშორებულ ორ გამტარს შორის, რომ ჰაერის „გარღვევა“ მოხდეს, ანუ ნაპერწკალი გაჩნდეს;



სურ. 8



სურ.9



სურ. 10. ლეიდენის ქილის განსხვავებული მოდელები

2. განსაზღვრე შენ მიერ მიღებული ნაპერწკლის სიგრძე (შიდა და გარე სადენების ბოლოებს (განმუხტვლებს) შორის მანძილი) და პროპორციულად გამოთვალე დაბვა, რომელიც ქილის განმუხტვისას მის შემონაფენებს შორის არსებობს.

დავალება 4. დაამზადე ლეიდენის ორი ქილა და შექმენი ბატარეა:

1. შეაერთე ლეიდენის ქილები ა) მიმდევრობით; ბ) პარალელურად;
2. შეადარე ნაპერწკალი, რომელიც ერთი ქილის განმუხტვისას წარმოიქმნება, იმ ნაპერწკალს, რომელსაც ბატარიის განმუხტვა მოგცემს;
3. იმსჯელე, როგორ იცვლება ელექტროტევადობა მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული ქილების შემთხვევაში.

წარმოადგინე შენ მიერ შექმნილი ლეიდენის ქილა და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. ლეიდენის ქილის შექმნის ეტაპების დაწვრილებითი აღწერილობა;
2. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამოწვეული, რა შედეგი მოჰყვება), რომლებსაც „ქილის“ მოქმედება ეფუძნება;
3. რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება ლეიდენის ქილაში მიმდინარე პროცესი და რა კავშირია მათ შორის: მაგ., რაზეა დამოკიდებული
 - ა) ქილის ელექტროტევადობა?
 - ბ) ქილის მიერ დაგროვილი მუხტი?
 - გ) ქილის მიერ დაგროვებული ელექტრული ენერგიის რიცხვითი მნიშვნელობა? როგორია თითოეულ შემთხვევაში დამოკიდებულების ხასიათი (აღწერე დიაგრამებით);
4. რა კავშირია კონდენსატორის ენერგიასა და მისი განმუხტვისას ელექტრული ველის მიერ შესრულებულ მუშაობას შორის;
5. რა გამოყენება აქვს თანამედროვე ტექნოლოგიებში ლეიდენის ქილას;
6. უსაფრთხოების რა ზომები უნდა დავიცვა ლეიდენის ქილის (კონდენსატორის) გამოყენებისას;

პროექტზე მუშაობაში დაგეხმარება მასალები, რომლებიც ინტერნეტშია განთავსებული მისამართებზე:

<http://bitly.ws/p6Rm>

<http://bitly.ws/p6Rg>

<http://bitly.ws/p6Ri>



2.9.1. ელექტროსტატიკა

შენ უკვე იცი, რომ ელექტრულ ველს მუშაობის შესრულების უნარი აქვს, ანუ ელექტრულ ველს აქვს ენერგია. ელექტრული ველის ენერგიის გამოყენება რომ შევძლოთ, მისი დაგროვება უნდა ვისწავლოთ, მაგრამ როგორ დავაგროვოთ ელექტრული ენერგია? მოდი, ჩავატაროთ ცდები და დავაკვირდეთ, რა პირობებში გროვდება გამტარ სხეულზე დიდი ელექტრული მუხტი.



ცდა I



ცდისთვის საჭიროა: ელექტროსტატიკური მანქანა (სურ. 1).



1. დააშორე ელექტროსტატიკური მანქანის გამტარი ბურთულები ერთმანეთს დაახლოებით 1 სმ-ის ტოლ მანძილზე;
2. მოიყვანე მანქანა მოძრაობაში: აბრუნე მისი სახელური.

ელექტროსტატიკური მანქანის ელექტროფორები ბრუნვისას მოდულით ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტით იმუხტება. ელექტროფორებიდან მუხტი გამტარ ბურთულებს გადაეცემა და მათ შორის პოტენციალთა სხვაობა (ძაბვა) აღიძვრება. ელექტროფორების შემდგომი ბრუნვისას ბურთულებზე გადაცემული მუხტის მოდული იზრდება და, შესაბამისად, იზრდება მათ შორის ძაბვაც.

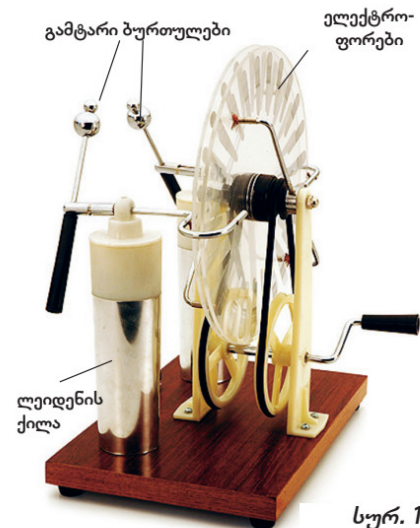
ძაბვის გადიდებით ბურთულებს შორის ელექტრული ველი ძლიერდება. ძლიერ ელექტრულ ველში (დიდი ძაბვის დროს) დიელექტრიკი (ამ შემთხვევაში, ჰაერი) გამტარი ხდება. ამ მოვლენას **დიელექტრიკის „გარღვევა“** უწოდებენ. ბურთულებს შორის ჰაერის გარღვევისას ნაპერწკალი გახტება და ბურთულები განიმუხტება. თუ ოთახში, სადაც ექსპერიმენტს ატარებ, ჰაერი მშრალია (ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 50%-ს), ნაპერწკალი მხოლოდ მაშინ ჩნდება, როცა ბურთულებს შორის ძაბვა 1სმ-ზე 30 კვ-ის რიგისაა!

დააშორე ბურთულები დაახლოებით 4 სმ-ის ტოლი მანძილით. ჰაერის „გარღვევა“ ასეთ შემთხვევაში მაშინ ხდება, როცა ძაბვა ბურთულებს შორის დაახლოებით 120 კვ-ია. დააკვირდი ელექტროსტატიკური მანქანის მოქმედებას ვიდეოზე: <http://bitly.ws/oY62>



ორ გამტარს შორის ძაბვა (U) პროპორციულია იმ მუხტის სიდიდისა (q -სი), რომელიც თითოეულ მათგანზე გროვდება (ერთზე $+q$ მუხტი, მეორეზე კი $-q$ გროვდება), ამიტომ **ერთ-ერთი გამტარის მუხტის (მისი აბსოლუტური სიდიდის) შეფარდება გამტარებს შორის არსებულ ძაბვასთან მუხტის მოდულზე დამოკიდებული არ არის**. ის მხოლოდ გამტართა გეომეტრიული ზომებით, მათი ფორმითა და ურთიერთგანლაგებით განისაზღვრება (ასევე დამოკიდებულია გარემოს ელექტრულ თვისებებზე, მის დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე).

ორი გამტარის მიერ ელექტრული მუხტის დაგროვების უნარს ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც **ელექტროტევადობა** ჰქვია.



სურ. 1

ელექტროტევადობა C ასოთი აღინიშნება და გამოითვლება ფორმულით:

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

რომელშიც q ერთ-ერთი გამტარის მუხტის აბსოლუტური სიდიდეა, ხოლო U ამ გამტარსა და მეზობელ გამტარს შორის არსებული პოტენციალთა სხვაობაა (ძაბვა).

დააკვირდი 1-ლ ფორმულას: რაც უფრო ნაკლები ძაბვა აღიძვრება ორ გამტარს შორის მათზე მუხტის დაგროვებისას, მით მეტია გამტართა ელექტროტევადობა, მით უფრო დიდი მუხტის დაგროვება შესაძლებელი მათზე ისე, რომ არ მოხდეს ჰაერის „გარღვევა“ (ანუ გამტართა განმუხტვა).

2.9.2. ელექტროტევადობის ერთეულები

ელექტროტევადობის ერთეული SI-ში 1 ფარადია (ფ): $[C]_{SI} = \frac{[q]}{[U]} = \frac{1 \text{ კ}}{1 \text{ ვ}} = 1 \text{ ფ.}$

ორი გამტარის ელექტროტევადობა 1 ფარადია, თუ მათ შორის 1 ვ პოტენციალთა სხვაობა მაშინ აღიძვრება, როცა გამტარებზე +1 და -1 კ მუხტი გროვდება.

შენ იცი, რომ 1 კ მუხტი ძალიან დიდი სიდიდეა, შესაბამისად ძალიან დიდია 1 ფ ელექტროტევადობაც, ამიტომ პრაქტიკაში გამოიყენება ელექტროტევადობის გაცილებით მცირე ერთეულები:

1 მიკროფარადი (მკფ) = 10^{-6} ფ.

1 ნანოფარადი (ნფ) = 10^{-9} ფ.

1 პიკოფარადი (პფ) = 10^{-12} ფ.

2.9.3. კონდენსატორი

ცნობილია, რომ დიდი ელექტროტევადობა აქვს ორი გამტარის ერთობლიობას (სისტემას), რომელთა შორის დიელექტრიკის ფენაა (ფენის სისქე გამტარის ზომებთან შედარებით მცირეა). გამტართა ასეთ სისტემას კონდენსატორი ჰქვია, თავად გამტარებს კი – კონდენსატორის შემონაფენები. ლეიდენის ქილა კონდენსატორია, ანუ მოწყობილობა, რომელიც მუხტისა და, შესაბამისად, ელექტრული ენერგიის დასაგროვებლად გამოიყენება. ლეიდენის ქილაში შემონაფენების როლში ფოლგის გამტარი ფირფიტებია (ან ფოლგა და მარილწყალი, ან ხელი და წყალი), ხოლო მინის ჭურჭელი – დიელექტრიკია შემონაფენებს შორის (იხ. პროექტი №5).

სასკოლო ლაბორატორიაში უმეტესად უმარტივესი ტიპის ბრტყელ კონდენსატორს (ნახ. 2) ვიყენებთ, რომელიც ლითონის ორი პარალელური ბრტყელი ფირფიტისგან (შემონაფენისგან) შედგება. შემონაფენებს შორის მანძილი მათ ზომებთან შედარებით მცირეა და ისინი ერთმანეთისგან დიელექტრიკის (ჰაერის) ფენითაა გამოყოფილი (ბრტყელი კონდენსატორის გარდა, არსებობს სფერული და ცილინდრული კონდენსატორებიც).

კონდენსატორს მუხტავენ: მის შემონაფენებს მოდულით ტოლ და საპირისპირო ნიშნის (+q და -q) მუხტებს ანიჭებენ. ამისათვის კონდენსატორის შემონაფენებს ელექტროფორული მანქანის (ან აკუმულატორის) სხვადასხვა პოლუსს უერთებენ (სურ. 3).

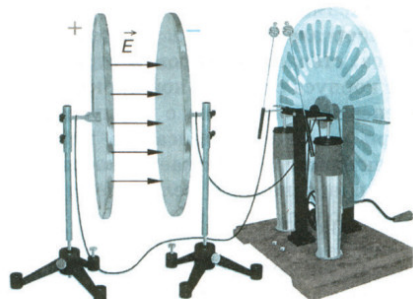
ერთ-ერთი შემონაფენის მუხტის აბსოლუტურ სიდიდეს კონდენსატორის მუხტი ჰქვია.

1 კონდენსატორის დამუხტვა სხვა გზითაცაა შესაძლებელია:

1. კონდენსატორის ერთ შემონაფენს ელექტროფორული მანქანის ერთ-ერთ



სურ. 2



სურ. 3

პოლუსს უერთებენ, ხოლო მეორე შემონაფენს ამიწებენ, ანუ ისეთ გამტარ სხეულს უერთებენ, რომელიც დედამიწასთანაა დაკავშირებული (ელექტროფორული მანქანის მეორე პოლუსიც დამიწებულია).

2. დაელექტრობულ სხეულს (მაგ., ებონიტის ან მინის ღეროს) კონდენსატორის ერთ-ერთ შემონაფენს შეახებენ, ხოლო მეორე შემონაფენს ამიწებენ.

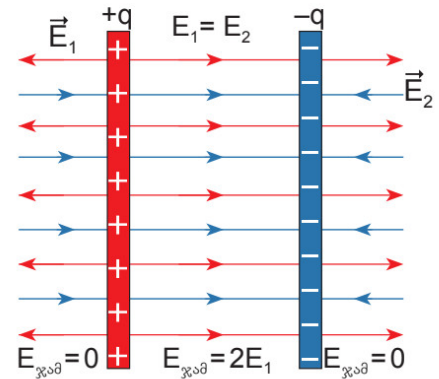
თუ კონდენსატორის შემონაფენების მუხტი მოდულით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო, მაშინ კონდენსატორის მთელი ელექტრული ველი შემონაფენებს შორისაა თავმოყრილი. დააკვირდი მე-4 სურათს: $\vec{E}_1$ დადებითი ფირფიტის ველის დაძაბულობაა, ხოლო $\vec{E}_2$ – უარყოფითი ფირფიტის ველისა.

დადებითი და უარყოფითად დამუხტული შემონაფენების ველების დაძაბულობები მოდულით ტოლია, ხოლო მიმართულებით:

ა) საპირისპიროა შემონაფენების გარეთ, ამიტომ შემონაფენების გარეთ ჯამური ველი ნულის ტოლია;

ბ) ერთნაირია შემონაფენებს შორის, ამიტომ შემონაფენებს შორის ჯამური ველის დაძაბულობის მოდული ორჯერ უფრო მეტია, ვიდრე თითოეული შემონაფენის ველის დაძაბულობისა: $E = 2E_1$.

გარემომცველი დამუხტული სხეულების ველები კონდენსატორის შიგნით თითქმის ვერ აღწევს და შემონაფენებს შორის პოტენციალთა სხვაობაზე გავლენას ვერ ახდენს.



სურ. 4

2.9.4. კონდენსატორის ელექტროტევადობა

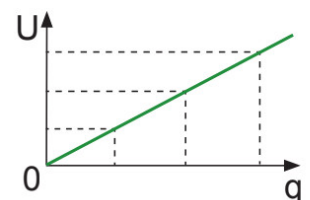


2 ააგე კონდენსატორის ძაბვის მუხტზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ჩაატარე ცდები ვირტუალურ ლაბორატორიაში: <http://bitly.ws/pnHe>

კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვა კონდენსატორის მუხტის პროპორციულია (სურ.5). კონდენსატორის მუხტის შეფარდება ფირფიტებს შორის არსებული ძაბვის მოდულთან კონდენსატორის ელექტროტევადობაა – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც არც მუხტზე და არც ძაბვაზე დამოკიდებული არ არის და გამოითვლება 1-ლი ფორმულით:

$$C = \frac{q}{U}$$

(1)



სურ. 5

1-ლი ფორმულიდან ჩანს, რომ:

1. კონდენსატორის მუხტი გამოითვლება ფორმულით: $q = C U$ (2)

ე. ი. თუ სხვადასხვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვა ერთნაირია, იმ კონდენსატორით, რომლის ელექტროტევადობაც უფრო მეტია, უფრო მეტი მუხტის დაგროვებაა შესაძლებელი.

2. ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის გამოითვლება ფორმულით:

$$U = \frac{q}{C}$$

(3)

რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ სხვადასხვა კონდენსატორის მუხტი ერთნაირია, მაშინ მათ შემონაფენებს შორის ძაბვა განსხვავებული იქნება: მეტი ძაბვა აღიძვრება იმ კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, რომლის ელექტროტევადობაც ნაკლებია.

რაზეა დამოკიდებული კონდენსატორის ელექტროტევადობა? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩავატაროთ ცდები. ცდებისთვის შეგიძლია გამოიყენო როგორც რეალური, ისე ვირტუალური ლაბორატორია: <http://bitly.ws/pnHe>



2.9.5. რაზეა დამოკიდებული ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა?

II - IV ცდებისთვის საჭიროა: ბრტყელი კონდენსატორი, ელექტრომეტრი დამინებული კორპუსით, შემაერთებული გამტარები.

მოსამზადებელი სამუშაო: კონდენსატორის შემონაფენებს შორის პოტენციალთა სხვაობის გასაზომად კონდენსატორის ერთი შემონაფენი ელექტრომეტრის კორპუსს მიუერთე, ხოლო მეორე მის ღეროს: ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხის მიხედვით შესაძლებელია ფირფიტებს შორის ძაბვის ცვლილებაზე დაკვირვება. დამუხტე კონდენსატორი.



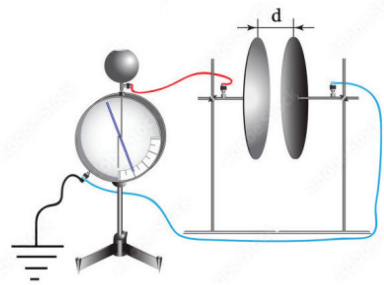
ცდა II



1. გაზარდე დამუხტული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მანძილი (სურ. 6) და დააკვირდი ელექტრომეტრის ჩვენებას: შეიცვალა თუ არა ფირფიტებს შორის ძაბვა?

2. დაფიქრდი: რამ გამოიწვია ძაბვის ცვლილება, როცა კონდენსატორის მუხტი უცვლელია?

3. გამოიტანე დასკვნა: დამოკიდებულია თუ არა კონდენსატორის ელექტროტევადობა შემონაფენებს შორის მანძილზე? როგორია ეს დამოკიდებულება?



სურ. 6

ცდა III



1. გადაადგილე დამუხტული კონდენსატორის ერთი შემონაფენი მეორის მიმართ ისე (სურ. 7), რომ

ა) შემონაფენებს შორის მანძილი არ შეიცვალოს;

ბ) შემონაფენების მიერ ერთმანეთის გადაფარვის ფართობი შემცირდეს.

2. დააკვირდი ელექტრომეტრის ჩვენებას: რამ გამოიწვია ძაბვის ცვლილება, როცა კონდენსატორის მუხტი უცვლელია?

3. გამოიტანე დასკვნა: დამოკიდებულია თუ არა კონდენსატორის ელექტროტევადობა შემონაფენების მიერ ურთიერთგადაფარვის ფართობზე? როგორია ეს დამოკიდებულება?



სურ. 7

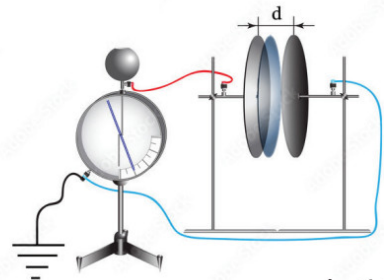
ცდა IV



1. შეიტანე დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის თხელი ფენა (მაგ., ორგანული მინის ფირფიტა) (სურ. 8).

2. დააკვირდი ელექტრომეტრის ჩვენებას: რამ გამოიწვია ძაბვის ცვლილება, როცა კონდენსატორის მუხტი უცვლელია (გაიხსენე, როგორ იცვლება ელექტრული ველი დიელექტრიკში)?

3. გამოიტანე დასკვნა: დამოკიდებულია თუ არა კონდენსატორის ელექტროტევადობა შემონაფენებს შორის გარემოს დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე? როგორია ეს დამოკიდებულება?



სურ. 8

II-IV ცდების შედეგები გვაძლევს საშუალებას, დავასკვნათ, რომ ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა დამოკიდებულია:

ა) შემონაფენებს შორის მანძილზე (d): რაც მეტია შემონაფენებს შორის მანძილი, მით ნაკლებია ელექტროტევადობა;

ბ) შემონაფენების S ფართობზე (უფრო სწორად კი შემონაფენების ურთიერთგადაფარვის ფართობზე): რაც მეტია ფართობი, მით მეტია ელექტროტევადობა;

გ) იმ გარემოს დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე, რომელიც ფირფიტებს შორისაა (ϵ): რაც მეტია დიელექტრიკული შეღწევადობა (ϵ), მით მეტია კონდენსატორის ელექტროტევადობა. კონდენსატორის ელექტრული ველის დაძაბულობა (შესაბამისად, დაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის) დიელექტრიკში ϵ -ჯერ მცირდება (ცხადია, თუ შემონაფენებს შორის მანძილი უცვლელია). ეს იმას ნიშნავს, რომ კონდენსატორის ტევადობა ϵ -ჯერ გაიზრდება.

ეს დამოკიდებულება მათემატიკურად ასე გამოისახება:
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (4)$$

სადაც C – ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა;

ϵ_0 – ელექტრული მუდმივა, $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ კ}^2/\text{ნმ}^2$;

ϵ – იმ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც შემონაფენებს შორისაა;

S – თითოეული შემონაფენის ფართობია (შემონაფენების ურთიერთგადაფარვის ფართობი);

d – ფირფიტებს შორის მანძილია.

2.9.6. დამუხტული კონდენსატორის ენერგია

კონდენსატორის დამუხტვისას სრულდება მუშაობა დადებითი და უარყოფითი მუხტების გაცალკევებაზე. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ეს მუშაობა კონდენსატორის მიერ დაგროვებული ენერგიის ტოლია. დამუხტულ კონდენსატორს რომ ენერგია ნამდვილად აქვს, ამაში მარტივი ცდით დარწმუნდები:



სურ. 9

შემაერთებელი სადენების საშუალებით დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს პატარა ნათურა მიუერთე (სურ. 9). ნათურა მყისიერად გაანათებს. როგორ ფიქრობ, რომელი ენერგიის ხარჯზე აინთო ნათურა?

დამუხტვისას კონდენსატორში ელექტრული ენერგია გროვდება. განმუხტვისას კი დაგროვებული ელექტრული ენერგიის ხარჯზე კონდენსატორის ველი მუხტის გადაადგილებაზე მუშაობას ასრულებს:

$$\Delta W_{\text{ელ}} = A_{\text{ველი}} \quad (5)$$

კონდენსატორის მიერ დაგროვებული ელექტრული ენერგია სხვადასხვა ფორმის ენერგიად გარდაიქმნება (მაგ., მექანიკურ, სითბურ, სინათლის ენერგიად).

რაზეა დამოკიდებული კონდენსატორის მიერ დაგროვებული ელექტრული ენერგიის რიცხვითი მნიშვნელობა? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად გამოვთვალოთ მუშაობა, რომელსაც განმუხტვისას იმ კონდენსატორის ველი ასრულებს, რომლის მუხტია q , ხოლო შემონაფენებს შორის დაბვა U -ს ტოლია.

ველის მუშაობა გამოითვლება ფორმულით:

$$A_{\text{ველი}} = q U_{\text{საშ}} \quad (6)$$

რომელშიც $U_{\text{საშ}}$ დაბვის საშუალო მნიშვნელობაა შემონაფენებს შორის. განმუხტვისას დაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მუდმივი არ არის. ის მუხტის მიხედვით

წრფივად იცვლება (მცირდება U -დან 0 -მდე), ამიტომ მუშაობის გამოთვლისას ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაა:

$$U_{\text{საშ}} = \frac{U + 0}{2} = \frac{U}{2} \quad (7)$$

მე-6 და მე-7 ფორმულების გათვალისწინებით მე-5 ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\Delta W_{\text{ელ}} = A_{\text{ველი}} = \frac{qU}{2} \quad (8)$$

თუ მე-8 ფორმულაში გავითვალისწინებთ, რომ

$$\text{ა) } q = CU, \text{ მივიღებთ: } W_{\text{ელ}} = \frac{CU^2}{2} \quad (9);$$

$$\text{ბ) } U = \frac{q}{C}, \text{ მივიღებთ: } W_{\text{ელ}} = \frac{q^2}{2C} \quad (10)$$

ასე რომ, დამუხტული კონდენსატორის ენერგია, ანუ ის ელექტრული ენერგია, რომლის დაგროვებაც კონდენსატორის საშუალებითაა შესაძლებელი, გამოითვლება მე-8, მე-9 და მე-10 ფორმულებით (სამივე ფორმულა სამართლიანია არა მარტო ბრტყელი, არამედ ნებისმიერი კონდენსატორის ენერგიის გამოსათვლელად).

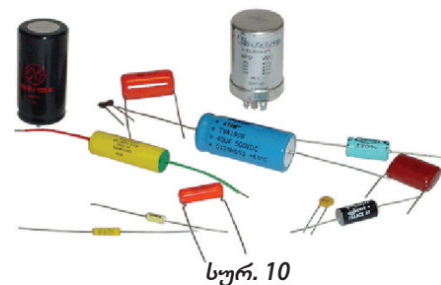
2.9.7. კონდენსატორების ტიპები და მათი გამოყენება

კონდენსატორები სხვადასხვაგვარია (სურ. 10): ჰაერიანი, ქაღალდის, ელექტროლიტური, კერამიკული და სხვ. როგორც მათი დასახელებებიდან ჩანს, კონდენსატორების ტიპი განისაზღვრება იმ დიელექტრიკით, რომელიც მის ფირფიტებს შორისაა.

რადიოტექნიკაში ხშირად იყენებენ ცვლადი ტევადობის კონდენსატორებს (სურ. 11). ასეთ კონდენსატორებში ტევადობა ფირფიტების ურთიერთმდებარეობის ცვლილებით რეგულირდება: თუ ფირფიტების მიერ ერთმანეთის გადაფარვის ფართობი იზრდება, იზრდება კონდენსატორის ტევადობა, ხოლო თუ გადაფარვის ფართობი მცირდება, მცირდება ელექტროტევადობაც.

ჩვეულებრივ, კონდენსატორების ენერგია ძალიან დიდი არ არის (არა უმეტეს ასეული ჯოულისა) და ამასთან, მუხტის გარდაუვალი კარგვის გამო კონდენსატორის ენერგია დიდხანს არ ინახება. ამიტომ კონდენსატორს არ შეუძლია ენერგიის ისეთი წყარო შეცვალოს, როგორიცაა, მაგ., აკუმულატორი. მიუხედავად ამისა, როგორც ენერგიის დამგროვებლები, კონდენსატორები პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება. დიდი ელექტროტევადობის კონდენსატორს შეუძლია დააგროვოს ან გასცეს დიდი მუხტი ძაბვის მნიშვნელოვნად ცვლილების გარეშე.

კონდენსატორს ერთი მნიშვნელოვანი თვისება აქვს: განმუხტვისას ის მყისიერად იძლევა ენერგიას. სწორედ კონდენსატორის ეს თვისება უდევს საფუძვლად ფოტოაპარატის მფეთქავი ნათურისა და სტრობოსკოპის მოქმედების პრინციპს. ფოტოგრაფი წინასწარ მუხტავს დიდი ელექტროტევადობის კონდენსატორების ბატარეას, რომელთა განმუხტვის დენით ფოტოგრაფირების მომენტში მფეთქავი მძლავრი ნათურა იკვებება. სტრობოსკოპი ისევე მუშაობს, როგორც მფეთქავი ნათურა. ელექტრონული სქემა ყოველი განმუხტვის შემდეგ კონდენსატორს ხელახლა მუხტავს, რის გამოც ნათურა დროის ტოლი შუალებების შემდეგ ერთმანეთის მიყოლებით ინთება და ფოტოგრაფირება ხდება.



სურ. 10



სურ. 11

2.10.1. გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტროტევადობა

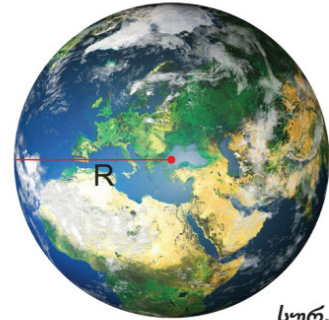


ამოსანა 1

გამოთვალე დედამიწის ელექტროტევადობა.

ამოხსნა:

1. სანამ დედამიწის ელექტროტევადობას გამოვთვლით, მივიღოთ ფორმულა, რომლითაც დამუხტული გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტროტევადობა გამოითვლება.



სურ. 1

გაითვალისწინე: როცა ერთი გამტარის ელექტროტევადობაზე ვსაუბრობთ, იგულისხმება, რომ ის გაცალკევებულია სხვა გამტარებისგან – მათგან ისეთი მანძილითაა დაშორებული, რომელიც ბევრად აღემატება მის ზომებს. თუ გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტროტევადობას განვიხილავთ, მეორე გამტარის როლს სფეროსგან (ბირთვისგან) დიდი მანძილით დაშორებული სხეული ასრულებს, რომლის პოტენციალიც 0-ის ტოლად მიიჩნევა.

2. გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტროტევადობა გამოითვლება ფორმულით:

$$C_s = \frac{q}{U} = \frac{q}{\varphi_s - \varphi_\infty} = \frac{q}{\varphi_s - 0} = \frac{q}{\varphi_s} \quad (1)$$

(φ_∞ სფეროდან უსასრულოდ დაშორებული სხეულის პოტენციალია, $\varphi_\infty = 0$).

3. გამტარი სფეროს (ბირთვის) პოტენციალი, როცა $r = R$ (R – სფეროს რადიუსია, ხოლო r – დაშორება სფეროს ცენტრიდან), გამოითვლება ფორმულით:

$$\varphi_s = k \frac{q}{R} \quad (2)$$

4. მე-2-ის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ გამტარი სფეროს (ბირთვის) ელექტროტევადობა ასე გამოითვლება:

$$C_s = \frac{q}{U} = \frac{q}{\varphi_s} = \frac{R}{k} \quad (3)$$

დააკვირდი მე-3 ფორმულას: გამტარი ბირთვის (სფეროს) ელექტროტევადობა დამოკიდებულია მხოლოდ მის რადიუსზე. ბირთვის (სფეროს) ელექტროტევადობა მუხტზე დამოკიდებული არ არის!

5. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, მივიღებთ: გამტარი ბირთვის (სფეროს) ელექტროტევადობა გამოითვლება ასეთი ფორმულითაც:

$$C_s = 4\pi\epsilon_0 R \quad (4)$$

6. ჩათვალე, რომ დედამიწა დამუხტული გამტარი ბირთვია, რომლის უარყოფითი მუხტი ზედაპირზე თანაბრადაა განაწილებული. იმ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც დედამიწის გარშემოა, 1-ის ტოლად მიიჩნიე. გამოთვალე დედამიწის ელექტროტევადობა. დედამიწის რადიუსია $R = 6,4 \cdot 10^6$ მ.

შეამოწმე. უნდა მიგელო: $C_\oplus = 700$ მკფ. დააკვირდი: თვით დედამიწის ელექტროტევადობაც კი არ არის 1 ფარადი!

2.10.2. მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეა

ხშირად, საჭიროებიდან გამომდინარე, კონდენსატორებს ერთმანეთთან აერთებენ, რათა მოცემული კონდენსატორების საშუალებით სხვადასხვა ელექტროტექნიკადობის **კონდენსატორთა ბატარეა** მიიღონ. მაგ., კონდენსატორთა ბატარეას ქმნის **მიმდევრობით შეერთებული ორი კონდენსატორი**: ერთი კონდენსატორის უარყოფითად დამუხტულ შემონაფენს მეორე კონდენსატორის დადებითად დამუხტულ შემონაფენთან გამტარით აერთებენ (სურ. 1).



ამოსახედი 2

დამტკიცე, რომ მიმდევრობით შეერთებული ორი კონდენსატორის ბატარეის ელექტროტექნიკადობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

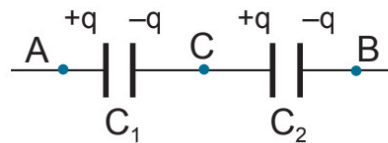
რომელშიც C კონდენსატორთა ბატარეის ელექტროტექნიკადობაა, ხოლო C_1 და C_2 შესაბამისად, პირველი და მეორე კონდენსატორის ელექტროტექნიკადობაა.

დამტკიცება

1. მიმდევრობით შეერთებისას კონდენსატორების მუხტი ერთნაირია (სურ. 1): თუ პირველი კონდენსატორის განაპირა შემონაფენის მუხტია $(+q)$, მაშინ მოპირდაპირე შემონაფენზე გაჩნდება $(-q)$ მუხტი. რადგან გამტარი, რომლითაც კონდენსატორებია შეერთებული, ნეიტრალურია და კონდენსატორებს შორის დამატებით მუხტის წყარო არ არის, მეორე კონდენსატორის შიდა შემონაფენზე $(+q)$ მუხტი აღიძვრება, ხოლო გარე შემონაფენზე $(-q)$.



კონდენსატორის სქემატური აღნიშვნა



სურ. 1

2. მიმდევრობით შეერთებული ბატარეის ბოლოებზე არსებული პოტენციალთა სხვაობაა:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1)$$

3. 1-ლი ტოლობის მარჯვენა მხარეს დავუმატოთ და გამოვაკლოთ φ_C (ამით ტოლობა არ დაირღვევა). გარდაქმნის შედეგად კი მივიღებთ:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B + \varphi_C - \varphi_C = (\varphi_A - \varphi_C) + (\varphi_C - \varphi_B); \quad (2)$$

დააკვირდი: $(\varphi_A - \varphi_C)$ და $(\varphi_C - \varphi_B)$, შესაბამისად, პირველი და მეორე კონდენსატორების შემონაფენებს შორის არსებული U_{AC} და U_{CB} ძაბვებია, ანუ

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} \quad (3)$$

მე-3 ტოლობიდან ჩანს, რომ **ძაბვა მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეის ბოლოებზე (U_{AB}) ტოლია თითოეული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის არსებული ძაბვების (U_{AC} და U_{CB}) ჯამისა.**

4. გაიხსენე: კონდენსატორების შემონაფენებს შორის ძაბვა გამოთვლება ფორმულით: $U = \frac{q}{C}$; თუ გაითვალისწინებ, რომ მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეის მუხტი (q) თითოეული კონდენსატორის მუხტის (q_1 -ისა და q_2 -ის) ტოლია ($q = q_1 = q_2$), მიიღებ, რომ:

$$U_{AB} = \frac{q}{C}; \quad U_{AC} = \frac{q}{C_1}; \quad U_{CB} = \frac{q}{C_2}. \quad (4)$$

შენიშვნა: მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორებზე მუხტი ერთნაირია ($q_1 = q_2$). რაც იმას ნიშნავს, რომ მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორებზე საერთო ძაბვა ელექტროტევადობების უკუპროპორციულად გადანაწილდება:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

5. მე-4 ტოლობების გათვალისწინებით, მე-3 ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} \quad (5)$$

6. მე-5 ტოლობის გამარტივების შედეგად კი მივიღებთ, რომ

მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეის ტევადობა ასე გამოითვლება:

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

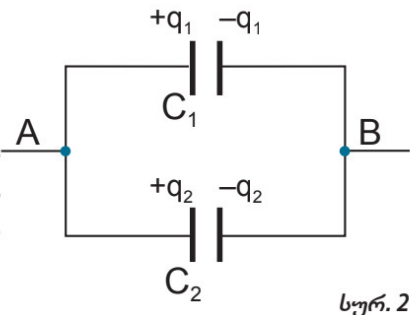
დააკვირდი: კონდენსატორთა მიმდევრობით შეერთებისას ბატარეის ტევადობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ცალ-ცალკე თითოეული კონდენსატორის.

შენიშვნა: მე-6 ტოლობა სამართლიანია ნებისმიერი რაოდენობის მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეისთვის:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots$$

2.10.3. პარალელურად შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეა

კონდენსატორთა ბატარეას ქმნის პარალელურად შეერთებული ორი კონდენსატორი. პარალელურად შეერთებისას კონდენსატორთა ერთნაირნიშნის შემონაფენები ერთმანეთთანაა მიერთებული: ერთი კონდენსატორის დადებითი შემონაფენი მეორის დადებით შემონაფენთანაა გამტარით მიერთებული, ხოლო უარყოფითი შემონაფენი – უარყოფითთან (სურ. 2).



სურ. 2



ამოსანა 3

დაამტკიცე, რომ პარალელურად შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეის ტევადობა გამოითვლება ფორმულით: $C = C_1 + C_2$

გაითვალისწინე: კონდენსატორთა პარალელური შეერთებისას

1. პოტენციალთა სხვაობა თითოეული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ტოლია და იგივეა, რაც ბატარეის ბოლოებზე არსებული ძაბვა:

$$U = U_1 = U_2$$

2. ბატარეის მუხტი კონდენსატორების ჯამური მუხტის ტოლია:

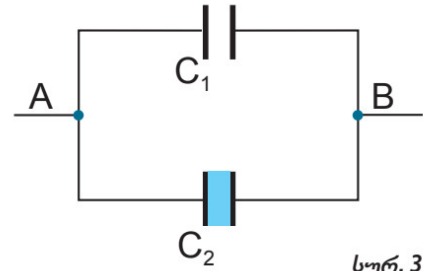
$$q = q_1 + q_2$$

შენიშვნა: პარალელურად შეერთებულ კონდენსატორებზე ძაბვა ერთნაირია ($U_1 = U_2$). რაც იმას ნიშნავს, რომ პარალელურად შეერთებულ კონდენსატორებზე საერთო, ბატარეის მუხტი ელექტროტევადობების პროპორციულად გადანაწილდება: $\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}$. მუხტის გადანაწილება გაგრძელდება მანამდე, სანამ კონდენსატორებზე ძაბვები ერთმანეთს გაუტოლდება.

დააკვირდი: კონდენსატორთა პარალელური შეერთებისას ბატარეის ტევადობა უფრო მეტია, ვიდრე ცალ-ცალკე თითოეული კონდენსატორის.

ამოცანა 4

ბრტყელი ჰაერიანი კონდენსატორი ($\epsilon \approx 1$), რომლის ფირფიტებს შორის ძაბვა $U_1 = 800$ ვ-ია, პარალელურად შეაერთეს ისეთივე დაუმუხტავ კონდენსატორთან, რომლის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკია.



იპოვე დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევა-
ვადობა ϵ , თუ შეერთების შემდეგ პარალელურად შეერთებულ კონდენსატორთა ბატარეის ბოლოებზე ძაბვა $U = 100$ ვ-ის ტოლი გახდა (სურ. 3).

ამოხსნა:

1. გაიხსენე: კონდენსატორის ელექტრული ველის დაძაბულობა (შესაბამისად, ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის) დიელექტრიკში ϵ -ჯერ მცირდება (შემონაფენებს შორის უცვლელი მანძილის დროს). ეს იმას ნიშნავს, რომ კონდენსატორის ტევადობა ϵ -ჯერ გაიზრდება (იგულისხმება, რომ კონდენსატორის მუხტი $q = \text{const}$).

ვთქვათ, ჰაერიანი კონდენსატორის ტევადობაა C_1 , ხოლო დიელექტრიკიანი კონდენსატორისა – C_2 . ცხადია, რადგან კონდენსატორები ერთნაირია, დიელექტრიკიანი კონდენსატორის ტევადობა ϵ -ჯერ აღემატება ჰაერიანი კონდენსატორის ტევადობას:

$$C_2 = \epsilon C_1 \quad (1)$$

2. კონდენსატორთა პარალელურად შეერთების შედეგად მიღებული ბატარეის ტევადობა ასე გამოითვლება:

$$C = C_1 + C_2 = C_1 + \epsilon C_1 = C_1 (1 + \epsilon) \quad (2)$$

3. ვთქვათ, შეერთებამდე დამუხტული კონდენსატორის მუხტი q_1 -ს ტოლია, მაშინ მისი ტევადობა (C_1) მუხტითა (q_1) და ძაბვით (U_1) ასე გამოისახება:

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1} \quad (3)$$

4. მუხტის შენახვის კანონიდან გამომდინარე, **დამუხტული** კონდენსატორის **დაუმუხტავთან** შეერთებით მიღებული ბატარეის მუხტი დამუხტული კონდენსატორის თავდაპირველი მუხტის ტოლია:

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

შესაბამისად, კონდენსატორთა ბატარეის ტევადობა (C) ბატარეის მუხტითა (q) და ბატარეის ბოლოებზე არსებული ძაბვით (U) ასე გამოისახება:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q_1}{U} \quad (5)$$

5. გაითვალისწინე მე-3 და მე-5 გამოსახულებები, შეიტანე მე-2 ტოლობაში. გამოსახე დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ და გამოთვალე.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგეღო: $\epsilon = \frac{U_1}{U} - 1 = 7$

ტესტი №2

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი და ქულა შეესაბამება:

უმარტივესი  - 1 ქულა; მარტივი  - 2 ქულა;

საშუალო სირთულის  - 3 ქულა; რთული  - 4 ქულა.

1. ელექტრულ ველში მოთავსებულ $q = 10^{-6}$ კ მუხტზე 2 ნ სიდიდის ელექტრული ძალა მოქმედებს. რა სიდიდის ძალა იმოქმედებს მუხტზე, თუ ველის დაძაბულობა 3-ჯერ გაიზრდება?

ა) 6 ნ; ბ) 2 ნ; გ) $2/3$ ნ; დ) 4-ჯერ შემცირდება.

2. ელექტრულ ველში, რომლის დაძაბულობის მოდული E_0 -ია, საცდელი დადებითი მუხტი მოათავსეს. როგორ შეიცვლება ველის დაძაბულობის მოდული, თუ საცდელი მუხტის მოდულს 2-ჯერ გავზრდით?

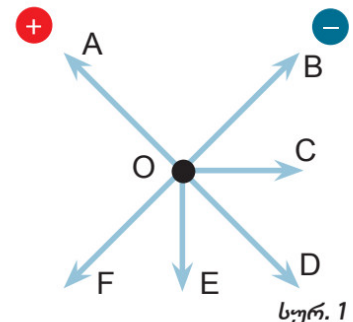
ა) არ შეიცვლება; ბ) 2-ჯერ შემცირდება;
გ) 2-ჯერ გაიზრდება; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.

3. როგორ შეიცვლება წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული A წერტილში, თუ 2-ჯერ გავზრდით როგორც წერტილოვანი მუხტის მოდულს, ისე მანძილს მუხტიდან A წერტილამდე.

ა) არ შეიცვლება; ბ) 2-ჯერ შემცირდება;
გ) 2-ჯერ გაიზრდება; დ) 4-ჯერ შემცირდება.

4. რა მიმართულება აქვს ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორს O წერტილში (სურ. 1), თუ ველს ამ წერტილში ტოლი სიდიდისა და საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტები ქმნის?

ა) OA; ბ) OB; გ) OC; დ) OD; ე) OE; ვ) OF.



სურ. 1

5. რა შეიძლება ითქვას ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის მოდულსა და პოტენციალზე ველის O წერტილში (სურ. 2), თუ ველს ამ წერტილში ორი ტოლი დადებითი მუხტი ქმნის?

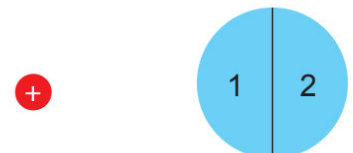
ა) $E = 0$, $\varphi = 0$; ბ) $E = 0$, $\varphi \neq 0$;
გ) $E \neq 0$, $\varphi = 0$; დ) $E \neq 0$, $\varphi \neq 0$.



სურ. 2

6. ლითონის ნეიტრალური ბურთულა დადებითი მუხტის ელექტრულ ველში შეიტანეს. ბურთულა შუაზე გაჭრეს (სურ. 3) და მიღებული ნაწილები დააცალკევეს. რა ნიშნის მუხტითაა ბურთულის თითოეული ნაწილი დამუხტული?

ა) ორივე დადებითად; ბ) ორივე ნეიტრალურია;
გ) 1-ლი უარყოფითად, მე-2 დადებითად;
დ) 1-ლი დადებითად, მე-2 უარყოფითად.

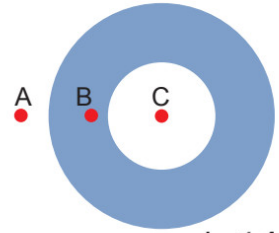


სურ. 3

7. დიელექტრიკის ნეიტრალური ბურთულა დადებითი მუხტის ელექტრულ ველში შეიტანეს და შუაზე გაჭრეს (სურ. 3). რა ნიშნის მუხტითაა ბურთულის თითოეული ნაწილი დამუხტული?

ა) ორივე დადებითად; ბ) ორივე ნეიტრალურია;
გ) 1-ლი უარყოფითად, მე-2 დადებითად; დ) 1-ლი დადებითად, მე-2 უარყოფითად.

8. როგორ შეიცვალა ორ ერთნაირნიშნიან ნერტილოვან მუხტს შორის მანძილი, თუ მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია 9-ჯერ გაიზარდა?
 ა) 3-ჯერ შემცირდა; ბ) 9-ჯერ გაიზარდა; გ) 9-ჯერ შემცირდა; დ) 3-ჯერ გაიზარდა.
9. თანაბრად დამუხტული გამტარი სფეროს რომელ ნერტილშია ელექტრული ველის დაძაბულობა ნულის ტოლი (სურ. 4)?
 ა) A და B; ბ) A და C; გ) B და C; დ) A, B და C.
10. როგორ შეიცვლება ნერტილოვანი უძრავი მუხტების ურთიერთქმედების ძალის მოდული, თუ მუხტებს იმ გარემოდან, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა 7-ის ტოლია, ვაკუუმში გადაიტანენ? მუხტებს შორის მანძილი უცვლელია.
 ა) არ შეიცვლება; ბ) 7-ჯერ გაიზარდება;
 გ) 7-ჯერ შემცირდება; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.
11. ორი ნერტილოვანი უძრავი მუხტი ვაკუუმში და არაგამტარ სითხეში ერთნაირი ძალით ურთიერთქმედებს, თუ მანძილი მათ შორის ვაკუუმში 4 სმ-ია, ხოლო სითხეში – 2 სმ. განსაზღვრე არაგამტარი სითხის დიელექტრიკული შეღწევადობა.
 ა) 8; ბ) 4; გ) 2; დ) 1/4.
12. ბრტყელი ჰაერიანი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის შემონაფენების პარალელურად მინის ფირფიტა შეიტანეს. კონდენსატორისთვის დამახასიათებელი რომელი ფიზიკური სიდიდეები შეიცვლება ამ დროს, თუ ცნობილია, რომ კონდენსატორი დენის წყაროსთან მიერთებული არ არის?
 ა) ელექტროტევადობა, ველის დაძაბულობა და კონდენსატორის მუხტი;
 ბ) ელექტროტევადობა, მუხტი და ძაბვა შემონაფენებს შორის;
 გ) ელექტროტევადობა, დაძაბულობა და ძაბვა; დ) დაძაბულობა, მუხტი და ძაბვა.



სურ. 4

ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით შენ საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 3		1
4 - 6	იმ დავალებებიდან, რომლებიც სწორად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	2
7 - 8		3
9 - 11		4
12 - 13	ბევრი დავალება სწორად გაქვს შესრულებული. შედეგის გასაუმჯობესებლად აუცილებლად გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომები დაუშვი და რამ განაპირობა ეს შეცდომები. ხელახლა გადახედე გავლილ მასალას და მისი უკეთ გააზრებისთვის დამატებითი სავარჯიშოები გამოიყენე.	5
14 - 16		6
17 - 18	საკმაოდ ბევრი დავალება სწორად გაქვს შესრულებული. ჩანს, რომ მიმდინარე დავალებებს ყურადღებას აქცევდი. გადახედე დაშვებულ შეცდომებს და გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომებს უშვებ ძირითადად და რატომ. გააკეთე დამატებითი სავარჯიშოები და ამოცანები იმ კატეგორიიდან, რომელშიც უფრო მეტი შეცდომა გაქვს დაშვებული.	7
19 - 21		8
22 - 23	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
24 - 25	გილოცავ! შედეგი ძალიან კარგია. ჩანს, რომ დამოუკიდებლად მუშაობდი, საკლასო და საშინაო დავალებებს სისტემატურად და გააზრებულად ასრულებდი.	10

II თავის დამატებითი კითხვები, ამოცანები

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი შეესაბამება:

უმარტივესი  ; მარტივი  ;

საშუალო სირთულის  ; რთული  ;

2.1 ელექტრული ველი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1-15 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რა გზით ხორციელდება დამუხტულ სხეულებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთერთქმედება?
2. რა არის ველი და რით განსხვავდება ის ნივთიერებისგან?
3. როგორ შეიძლება ელექტრული ველის აღმოჩენა, რა თვისება აქვს მას?
4. რას ეწოდება ელექტრული ძალა?
5. როგორ ელექტრულ ველს ჰქვია ელექტროსტატიკური?
6. რა არის გრავიტაციული მუხტი? როგორ განისაზღვრება ის?
7. რა არის გრავიტაციული ველის დაძაბულობა? როგორი სიდიდეა ის და რას გვიჩვენებს?
8. რას ახასიათებს გრავიტაციული ველის დაძაბულობა: ველს თუ მასში მოთავსებულ სხეულს? რაზეა ის დამოკიდებული?
9. რა არის ელექტრული ველის დაძაბულობა? როგორი სიდიდეა ის და რას გვიჩვენებს?
10. რას ახასიათებს ელექტრული ველის დაძაბულობა: ველს თუ მასში მოთავსებულ მუხტს? რაზეა ის დამოკიდებული?
11. როგორ გამოითვლება ელექტრული ველის დაძაბულობა და რატომ უწოდებენ მას ველის ძალურ მახასიათებელს?
12. რა არის ელექტრული ველის დაძაბულობის ერთეული SI-ში?
13. როგორ გამოითვლება წერტილოვან საცდელ მუხტზე ველის მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალა დაძაბულობის დახმარებით?
14. როგორ განისაზღვრება ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება?
15. როგორ გამოითვლება წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული მისგან r მანძილზე?

შენიშვნა: თუ № 16 - 25 ამოცანებში სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მუხტები, გამტარი ბურთულები წერტილოვანია და ვაკუუმშია მოთავსებული.

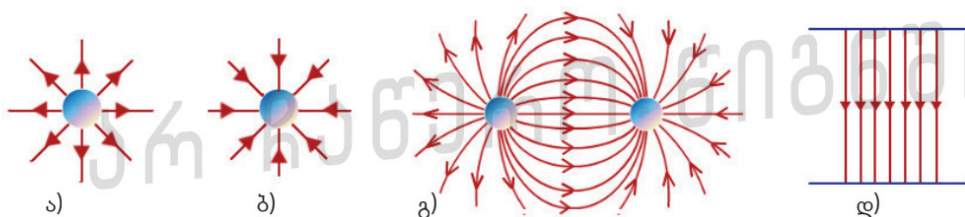
16. $0,02$ მკკ მუხტზე, რომელიც ელექტრული ველის მოცემულ წერტილშია შეტანილი, მოქმედებს 10 მკნ ძალა. განსაზღვრე დაძაბულობის მოდული ველის მოცემულ წერტილში.
17. $3 \cdot 10^{-8}$ კ მუხტი მოთავსებულია ელექტრული ველის იმ წერტილში, რომელშიც დაძაბულობის მოდული 60 კნ/კ-ის ტოლია. განსაზღვრე მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალის მოდული.
18. ააგე სქემატურად ვაკუუმში მოთავსებული წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულის ამ მუხტიდან დაშორებაზე (მანძილზე) დამოკიდებულების გრაფიკი.

19. განსაზღვრე ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული იმ წერტილებში, რომლებიც 25 ნკ წერტილოვანი მუხტიდან 5 სმ-ითაა დაშორებული.
20. წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა მისგან 30 სმ-ის მანძილზე 900 ნ/კ-ის ტოლია. გამოთვალე, რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტისგან 10 სმ-ზე.
21. ელექტრონი ($m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ კგ; $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ კ) მოათავსეს ერთგვაროვან ელექტრულ ველში, რომლის დაძაბულობაა $2 \cdot 10^6$ ნ/კ. გამოთვალე:
 - ა) ელექტრონზე ველის მხრიდან მოქმედი ძალის მოდული;
 - ბ) ელექტრონის აჩქარება ველში;
 - გ) რა სიჩქარეს შეიძენს ელექტრონი ელექტრულ ველში 10^{-19} წმ-ის განმავლობაში.
22. განსაზღვრე, რა აჩქარებით იმოძრავენ წყალბადის იონი ერთგვაროვან ელექტრულ ველში, რომლის დაძაბულობაა 10 ნ/მ. რა დროში გაივლის იონი 5 სმ-იან მონაკვეთს, თუ მისი საწყისი სიჩქარე 0-ის ტოლია?
23. ვერტიკალურ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოთავსებული ზეთის წვეთი, რომლის მასაა $4 \cdot 10^{-7}$ გ, წონასწორობაში აღმოჩნდა. განსაზღვრე წვეთის მუხტი და მასზე ჭარბი (ან დანაკლისი) ელექტრონების რიცხვი, თუ ცნობილია, რომ ველის დაძაბულობა $2 \cdot 10^4$ ნ/კ-ია.
24. ვერტიკალურ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოთავსებულია 10^{-9} გ მასისა და $3,2 \cdot 10^{-17}$ კ მუხტის მქონე ნაწილაკი. იპოვე ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ ნაწილაკი წონასწორობაშია.
25. წვიმის წვეთის მუხტი ელექტრონის მუხტის ტოლია. გამოთვალე წვეთის მასა და რადიუსი, თუ ვარდნისას წვეთის სიმძიმის ძალა დედამიწის ელექტრული ველის მოქმედებით იყო გაწონასწორებული. ცნობილია, რომ დედამიწის ელექტრული ველის დაძაბულობა დედამიწის ცენტრისკენაა მიმართული, ხოლო მოდულით 130 ნ/კ-ის ტოლია.

2.2 ელექტრული ველის ძალწირები

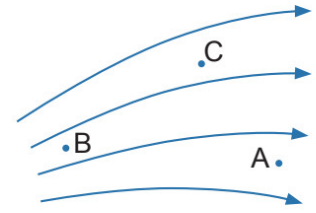
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-5 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რა არის ელექტრული ველის ძალწირები, ანუ დაძაბულობის წირები? როგორ აგებენ მათ?
2. როგორია გაცალკევებული დადებითი მუხტის მიერ შექმნილი ველის გრაფიკული სურათი? უარყოფითი მუხტის?
3. სად იწყება და სად მთავრდება ელექტრული ველის ძალწირები?
4. რაზე მიგანიშნებს ის ფაქტი, რომ ელექტრული ველის ძალწირები ერთმანეთს არ კვეთს?
5. როგორ ელექტრულ ველს ეწოდება ერთგვაროვანი? დახაზე ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ძალწირები.
6. განსაზღვრე მუხტის (მუხტების) ნიშნები, რომელთა მიერ შექმნილი ველის ძალწირები გამოსახულია 1-ლ სურათზე. გადახაზე ნახაზები სამუშაო რვეულში და მუხტებს შესაბამისი ნიშნები დაანერე.



სურ. 1.

7. მე-2 სურათზე ელექტრული ველის ძალწირების სურათია მოცემული. რომელ წერტილშია საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალა მაქსიმალური?
8. ზოგჯერ ამბობენ, რომ ველის ძალწირი ტრაექტორიაა, რომელზეც იმოძრაებდა ველში მოთავსებული დადებითი საცდელი მუხტი. სწორია თუ არა ეს მოსაზრება?
გაითვალისწინე: ტრაექტორია არის წირი, რომლის მხების გასწვრივაცაა სიჩქარის ვექტორი მიმართული.



სურ. 2

2.3 ფიზიკა ამოცანებში: ველის სუპერპოზიციის პრინციპი

1. ჩამოაყალიბე ელექტრული ველების სუპერპოზიციის პრინციპი.

შენიშვნა: თუ № 2 - 7 ამოცანებში სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მუხტები, გამტარი ბურთულები წერტილოვანია და ვაკუუმშია მოთავსებული.

2. $q_1 = 5$ ნკ და $q_2 = -2$ ნკ მუხტებს შორის მანძილი 40 სმ-ია. იპოვე q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ წერტილში, რომელიც მუხტების შემაერთებელ წრფეზე მდებარეობს და q_1 მუხტისგან 10 სმ-ითაა დაშორებული. განიხილე ყველა შესაძლო შემთხვევა.
3. $q_1 = 9$ ნკ და $q_2 = -4$ ნკ წერტილოვან მუხტებს შორის მანძილი 20 სმ-ია. გაარკვე, სად მდებარეობს მუხტების შემაერთებელ წრფეზე წერტილი, რომელშიც q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია.
4. ტოლგვერდა სამკუთხედის ორ წვეროში მოთავსებულია $q_1 = 20$ ნკ და $q_2 = 40$ ნკ წერტილოვანი მუხტები. გამოთვალე q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა სამკუთხედის მესამე წვეროში, თუ ცნობილია, რომ სამკუთხედის გვერდი 2 მ-ის ტოლია.
5. $q_1 = 10$ ნკ და $q_2 = -20$ ნკ მუხტებს შორის მანძილი 5 მ-ია. იპოვე q_1 და q_2 მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ წერტილში, რომელიც პირველი მუხტისგან 4 მ-ითაა დაშორებული, ხოლო მეორისგან – 3 მ-ით.
6. კვადრატის წვეროებში მოთავსებულია $q_1 = q_2 = 1$ ნკ და $q_3 = q_4 = -1$ ნკ წერტილოვანი მუხტები. გამოთვალე მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა კვადრატის ცენტრში, თუ ცნობილია, რომ კვადრატის გვერდი 30 სმ-ის ტოლია.
7. ტოლგვერდა სამკუთხედის ორ წვეროში $q_1 = q_2 = 10$ ნკ წერტილოვანი მუხტებია მოთავსებული, ხოლო სამკუთხედის მესამე წვეროში – $q_3 = -10$ ნკ მუხტი. გამოთვალე მუხტების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა სამკუთხედის ცენტრში, თუ ცნობილია, რომ სამკუთხედის გვერდი 30 სმ-ია.

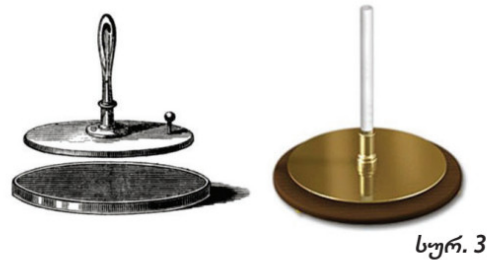
2.4 ბამბარები ელექტროსტატიკურ ველში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-8 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. როგორ ნივთიერებას ჰქვია გამტარი? რა განაპირობებს ასეთი ნივთიერების გამტარობას?
2. აღწერე ლითონის აგებულება და ახსენი, რითაა მისი კარგი გამტარობა გამოწვეული?
3. აღწერე, რა მოხდება, თუ გამტარ სხეულს ელექტრულ ველში შევიტანთ? როგორ გადანაწილდება მუხტები გამტარში?
4. რისი ტოლია ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ელექტროსტატიკური ველის მოდული? ახსენი, რატომ?

5. რა არის ელექტროსტატიკური ინდუქცია? ახსენი მოვლენის მექანიზმი.
6. რა განსხვავებაა შეხებით დამუხტვასა და გავლენით დამუხტვას შორის? ახსენი თითოეულ შემთხვევაში დაელექტროების მექანიზმი.
7. რა არის ელექტროსტატიკური დაცვის არსი? რას ეფუძნება ეს მოვლენა?
8. როგორ გამოითვლება თანაბრად დამუხტული გამტარი სფეროს (ან ბირთვის) ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული სფეროს (ბირთვის) ცენტრიდან r მანძილზე, როცა: ა) $r > R$? ბ) $r \leq R$? R – სფეროს (ან ბირთვის) რადიუსია.
9. **დაამზადე ელექტროფორი და ახსენი მისი დამუხტვის მექანიზმი.**

ელექტროფორი უმარტივესი მოწყობილობაა, რომელიც ერთგვარი ელექტროსტატიკური გენერატორია (სურ. 3). მისი დახმარებით მარტივად და ეფექტიანად შეძლებ ელექტრული მუხტის მიღებას. ელექტროფორის დამუხტვა ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგად ხდება. ხელსაწყო 1762 წელს შევდმა მეცნიერმა იოჰან კარლ ვილკემ შექმნა, თუმცა სამეცნიერო საზოგადოება მას, როგორც ვოლტას ელექტროფორს, ისე იცნობს. იტალიელმა მეცნიერმა ალესანდრო ვოლტამ (1745 – 1827) რილკეს მიერ შექმნილი ხელსაწყოს პირვანდელი ვერსია გააუმჯობესა და სახელიც დაარქვა. ელექტროფორი ბერძნულად „ელექტრობის მატარებელს“ ნიშნავს.



სურ. 3

1. ელექტროფორის დასამზადებლად დაგჭირდება (სურ. 4):

1. დიელექტრიკის (პენოპლასტის) ფირფიტა;
2. ბენვი ან შალის ქსოვილი;
3. ალუმინის ფოლგის ერთფერადი, საკვებისთვის განკუთვნილი თეფში;
4. ერთფერადი პლასტმასის ან პენოპლასტის ჭიქა;
5. ნებოვანი ლენტის;
6. ფოლგა.



სურ. 4

სამუშაოს შესრულების ეტაპები:

1. მიამაგრე ალუმინის თეფშს დიელექტრიკის სახელური – პლასტმასის ან პენოპლასტის ჭიქა – ნებოვანი ლენტით (სურ. 5 ა);
2. მოათავსე პენოპლასტის ფირფიტა ფოლგის ფურცელზე (დაამინე);
3. გაახახუნე პენოპლასტის ფირფიტაზე შალის ქსოვილი ან ბენვი დაახლოებით 10-15 წმ-ის განმავლობაში (ამ დროს პენოპლასტის ფირფიტა უარყოფითად იმუხტება);
4. მოათავსე ალუმინის თეფში დიელექტრიკის (პენოპლასტის ფირფიტაზე) (სურ 5 ბ.);



ა)



ბ)



გ)

სურ. 5

5. ასწიე ალუმინის თეფში და შეახე თითი ჯერ თეფშის ზედა ნაწილს, ხოლო შემდეგ – ქვედას (სურ. 5 გ). ნაპერწკლები, რომლებიც თეფშის ზედა და ქვედა ნაწილთან შეხებისას წარმოიქმნება, მიგანიშნებს, რომ ალუმინის თეფში დამუხტულია. **ნახე ვიდეონისტრუქცია**, რომელიც ელექტროფორის დამზადებაში დაგეხმარება: <http://bitly.ws/ps8m>



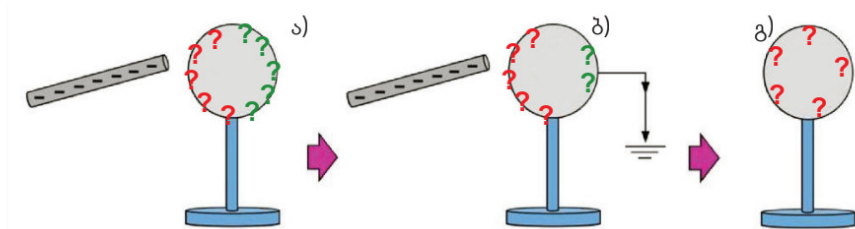
II. ახსენი, როგორ იმუხტება ალუმინის თეფში. გამოსახე ნახაზზე (სურ. 6) სქემატურად მუხტების გადანაწილება ალუმინის თეფშის (გამტარის) ქვედა და ზედა ნაწილში მას შემდეგ, რაც ალუმინის თეფშს (გამტარს) დიელექტრიკის ფირფიტის ველში მოათავსებ.



სურ. 6

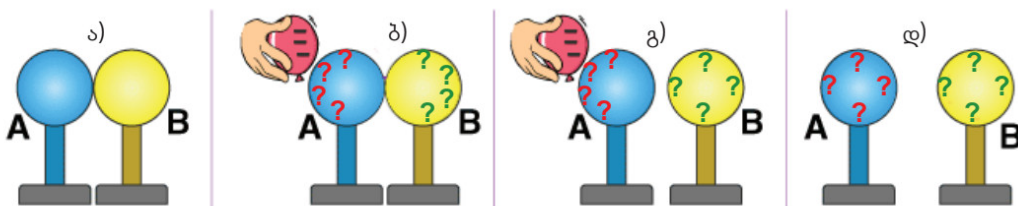
10. დაფიქრდი:

როგორ გადანაწილდება გამტარ სფეროში მუხტები, თუ მას უარყოფითად დამუხტულ ღეროს მივუახლოვებთ (სურ. 7ა): რა ნიშნით დაიმუხტება სფეროს მარცხენა მხარე (ის, რომელიც დამუხტულ ღეროსთან ახლოსაა)? მარჯვენა მხარე (სურ. 7ბ)? რა ნიშნით დაიმუხტება სფერო, თუ მას დავამიწებთ და დამუხტულ ღეროს მოვაცილებთ (სურ. 7გ)?



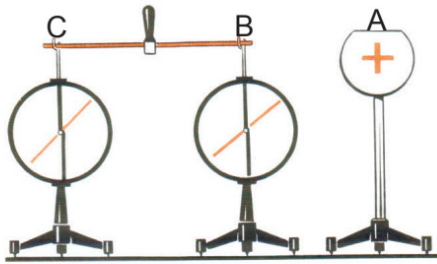
სურ. 7

11. მე-8 ა სურათზე გამოსახულია ორი ნეიტრალური გამტარი სფერო, რომლებიც ერთმანეთს ეხება. სფეროებს უარყოფითად დამუხტული ბუშტი მიუახლოვებს (სურ. 8ბ). განსაზღვრე A და B სფეროების მუხტის ნიშნები ბ, გ და დ შემთხვევებში.

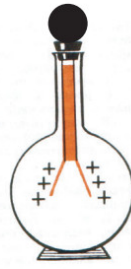


სურ. 8

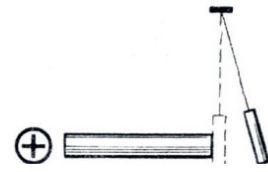
12. ორ ერთნაირ გამტარ ბირთვს მოდულით ტოლი მუხტი გადასცეს და ერთმანეთთან ახლოს მოათავსეს. შეადარე, რომელ შემთხვევაში იქნება ბირთვების ურთიერთქმედების ძალის მოდული უფრო მეტი: როცა ბირთვები ერთნაირნიშნის მუხტებითაა დამუხტული, თუ როცა ბირთვებს სხვადასხვანიშნის მუხტებით მუხტავენ? იგულისხმება, რომ ბირთვებს შორის მანძილი ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. დახაზე ურთიერთმოქმედ ბირთვებში მუხტების გადანაწილების სქემატური სურათი და პასუხი დაასაბუთე.



სურ. 9



სურ. 10



სურ. 11

13. ორი ელექტროსკოპი ლითონის ღეროთია შეერთებული (სურ. 9). ერთ-ერთს დადებითად დამუხტული A სხეული მიუახლოვებს (არ შეახეს!). როგორი ნიშნით დაიმუხტება B ელექტროსკოპი? C ელექტროსკოპი? პასუხი ახსენი.
14. ნეიტრალურ ელექტროსკოპს დამუხტული ჯოხი მიუახლოვებს ისე, რომ არ შეახეს (სურ. 10). ელექტროსკოპის ფურცლები დადებითად დაიმუხტა. როგორი ნიშნის მუხტი ჰქონდა ჯოხს? რა ნიშნით დაიმუხტა ელექტროსკოპის სფერო?
15. ძაფზე დაკიდებული ცილინდრი ჯერ ლითონის ნეიტრალურ ღეროს ეხებოდა, ხოლო მას შემდეგ, რაც ღეროს დამუხტული სფერო მიუახლოვებს, ცილინდრი პირვანდელი მდებარეობიდან გადაიხარა (სურ. 11). ახსენი, რატომ?
16. 3 სმ რადიუსის მქონე გამტარი სფერო 16 ნკ მუხტით დამუხტეს. იპოვე ველის დაძაბულობა სფეროს ცენტრისგან 2 და 4 სმ-ით დაშორებულ წერტილებში.
17. 3 სმ რადიუსის მქონე გამტარი სფეროს ელექტრული ველის დაძაბულობა, სფეროს ზედაპირიდან 1 სმ-ზე, 1000 ნ/კ-ის ტოლია. განსაზღვრე:
 - ა) სფეროს მუხტი;
 - ბ) ელექტრული ველის დაძაბულობა სფეროს ცენტრიდან 2 სმ-ით დაშორებულ წერტილებში.
18. გამოთვალე, რისი ტოლია წყალბადის ბირთვის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ წერტილებში, რომლებიც ელექტრონის ორბიტაზე მდებარეობს, თუ ცნობილია, რომ წყალბადის ატომში ელექტრონის წრიული ორბიტის რადიუსი $5 \cdot 10^{-11}$ მ-ია.
განსაზღვრე, რა სიდიდის ელექტრული ძალა მოქმედებს ელექტრონზე ბირთვის მხრიდან.
19. გამოთვალე დედამიწის მუხტის მოდული, თუ დედამიწის ელექტრული ველის დაძაბულობა დედამიწის ზედაპირზე 130 ნ/კ-ის ტოლია (დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია). შენიშვნა: ჩათვალე, რომ დედამიწის ზედაპირზე უარყოფითი მუხტი თანაბრადაა განაწილებული. მაშინ დედამიწა ისეთივე ელექტრულ ველს შექმნის ზედაპირზე, როგორსაც მის ცენტრში მოთავსებული მუხტი შექმნიდა.

2.5 დიელექტრიკები ელექტროსტატიკურ ველში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-12 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. როგორ ნივთიერებას/მასალას ჰქვია დიელექტრიკი? დაასახელე შენთვის ცნობილი დიელექტრიკები.
2. როგორი სახის დიელექტრიკებს იცნობ?
3. როგორ დიელექტრიკს ჰქვია პოლარული დიელექტრიკი? დაასახელე პოლარული დიელექტრიკების მაგალითები.
4. როგორ დიელექტრიკს ჰქვია არაპოლარული დიელექტრიკი? დაასახელე არაპოლარული დიელექტრიკების მაგალითები.

5. აღწერე, რა მოხდება, თუ პოლარულ დიელექტრიკს ელექტრულ ველში შევიტანთ? როგორ ორიენტირდება მუხტები დიელექტრიკში?
6. რას ეწოდება დიელექტრიკის პოლარიზაცია?
7. აღწერე, რა მოხდება, თუ არაპოლარულ დიელექტრიკს ელექტრულ ველში შევიტანთ?
8. ახსენი, რატომ იზიდავს დაელექტროებული სხეული (პლასტმასის სავარცხელი) ქაღალდის ნეიტრალურ ნაკუნებს ან წყლის ჭავლს?
9. რას ეწოდება გარემოს (ნივთიერების) დიელექტრიკული შეღწევადობა? რას გვიჩვენებს ის?
10. როგორ გამოითვლება წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია?
11. როგორ ჩაიწერება კულონის კანონი იმ გარემოში მოთავსებული წერტილოვანი მუხტებისთვის, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია?
12. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს დიელექტრიკებს ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნიკაში?

13. საშინაო ცდა: „ელექტროსტატიკური თეატრი“

1. ამ ცდის ჩასატარებლად „მსახიობები“ დაგჭირდება: თხელი ქაღალდის ფურცლისგან გამოჭერი ადამიანის ფორმის ფიგურები და მიამაგრე „ფეხებზე“ ქინძისთავები.

2. 5-6 სმ სისქის ორი წიგნი მოათავსე ერთმანეთის გვერდით ისე, რომ მათ შორის მანძილი 15-20 სმ იყოს.

3. დადე წიგნებზე მინის ფირფიტა და მის ქვეშ „მსახიობები“ მოათავსე (სურ.12).

4. დაიწყე აბრეშუმის ნაჭრით მინის ზედაპირის გაპრიალება.

თუ ამ სამუშაოს გულმოდგინებას არ დააკლებ, აუცილებლად დაგიფასდება: „მსახიობები გაცოცხლდებიან“ და საკმაოდ საინტერესო „წარმოდგენასაც“ შემოგთავაზებენ. ახსენი, როგორ „მოახერხეს“ ქაღალდის ფიგურებმა „გაცოცხლება“.

14. თუ ძაფზე დაკიდებულ ბამბის ფთილას სხვადასხვანიშნიანი მუხტით დამუხტულ ბურთულებს შორის მოათავსებ (სურ. 13), ბამბა რხევით მოძრაობა დაიწყებს. ახსენი ეს მოვლენა.

15. ზეთში ორ სხვადასხვანიშნიანი მუხტით დამუხტულ ფირფიტას შორის ელექტრული ველის დაძაბულობა $1,5 \cdot 10^6$ ნ/კ-ია. რის ტოლი გახდება ამავე ველის დაძაბულობის მოდული, თუ ფირფიტებს ზეთიდან ამოვიღებთ?

16. თხევად დიელექტრიკში 4 ნკ წერტილოვანი მუხტიდან 3 სმ მანძილზე დაძაბულობის მოდული 20 კნ/კ-ია. გამოთვალე დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევადობა.

17. განსაზღვრე, რა მანძილზე იქნება ნავთში წერტილოვანი მუხტის დაძაბულობა მოდულით ისეთივე, როგორიც ჩაშვებამდე, ჰაერში იყო მუხტიდან 29 სმ-ზე.

18. ვაკუუმში წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა ველის მოცემულ წერტილში $5,41 \cdot 10^8$ ნ/კ-ის ტოლია. ბარიუმის ტიტანატში კი იმავე ველის დაძაბულობა იმავე წერტილში $4,5 \cdot 10^5$ ნ/კ-ია. განსაზღვრე ბარიუმის ტიტანატის დიელექტრიკული შეღწევადობა.

19. ჰაერში ერთმანეთისგან 5 სმ მანძილით დაშორებული ორი წერტილოვანი მუხტი 120 მკნ ძალით ურთიერთქმედებს, არაგამტარ სითხეში კი, როცა მათ შორის მანძილი 10 სმ-ია, ურთიერთქმედების ძალა 15 მკნ-ია. განსაზღვრე სითხის დიელექტრიკული შეღწევადობა.



სურ. 12



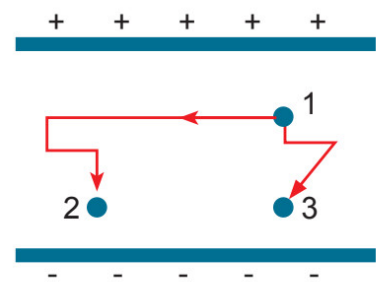
სურ. 13

20. გამოთვალე კულონური ურთიერთქმედების ძალის მოდული ორ წერტილოვან მუხტს შორის ეთილის სპირტში, თუ ცნობილია, რომ მუხტების მოდულებია: $q_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ კ}$ და $q_2 = -4 \cdot 10^{-8} \text{ კ}$. მუხტებს შორის მანძილი კი 3 სმ-ია.
21. ორი ერთნაირი წერტილოვანი მუხტი, რომელთა შორის მანძილი 90 მმ-ია, წყალში $4 \cdot 10^{-5} \text{ ნ}$ ძალით ურთიერთქმედებს. განსაზღვრე მუხტების მოდულები.
22. განსაზღვრე r_1 მანძილი ორ წერტილოვან ერთნაირ მუხტს შორის ზეთში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა $\epsilon = 3$ -ის ტოლია, თუ ურთიერთქმედების ძალა მათ შორის ისეთივეა, როგორიც ვაკუუმში $r_2 = 30 \text{ სმ}$ მანძილზე.
23. ჰაერში ($\epsilon_1 = 1$) ორი წერტილოვანი მუხტი ერთმანეთისგან 20 სმ-ითაა დაშორებული. რამდენი სანტიმეტრით უნდა მივუახლოვოთ მუხტები ერთმანეთს, რომ ნავთში მათი ურთიერთქმედების ძალის მოდული იგივე დარჩეს?
24. ჰაერში ($\epsilon_1 = 1$) ორი წერტილოვანი მუხტი r_1 მანძილითაა დაშორებული. რა r_2 მანძილზე უნდა მოვათავსოთ ეს მუხტები ϵ_2 შეღწევადობის დიელექტრიკში, რომ მათი ურთიერთქმედების ძალის მოდული იგივე დარჩეს?
25. 0,18 გ მასისა და 1800 კგ/მ^3 სიმკვრივის დადებითად დამუხტული ბურთულა თხევად დიელექტრიკში შექმნილ ელექტრულ ველში მოათავსეს. დამუხტული ბურთულა ნონასწორობაში აღმოჩნდა მაშინ, როცა ვერტიკალურად მიმართული ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული 45 კნ/კ -ის ტოლი იყო. ცნობილია, რომ დიელექტრიკის სიმკვრივეა 900 კგ/მ^3 . განსაზღვრე: ა) ბურთულის მუხტის მოდული; ბ) დანაკლისი ელექტრონების რაოდენობა ბურთულაზე.

2.6 ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა

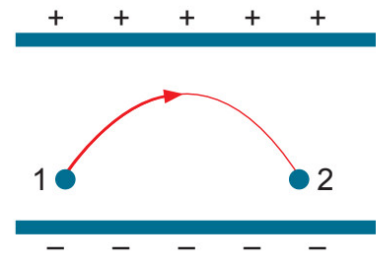
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-7 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რატომ შეგვიძლია იმის მტკიცება, რომ
 - ა) დამუხტულ სხეულთა სისტემას პოტენციური ენერგია აქვს?
 - ბ) დამუხტულ სხეულთა სისტემას აქვს უნარი, შეასრულოს მუშაობა?
2. რას ეწოდება ელექტრული, ანუ კულონური, ენერგია?
3. დამოკიდებულია თუ არა ელექტროსტატიკურ ველში ორ წერტილს შორის მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა მუხტის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმაზე?
4. როგორ ველს ჰქვია პოტენციალური (კონსერვატიული) ველი?
5. როგორ გამოითვლება მუხტის პოტენციური ენერგია და რა არის მისი ფიზიკური აზრი?
6. როგორ ირჩევენ ნულოვან დონეს ელექტრულ ველში? რატომ?
7. როგორ გამოითვლება მუხტის გადაადგილებისას ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის მიერ შესრულებული მუშაობა
 - ა) ელექტრული ძალისა და მუხტის გადაადგილების მოდულის მიხედვით?
 - ბ) მუხტის პოტენციური ენერგიის მიხედვით?
8. ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში საცდელი მუხტი თავდაპირველად $1 \rightarrow 2$ ტრაექტორიაზე გადაადგილდება (სურ. 14), ხოლო შემდეგ $1 \rightarrow 3$ -ზე. შეადარეთ ამ ტრაექტორიებზე მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული ველის მუშაობები (მე-2 და მე-3 წერტილები უარყოფითად დამუხტული ფირფიტებიდან ერთნაირადაა დაშორებული).



სურ. 14

9. ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში საცდელი მუხტი 1-ლიდან მე-2 წერტილში ნახევარწრეწირის გასწვრივ გადაადგილდება (სურ. 15). გამოთვალე მუშაობა, რომელსაც ელექტრული ველი ასრულებს მუხტის გადაადგილებისას, თუ ცნობილია, რომ 1-ლი და მე-2 წერტილები უარყოფითად დამუხტული ფირფიტებიდან ერთნაირადაა დაშორებული.



სურ. 15

10. ვაკუუმში, ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული წერტილოვანი q მუხტის პოტენციური ენერგია 1 ჯ-ის ტოლია. რისი ტოლია იმავე წერტილში მოთავსებული წერტილოვანი $2q$ მუხტის პოტენციური ენერგია?
11. 1 კვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვან ველში ძალწირების გასწვრივ 2 სმ მანძილით გადაადგილეს (-25) ნკ მუხტი. იპოვე ველის მუშაობა და მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიის ცვლილება.
12. 60 კნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვან ველში გადაადგილეს მუხტი. გადაადგილების ვექტორის მოდული 20 სმ-ია და ძალწირების მიმართულებასთან 60-გრადუსიან კუთხეს ადგენს. იპოვე ველის მუშაობა და მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიის ცვლილება. განიხილე შემთხვევები, როცა იმ მუხტის მოდული, რომელიც ველში გადაადგილეს, არის: ა) 5 ნკ; ბ) -5 ნკ.

2.7 ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-17 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- რაზეა დამოკიდებული მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია? რას ახასიათებს პოტენციური ენერგია: ველს თუ მასში მოთავსებულ ელექტრულ მუხტს?
- რომელი ფიზიკური სიდიდით ახასიათებენ ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილს?
- როგორაა დამოკიდებული ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული მუხტის პოტენციური ენერგია მუხტის მოდულზე?
- რას ეწოდება ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი? როგორი სიდიდეა პოტენციალი: სკალარული თუ ვექტორული? რა არის მისი ფიზიკური აზრი?
- როგორ გამოითვლება ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი და რა არის მისი ერთეული SI-ში?
- განმარტე პოტენციალის ერთეული SI-ში: ველის რომელ წერტილს აქვს 1 ვოლტის ტოლი პოტენციალი?
- დამოკიდებულია თუ არა პოტენციალი ველის მოცემულ წერტილში ნულოვანი დონის არჩევაზე? პოტენციალთა ცვლილება?
- როგორ გამოითვლება მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული ელექტრული ველის მუშაობა პოტენციალის დახმარებით?
- რა არის ძაბვა? რითი განსხვავდება ის პოტენციალთა სხვაობისგან?
- როგორი ფიზიკური სიდიდეა ძაბვა სკალარული თუ ვექტორული? რას გვიჩვენებს რიცხობრივად ის?
- რა არის ძაბვის ერთეული SI-ში? როგორ განიმარტება ის?
- როგორ გამოითვლება მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული ელექტრული ველის მუშაობა, თუ მოცემულია მუხტის მოდული და ძაბვა?
- რა კავშირია დაძაბულობასა და ძაბვას შორის?

14. დაამტკიცე, რომ დაძაბულობის შენთვის უკვე ცნობილი ერთეული 1 ნ/კ ეკვივალენტურია ერთეულისა – 1 ვ/მ.
15. როგორ ზედაპირებს ჰქვია ეკვიპოტენციალური ზედაპირები? რა ფიზიკური აზრი აქვს ამ ზედაპირებს?
16. შეადარე ელექტროსტატიკურ ველში გამტარის ნებისმიერი ორი წერტილის პოტენციალი;
17. რისი ტოლია გამტარის ზედაპირის და მის შიგნით ნებისმიერ ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა?

შენიშვნა: თუ № 18 - 25 ამოცანებში სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მუხტები, გამტარი ბურთულები წერტილოვანია და ვაკუუმშია მოთავსებული.

18. q მუხტი მოთავსებულია ელექტროსტატიკური ველის იმ წერტილში, რომლის პოტენციალი 2 ვ-ია. რის ტოლი გახდება ელექტროსტატიკური ველის იმავე წერტილის პოტენციალი, თუ მასში 2q მუხტს მოვათავსებთ?
19. გამოთვალე, რისი ტოლია მუშაობა, რომელსაც ელექტროსტატიკური ველი ასრულებს 2 კ მუხტის ერთი წერტილიდან მეორეში გადაადგილებისას, თუ პირველი წერტილის პოტენციალი 20 ვ-ია, ხოლო მეორის – 5 ვ.
20. რა მუშაობას ასრულებს ველი 20 ნკ მუხტის გადაადგილებისას ორ წერტილს შორის, თუ ცნობილია, რომ მუხტის:
 - ა) საწყისი წერტილის პოტენციალია 700 ვ, საბოლოოსი კი – (+200) ვ;
 - ბ) საწყისი წერტილის პოტენციალია (–100) ვ, საბოლოოსი კი – (+400) ვ.
21. განსაზღვრე, რისი ტოლია ელექტროსტატიკური ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ ერთი წერტილიდან მეორეში 4 კ მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა 8 ჯ-ის ტოლია.
22. 1 კვ/მ დაძაბულობის ერთგვაროვან ველში ძალწირების გასწვრივ 2 სმ-ით გადაადგილეს მუხტი. იპოვე ძაბვა გადაადგილების საწყის და საბოლოო წერტილებს შორის.
23. 60 კნ/კ დაძაბულობის ერთგვაროვან ველში გადაადგილეს მუხტი. გადაადგილების ვექტორის მოდული 20 სმ-ია და ძალწირების მიმართულებასთან 60-გრადუსიან კუთხეს ადგენს. იპოვე ძაბვა გადაადგილების საწყის და საბოლოო წერტილებს შორის.
24. განსაზღვრე დამუხტულ პარალელურ ფირფიტებს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ ცნობილია, რომ ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა 100 ვ-ია, ხოლო ფირფიტებს შორის მანძილი – 2 სმ.
25. გამოთვალე პოტენციალთა სხვაობა ერთგვაროვანი ველის იმ ორ წერტილს შორის, რომლებიც დაძაბულობის ერთი ძალწირის გასწვრივ მდებარეობს და ერთმანეთისგან 30 სმ-ითაა დაშორებული. ცნობილია, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა 30 ვ/მ-ია.

2.8 ფიზიკა ამოცანებში: ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა. პოტენციალი. ძაბვა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-6 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. როგორ გამოითვლება წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის პოტენციალი ვაკუუმში მუხტიდან r მანძილზე? გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევაა ε?
2. რა არის წერტილოვანი მუხტის ველის პოტენციალის ფიზიკური აზრი?
3. თუ დამუხტული გამტარი სფეროს (ბირთვის) ზედაპირზე q მუხტი თანაბრადაა განაწილებული, როგორ გამოითვლება სფეროს (ბირთვის) ელექტრული ველის

პოტენციალი იმ წერტილებში, რომლებიც:

- ა) სფეროს (ბირთვის) ცენტრიდან რადიუსზე უფრო მეტი მანძილითაა დაშორებული ($r > R$)?
- ბ) სფეროს (ან ბირთვის) შიგნით ($r \leq R$) და ზედაპირზე მდებარეობს?
4. როგორ გამოითვლება რამდენიმე დამუხტული ნაწილაკის მიერ შექმნილი ჯამური ველის პოტენციალი?
5. როგორ გამოითვლება ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებული q მუხტის პოტენციური ენერგია პოტენციალის დახმარებით?
6. როგორ გამოითვლება ორი წერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია?
7. გამოთვალე ელექტრონის მიერ შექმნილი კინეტიკური ენერგია კინესკოპის მილში, თუ იმ ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, რომლებიც ველს ქმნიან, 5 კვ-ია.
8. დამუხტული ჰორიზონტალური ფირფიტების ელექტრულ ველში $m = 10^{-10}$ გ მასის ზეთის წვეთია მოთავსებული. წვეთი წონასწორობაშია, როცა პოტენციალთა სხვაობა ფირფიტებს შორის $U = 200$ ვ-ია. ულტრაიისფერი სხივებით დასხივების შემდეგ წვეთმა ვარდნა დაიწყო და წონასწორობა მხოლოდ მაშინ აღდგა, როცა პოტენციალთა სხვაობა $\Delta U = 50$ ვ-ით გაზარდეს. გამოთვალე, რა სიდიდის მუხტი დაკარგა წვეთმა დასხივების შემდეგ, თუ ცნობილია, რომ ფირფიტებს შორის მანძილი $d = 1,6$ სმ-ია.
9. ელექტრულ ველში მოძრაობისას ელექტრონის სიჩქარე 10^7 მ/წმ-იდან $3 \cdot 10^7$ მ/წმ-მდე გაიზარდა. იპოვე პოტენციალთა სხვაობა ელექტრონის გადაადგილების საწყის და ბოლო წერტილებს შორის, თუ ცნობილია ელექტრონის მუხტის შეფარდება მის მასასთან: $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ კ/კგ.
10. წერტილოვანი მუხტის ველის პოტენციალი მისგან 40 სმ მანძილზე 200 ვ-ია. რა ძალით იმოქმედებს ველი საცდელ 1 ნკ მუხტზე, რომელიც მოცემულ წერტილშია მოთავსებული?

შენიშვნა: თუ № 11 - 16 ამოცანებში სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მუხტები, გამტარი ბურთულები წერტილოვანია და ვაკუუმშია მოთავსებული. ამასთან **გაითვალისწინე:** წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილ პოტენციალს ნულის ტოლად უსასრულობაში მივიჩნევთ.

11. უსასრულობიდან ელექტრული ველის რომელიმე წერტილში $1,3 \cdot 10^{-7}$ კ მუხტის გადმოსატანად $6,5 \cdot 10^{-5}$ ჯ მუშაობა შესრულდა. განსაზღვრე ველის მოცემული წერტილის პოტენციალი.
12. ჰაერში მოთავსებულ ლითონის სფეროს, რომლის რადიუსია 3 სმ, მუხტავენ. რა პოტენციალამდე შეიძლება დაიმუხტოს ის, თუ ცნობილია, რომ თუ სფეროს ელექტრული ველის დაძაბულობა 3 მგვ/მ-ს მიაღწევს, სფერო განმუხტვას დაიწყებს (რა დროსაც ნაპერწკალი წარმოიქმნება).
13. $q_1 = 20$ ნკ და $q_2 = -5$ ნკ მუხტებს შორის მანძილი 12 სმ-ია. იპოვე პოტენციალი ველის იმ წერტილში, რომელშიც ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია. სად მდებარეობს და რა მანძილზეა ეს წერტილი q_2 მუხტიდან?
14. $q_1 = 3$ ნკ და $q_2 = -2$ ნკ მუხტები ერთმანეთისგან 20 სმ მანძილითაა დაშორებული. მათი შემაერთებელი წრფის რომელ წერტილშია ველის პოტენციალი ნულის ტოლი? q_1 მუხტისგან რა x მანძილზეა მოთავსებული ეს წერტილი? რისი ტოლია ველის დაძაბულობა ამ წერტილში? განიხილე საძიებელი წერტილის მდებარეობის ყველა შესაძლო შემთხვევა.

15. რამდენით შეიცვლება 25 და (-4) ნკ მუხტების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია, თუ მათ შორის მანძილი 10 სმ-იდან 20 სმ-მდე გაიზარდა?
16. ორი ერთნაირი q მუხტი ერთმანეთისგან r მანძილითაა დაშორებული. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ისინი ერთმანეთს $0,5 r$ მანძილზე მივუახლოვოთ?

2.9 კონდენსატორი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და №1-15 კითხვებზე პასუხები შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

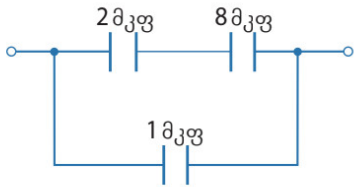
1. როგორაა ორ გამტარს შორის ძაბვა (U) დამოკიდებული იმ მუხტის მოდულზე (q -ზე), რომელიც თითოეულ მათგანზე გროვდება (ერთზე $(+q)$ მუხტი, მეორეზე კი $(-q)$)?
2. რა მოვლენაა დიელექტრიკის „გარღვევა“ და რა შემთხვევაში ხდება ის?
3. ორი გამტარის რომელ უნარს აღწერს ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც ელექტროტევადობა ჰქვია?
4. როგორ გამოითვლება ორი გამტარის ელექტროტევადობა და რა ერთეულებში იზომება ის?
5. რა არის კონდენსატორი და რა სახის კონდენსატორები არსებობს ფორმის მიხედვით?
6. აღწერე ბრტყელი კონდენსატორი.
7. როგორ მუხტავენ კონდენსატორს?
8. რას ეწოდება კონდენსატორის მუხტი?
9. რატომაა კონდენსატორის მთელი ელექტრული ველი თავმოყრილი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის?
10. როგორაა დამოკიდებული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვა კონდენსატორის მუხტზე?
11. როგორ გამოითვლება კონდენსატორის ელექტროტევადობა ზოგადად?
12. როგორ გამოითვლება კონდენსატორის მუხტი? ძაბვა შემონაფენებს შორის?
13. რაზეა დამოკიდებული ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა?
14. როგორაა დამოკიდებული ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა:
 - ა) შემონაფენებს შორის მანძილზე (d)?
 - ბ) შემონაფენების S ფართობზე (უფრო სწორად კი შემონაფენების ურთიერთგადაფარვის ფართობზე)?
 - გ) იმ გარემოს დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე, რომელიც შემონაფენებს შორისაა?
15. როგორ გამოისახება მათემატიკურად ბრტყელი კონდენსატორის დამოკიდებულება კონდენსატორის გეომეტრიულ პარამეტრებსა და დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე?
16. რაზეა დამოკიდებული კონდენსატორის მიერ დაგროვილი ელექტრული ენერგიის რიცხვითი მნიშვნელობა და როგორ გამოისახება ეს დამოკიდებულება მათემატიკურად?
17. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს კონდენსატორებს?
18. გამოთვალე, რისი ტოლია ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა, თუ ცნობილია, რომ, როცა კონდენსატორის მუხტი $2 \cdot 10^{-4}$ კ-ია, მის ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა 40 ვ-ის ტოლია.
19. რა სიდიდის მუხტი დაგროვდება 1 მკფ ტევადობის კონდენსატორზე, თუ მის ფირფიტებს შორის ძაბვა 100 ვ-ის ტოლი გახდება?
20. ერთი და იმავე ძაბვის დროს ერთ კონდენსატორზე 3-ჯერ ნაკლები მუხტი გროვდება,

- ვიდრე მეორე კონდენსატორზე. განსაზღვრე მეორე კონდენსატორის ტევადობა, თუ ცნობილია, რომ პირველი კონდენსატორის ტევადობა 10 პფ-ია.
21. შეიძლება თუ არა კონდენსატორი გამოვიყენოთ 50 ნკ მუხტის დასაგროვებლად, თუ მის ტექნიკურ მონაცემებში მითითებულია: 100 პკფ, 300 ვ.
 22. გამოთვალე, რისი ტოლია ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა, თუ მისი ფირფიტების ზომა 1x1 მ-ია, ხოლო მანძილი მათ შორის 1 მმ-ია. რა სიდიდის ელექტრული ენერგიის დაგროვება შესაძლებელი ასეთი კონდენსატორით?
 23. განსაზღვრე ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენების ფართობი, თუ ცნობილია, რომ კონდენსატორის ელექტროტევადობაა 1 მკფ, მის შემონაფენებს შორის კი 0,1 მმ სისქის მინის ფირფიტა ეტევა.
 24. ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენების ფართობი 1 მ²-ია, მისი ელექტროტევადობა კი 1 მკფ-ის ტოლია. კონდენსატორის შემონაფენებს შორის 0,1 მმ სისქის დიელექტრიკის ფირფიტა ეტევა. განსაზღვრე დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევადობა.
 25. ჰაერიანი ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენები დამუხტულია სიდიდით ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტით, რომლის აბსოლუტური სიდიდე 10⁻⁸ კ-ის ტოლია. განსაზღვრე დაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, თუ შემონაფენების ფართობი 100 სმ²-ია, ხოლო მანძილი მათ შორის 0,9 მმ-ია.
 26. ბრტყელი ჰაერიანი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მყარი დიელექტრიკის შეტანისას ფირფიტებს შორის პოტენციალი 400 ვ-იდან 59 ვ-მდე შემცირდა. გამოთვალე მყარი დიელექტრიკის დიელექტრიკული შეღწევადობა.
 27. ბრტყელი ჰაერიანი კონდენსატორი ელექტროფორული მანქანის დახმარებით 100 ვ დაბვამდე დამუხტეს და მანქანიდან ჩახსნეს. რის ტოლი გახდება შემონაფენებს შორის დაბვა, თუ მათ შორის მანძილს 2-ჯერ შევამცირებთ?
 28. ბრტყელ ჰაერიან კონდენსატორს ელექტროფორული მანქანის დახმარებით მუხტავენ. როგორ შეიცვლება კონდენსატორის მუხტი და დაბვა შემონაფენებს შორის, თუ შემონაფენებს შორის დიელექტრიკს შევიტანთ, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია?
 29. განსაზღვრე, რამდენჯერ შეიცვლება კონდენსატორის ენერგია მასზე დაბვის 4-ჯერ გადიდებისას.
 30. 20 მკფ ტევადობის კონდენსატორზე მოდებული დაბვის 2-ჯერ გაზრდისას ველის ენერგია 0,3 ჯ-ით გაიზარდა. იპოვე დაბვისა და ველის ენერგიის საწყისი მნიშვნელობა.
 31. როგორ შეიცვლება დამუხტული ჰაერიანი ბრტყელი კონდენსატორის ენერგია, თუ კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილს 2-ჯერ გავზრდით (მანძილი შემონაფენებს შორის გაცილებით ნაკლებია შემონაფენების ზომებზე)? განიხილე ორი შემთხვევა:
 - ა) კონდენსატორი მიერთებულია ელექტროფორულ მანქანასთან და მისი დახმარებით მუხტავენ;
 - ბ) კონდენსატორი დამუხტეს ელექტროფორული მანქანით და ჩახსნეს მისგან.

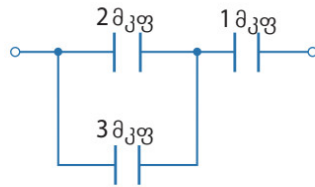
2.10 ამოსახები ფიზიკაში: კონდენსატორის ელექტროტევადობა

1. იმ ბატარეის ბოლოებზე, რომელიც ორი კონდენსატორის მიმდევრობით შეერთებითაა მიღებული, 300 ვ დაბვაა მოდებული. რისი ტოლია დაბვა თითოეული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, თუ პირველი კონდენსატორის ტევადობაა 2 პფ, მეორისა კი – 3 პფ?
2. 10000 და 1500 პფ ელექტროტევადობის ორი კონდენსატორი პარალელურადაა შეერთებული. რისი ტოლია მეორე კონდენსატორის მუხტი, თუ პირველის მუხტია $2 \cdot 10^{-6}$ კ?

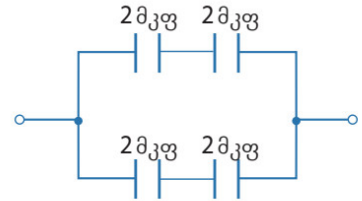
3. განსაზღვრე კონდენსატორთა ბატარეის ელექტროტევადობა, თუ ცნობილია, რომ თითოეული კონდენსატორის ელექტროტევადობები, შესაბამისად, არის: $C_1 = 1$ მკფ, $C_2 = 2$ მკფ და კონდენსატორები შეერთებულია: ა) მიმდევრობით; ბ) პარალელურად.
4. განსაზღვრე, რისი ტოლია მე-16 – 23-ე სურათებზე გამოსახული კონდენსატორთა ბატარეების ელექტროტევადობა.



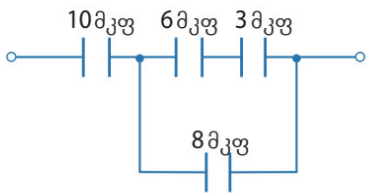
სურ. 16



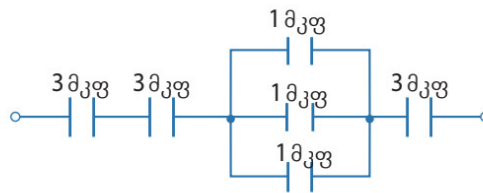
სურ. 17



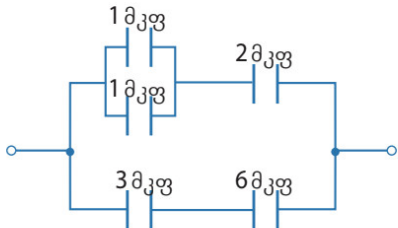
სურ. 18



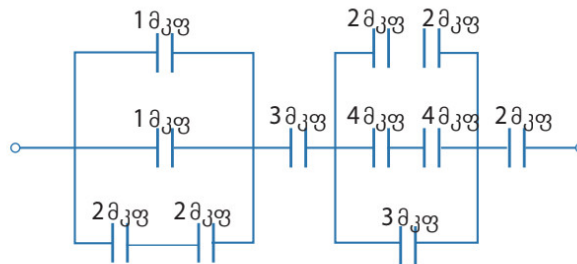
სურ. 19



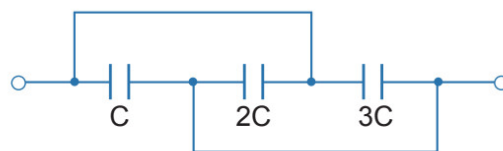
სურ. 20



სურ. 21



სურ. 22



სურ. 23

5. ერთი გამტარის ელექტროტევადობაა 10 პფ, ხოლო მუხტი $6 \cdot 10^{-7}$ კ. მეორე გამტარის ელექტროტევადობა და მუხტი, შესაბამისად, 30 პფ და $-4 \cdot 10^{-7}$ კ-ია. გამტარები ლითონის წვრილი მავთულით შეაერთეს. განსაზღვრე თითოეული გამტარის მუხტი შეერთების შემდეგ.
6. მიმდევრობით შეერთებული ორი კონდენსატორის ბატარეის ბოლოებზე დაბვა 120 ვ-ია. განსაზღვრე დაბვა თითოეული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, თუ კონდენსატორების ელექტროტევადობებია: $C_1 = 2$ მკფ, $C_2 = 4$ მკფ.
7. მე-17 სურათზე ბატარეაში კონდენსატორთა შეერთების სქემაა გამოსახული. განსაზღვრე, თითოეული კონდენსატორის მუხტი, თუ კონდენსატორების ელექტროტევადობებია: $C_1 = 1$ მკფ, $C_2 = 2$ მკფ, $C_3 = 3$ მკფ. დაბვა ბატარეის ბოლოებზე 12 ვ-ის ტოლია.

II თავის მოკლე შინაარსი

ელექტრული ველი

დამუხტული სხეულების ურთიერთქმედებას საკმაოდ რთული ხასიათი აქვს. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თანამედროვე თეორიის თანახმად, ნებისმიერი დამუხტული სხეული თავის გარშემო ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის საშუალებითაც სხვა დამუხტულ სხეულთან ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ხორციელდება. ამ თეორიის თანახმად, ორ დამუხტულ ნაწილაკს შორის ურთიერთქმედება ასე აღინერება: დამუხტული ნაწილაკები უშუალოდ არ მოქმედებენ ერთმანეთზე. ერთი დამუხტული ნაწილაკის ელექტრული ველი მეორე ნაწილაკზე მოქმედებს და პირიქით.

ელექტრული ველის მთავარი თვისებაა, გარკვეული ძალით იმოქმედოს ველში მოთავსებულ სხვა დამუხტულ სხეულზე (საცდელ ელექტრულ მუხტზე).

ძალას, რომლითაც ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ დამუხტულ სხეულზე (ნაწილაკზე, მუხტზე) მოქმედებს, ელექტრული ძალა ჰქვია.

უძრავი მუხტების ელექტრულ ველს ელექტროსტატიკური ველი ჰქვია. ელექტროსტატიკური ველი დროის მიხედვით უცვლელი, მუდმივი ველია. ერთგვაროვანია ველი, რომლის ყველა წერტილში დაძაბულობა ერთნაირია. ერთგვაროვანი ველის დაძაბულობის ძალწირები პარალელური წირებია. აბსოლუტურად ერთგვაროვანი ველი არ არსებობს, მაგრამ მიახლოებით ერთგვაროვნად შეიძლება ჩაითვალოს ველი ორ ერთნაირ პარალელურ ფირფიტას შორის (კიდებებიდან მოშორებით), რომლებიც სიდიდით ტოლი და სხვადასხვანაირი მუხტითაა დამუხტული (ფირფიტები ერთმანეთთან მათ ზომებზე ბევრად მცირე მანძილით უნდა იყოს დაშორებული).

	ელექტრული ველის მახასიათებლები		
	ძალური მახასიათებელი	ენერგეტიკული მახასიათებელი	
ფიზიკური სიდიდე	დაძაბულობა – ვექტორული სიდიდეა (მიმართულება ემთხვევა დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას).	პოტენციალი – სკალარული სიდიდეა.	ძაბვა, პოტენციალთა სხვაობა – სკალარული სიდიდეა.
ფიზიკური შინაარსი	გვიჩვენებს ძალას, რომლითაც ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ ერთეულოვან საცდელ მუხტზე მოქმედებს.	რიცხოვნად გვიჩვენებს, რისი ტოლია ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებული ერთეულოვანი მუხტის ენერგია.	რიცხოვნად გვიჩვენებს, რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი ამ ორ წერტილს შორის 1 კულონი მუხტის გადაადგილებისას.
როგორ გამოითვლება	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	$\varphi = \frac{W}{q} = Ed$ პოტენციალის მნიშვნელობა ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული: ნულოვანი დონის ნებისმიერ წერტილში პოტენციალი ნულის ტოლი იქნება.	$U = \varphi_1 - \varphi_2 = E\Delta d$ ძაბვა ველის ორ წერტილს შორის განისაზღვრება და მისი მნიშვნელობა ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული არ არის.
ერთეული SI სისტემაში	1 ნ/კ = 1 ვ/მ	1 ვოლტი. 1 ვ = 1ჯ/კ	1 ვოლტი. 1 ვ = 1ჯ/კ

ვაკუუმში წერტილოვანი q_0 მუხტის ელექტრული ველი მუხტიდან r მანძილზე	$E = k \frac{ q_0 }{r^2}$	$\varphi = k \frac{q}{r}$ დადებითი მუხტის ($q > 0$) ველის წერტილთა პოტენციალი დადებითია ($\varphi > 0$), ხოლო უარყოფითი მუხტის ($q < 0$) ველის წერტილთა პოტენციალი – უარყოფითი ($\varphi < 0$).	
--	---------------------------	---	--

q₀ მუხტით თანაბრად დამუხტული გამტარი სფეროს (ან ბირთვის) ელექტრული ველი			
	როცა r > R, მაშინ $E = k \frac{ q_0 }{r^2}$ როცა r ≤ R, მაშინ E = 0	როცა r > R, მაშინ $\varphi = k \frac{q}{r}$ როცა r ≤ R, მაშინ $\varphi = k \frac{q}{R}$	
ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის მიერ q მუხტის ერთი წერტილიდან მეორეში გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა			
	A = qEΔd = qE(d ₁ - d ₂) რომელშიც Δd მანძილია, რომელზეც q მუხტი ელექტრული ველის დაძაბულობის ძალწირის გასწვრივ გადაადგილდა ნულოვანი დონის მიმართ.	A = q (φ ₁ - φ ₂) = - q · Δφ Δφ – მუხტის მდებარეობის საბოლოო და საწყის წერტილებს შორის პოტენციალთა ცვლილება	A = qU

დამუხტულ სხეულთა სისტემას პოტენციური ენერგია აქვს, ანუ დამუხტულ სხეულთა სისტემას აქვს უნარი, შეასრულოს მუშაობა. დამუხტულ სხეულთა პოტენციურ ენერგიას ელექტრული, ანუ კულონური, ენერგია ჰქვია.

ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა, რომელსაც ველი ორ წერტილს შორის მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს, მუხტის ტრაექტორიის ფორმაზე დამოკიდებული არ არის. ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ელექტროსტატიკური ველის ჯამური მუშაობა ნულის ტოლია. ველს, რომლის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია, პოტენციალური (კონსერვატიული) ველი ჰქვია.

ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში უარყოფითი ფირფიტისგან d მანძილზე მუხტს პოტენციური ენერგია (W_3) აქვს, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$W_3 = qEd$$

მუხტის პოტენციური ენერგია, რომელიც ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილშია მოთავსებული, იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ველი ამ წერტილიდან ნულოვან დონემდე მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს.

ნულოვანი დონე ელექტრულ ველში ნებისმიერად შეიძლება შეირჩეს, რადგან ფიზიკური აზრი აქვს არა პოტენციურ ენერგიას (რომელიც დამოკიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე), არამედ პოტენციური ენერგიის ცვლილებას, რომლის საშუალებითაც ელექტრული ველის მუშაობა განისაზღვრება.

თუ ველის მუშაობა სხეულის ტრაექტორიის ფორმაზე დამოკიდებული არ არის, მაშინ ის ტოლია პოტენციური ენერგიის ცვლილებისა საპირისპირო ნიშნით: ელექტროსტატიკური ველის მუშაობა მუხტის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია საპირისპირო ნიშნით:

$$A = -\Delta W_3$$

ორი წერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია გამოისახება ფორმულით:

$$W = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

გარემოს (ნივთიერების) დიელექტრიკული შეღწევადობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული (E) ერთგვაროვან დიელექტრიკში იმავე მუხტების მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის მოდულზე (E_0) ვაკუუმში:

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

დიელექტრიკში ველის შესუსტების გამო იმ გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია,

ა) ნერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის დაძაბულობა გამოითვლება ფორმულით:

$$E = k \frac{|q_0|}{\epsilon r^2}$$

ბ) კულონური ძალის მოდული ϵ -ჯერ შესუსტდება. შესაბამისად, კულონის კანონის მათემატიკური ჩანაწერი ასეთ სახეს მიიღებს:

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

გ) ნერტილოვანი q მუხტის პოტენციალის ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$$

დ) ორი ნერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია გამოისახება ფორმულით:

$$W = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r}$$

კონდენსატორი

ორი გამტარის ერთობლიობას (სისტემას), რომელთა შორის დიელექტრიკის ფენაა (ფენის სისქე გამტარის ზომებთან შედარებით მცირეა), კონდენსატორი ჰქვია, თავად გამტარებს კი – კონდენსატორის შემონაფენები.

ერთ-ერთი შემონაფენის მუხტის აბსოლუტურ სიდიდეს კონდენსატორის მუხტი ჰქვია.

თუ კონდენსატორის შემონაფენების მუხტი მოდულით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო, მაშინ კონდენსატორის მთელი ელექტრული ველი შემონაფენებს შორისაა თავმოყრილი.

კონდენსატორის ელექტროტევადობა – ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც კონდენსატორის მიერ ელექტრული მუხტის დაგროვების უნარს ახასიათებს. ელექტროტევადობა არც კონდენსატორის მუხტზე (q) და არც შემონაფენებს შორის ძაბვაზე (U) დამოკიდებული არ არის. კონდენსატორის ელექტროტევადობა გამოითვლება ფორმულით:

$$C = \frac{q}{U}$$

ელექტროტევადობის ერთეული SI-ში 1 ფარადია (ფ). პრაქტიკაში გამოიყენება ელექტროტევადობის გაცილებით მცირე ერთეულები: **1 მიკროფარადი (მკფ) = 10^{-6} ფ;**

1 ნანოფარადი (ნფ) = 10^{-9} ფ;

1 პიკოფარადი (პფ) = 10^{-12} ფ.

კონდენსატორის ელექტროტევადობა დამოკიდებულია:

ა) შემონაფენებს შორის მანძილზე (d);

ბ) შემონაფენების S ფართობზე (უფრო სწორად კი, შემონაფენების ურთიერთგადაფარვის ფართობზე);

გ) იმ გარემოს დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე, რომელიც ფირფიტებს შორისაა (ϵ).

ეს დამოკიდებულება მათემატიკურად ასე გამოისახება: $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$

ϵ_0 – ელექტრული მუდმივაა, $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ კ}^2/\text{მ}^2$;

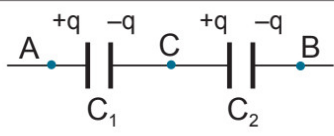
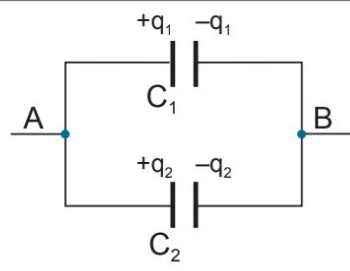
R რადიუსის მქონე გამტარი ბირთვის (სფეროს) ელექტროტევადობა გამოითვლება ასეთი ფორმულითაც: $C_s = 4\pi\epsilon_0 R$.

დამუხტული კონდენსატორის ენერგია, ანუ ის ელექტრული ენერგია, რომლის დაგროვებაც კონდენსატორის საშუალებითაა შესაძლებელი, გამოითვლება ფორმულებით:

$$W_{\text{ელ}} = \frac{qU}{2};$$

$$W_{\text{ელ}} = \frac{CU^2}{2};$$

$$W_{\text{ელ}} = \frac{q^2}{2C}.$$

კონდენსატორთა ბატარეა		
კონდენსატორთა შეერთების ტიპი:	მიმდევრობითი	პარალელური
შეერთების სქემა		
ძაბვა	$U_{\text{ბატარეა}} = U_1 + U_2$	$U_{\text{ბატარეა}} = U_1 = U_2$
მუხტი	$q_{\text{ბატარეა}} = q_1 = q_2$	$q_{\text{ბატარეა}} = q_1 + q_2$
ბატარეის ელექტროტევადობა	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$C = C_1 + C_2$
დამახასიათებელი კანონზომიერება	ძაბვები მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორებზე ტევადობების უკუპროპორციულად გადანაწილდება: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$	მუხტი პარალელურად შეერთებულ კონდენსატორებზე ტევადობების პირდაპირპროპორციულად გადანაწილდება: $\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}$ მუხტის გადანაწილება გაგრძელდება მანამდე, სანამ კონდენსატორებზე ძაბვები ერთმანეთს არ გაუტოლდება.

ა

ადიტიურობა მუხტის – მუხტის შეკრებადობის თვისება: ნებისმიერი სისტემის მუხტი სისტემაში შემავალი სხეულების (ნაწილაკების) ჯამური მუხტის ტოლია:

$$q_{\text{სისტ}} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

არაგამტარი, დიელექტრიკი, იზოლატორი – ნივთიერება (მასალა), რომელშიც დამუხტული ნაწილაკები, ელექტრონები და ატომბირთვები, ძირითადად ატომში არიან ურთიერთბეზული და მათ, გამტარის თავისუფალი მუხტებისგან განსხვავებით, ნივთიერების მთელ მოცულობაში გადაადგილება არ შეუძლიათ (დიელექტრიკებში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია ძალიან მცირეა).

• არაგამტარები, ანუ დიელექტრიკებია: მინა, ფაიფური, ებონიტი, ქარვა, პლასტმასა, გამოხდილი წყალი, აირები ჩვეულებრივ მდგომარეობაში (გარკვეულ პირობებში აირები გამტარები ხდება).

არაპოლარული დიელექტრიკი – შედგება ისეთი მოლეკულებისა და ატომებისგან, რომლებშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს ემთხვევა.

• არაპოლარული დიელექტრიკებია, მაგ., ინერტული აირები, ჟანგბადი, წყალბადი, ბენზოლი, პოლიეთილენი და სხვ.

ატომის პლანეტური მოდელი – იგივე ატომის რეზერფორდისეული მოდელი: ატომის ცენტრში დადებითად დამუხტული ბირთვია, რომლის გარშემოც წრიულ ორბიტებზე ელექტრონები ზუსტად ისევე მოძრაობენ, როგორც მზის გარშემო პლანეტები.

• ატომის ბირთვი, თავის მხრივ, დადებითად დამუხტული ნაწილაკების, პროტონებისა და უმუხტო, ნეიტრალური ნაწილაკების – ნეიტრონებისგან შედგება.

• ჩვეულებრივ, ატომის ბირთვში ზუსტად იმდენი პროტონია, რამდენი ელექტრონიც მოძრაობს ბირთვის გარშემო წრიულ ორბიტაზე.

• მთლიანობაში ატომი ნეიტრალურია.

ბ

ბირთვული ძალები – ძალები, რომლითაც ბირთვში შემავალი ნაწილაკები (პროტონები და ნეიტრონები) ურთიერთქმედებს;

• ბირთვული ძალები მოდულით დაახლოებით 100-ჯერ აღემატება ელექტრომაგნიტურ ძალებს. ისინი ბუნებაში არსებულ ძალთა შორის ყველაზე მძლავრია, ამიტომ ბირთვული ნაწილაკების ურთიერთქმედებას **ძლიერ ურთიერთქმედებას** უწოდებენ. ბირთვული ძალების მნიშვნელოვანი თავისებურებაა **ახლოქმედება**. „მოკლესხეულებიანი გოლიათი“ – ასე უწოდებენ ბირთვულ ძალებს, რომელთა მოქმედება მხოლოდ ისეთ მანძილებზე ვლინდება, რომლებიც ბირთვის ზომის ($10^{-12} - 10^{-13}$ სმ) რიგისაა.

გ

გავლენით დამუხტვა – დამუხტვა შეხების გარეშე, როცა დამუხტული სხეული და გამტარის ის მხარე, რომელიც მასთან ახლოს იმყოფება, სხვადასხვანაირი მუხტით დაიმუხტება.

გრაფიტაცია – მიზიდულობა, რომელიც სამყაროში მასის მქონე ნებისმიერ სხეულს შორის არსებობს.

გრაფიტაციული მუდმივა – იგივე მსოფლიო მიზიდულობის მუდმივა, G – პროპორციულობის კოეფიციენტი მსოფლიო მიზიდულობის კანონში. G უნივერსალური მუდმივაა: სამყაროში არსებული ყველა სხეულისთვის ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ მ}^2 / \text{კგ}^2.$$

გრავიტაციული მუხტი – სხეულის მასა, რომელიც ორ სხეულს შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ინტენსივობას განსაზღვრავს. ელექტროდინამიკაში მისი ანალოგია ელექტრული მუხტი.

გრავიტაციული ველის დაძაბულობა – გრავიტაციული ველის ძალური მახასიათებელი:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_{\text{სიმ}}}{m}$$

- გვიჩვენებს ძალას, რომლითაც დედამიწის გრავიტაციული ველი მასში მოთავსებულ ერთეულოვანი მასის სხეულზე (საცდელ გრავიტაციულ მუხტზე) მოქმედებს.
- SI-ში გრავიტაციული დაძაბულობის ერთეულია 1 ნ/კგ.
- თუ ჩავთვლით, რომ დედამიწა M მასის წერტილოვანი სხეულია, მაშინ მისი გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული ასე გამოითვლება:

$$g(r) = \frac{F_{\text{სიმ}}}{m} = G \frac{M}{r^2}$$

სადაც r ველის წყაროდან (M მასის წერტილოვანი სხეულიდან) საცდელი გრავიტაციული მუხტის დაშორებაა.

გამტარი – ნივთიერება (მასალა), რომელშიც დამუხტული ნაწილაკები თავისუფლად გადაადგილდება ნივთიერების მთელ მოცულობაში.

- **გამტარებს მიეკუთვნება:** ლითონები, მარილებისა და მჟავების წყალხსნარები (ელექტროლიტები), გრაფიტი, ჩვეულებრივი წყალი (რადგან ის მარილებს შეიცავს), ნიადაგი. მუხტის კარგი გამტარია ადამიანის (ცხოველის, ფრინველის) სხეულიც.

დ

დაელექტროება – მოვლენა, რომლის დროსაც ურთიერთშემხებ სხეულებს შორის ელექტრული მუხტები გაცალკევდება, გადანაწილდება: ელექტრონების ნაწილი ერთი სხეულიდან მეორეზე გადადის.

დაძაბულობა – ელექტრული ველის ძალური მახასიათებელი. ვექტორული სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს ძალას, რომლითაც ელექტრული ველი მასში მოთავსებულ ერთეულოვან საცდელ მუხტზე მოქმედებს.

- ელექტრული ველის დაძაბულობა ტოლია საცდელ წერტილოვან მუხტზე ველის მხრიდან მოქმედი ძალის შეფარდებისა მუხტის მოდულთან: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
- დაძაბულობის ერთეული SI-ში 1 ნ/კ-ია;
- დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას ემთხვევა.

დიელექტრიკი – ნივთიერება, რომელიც მუხტს არ ატარებს.

დიელექტრიკული შეღწევადობა გარემოსი (ნივთიერების) – ფიზიკური სიდიდე (ϵ), რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული (E) ერთგვაროვან დიელექტრიკში იმავე მუხტების მიერ შექმნილი ველის დაძაბულობის მოდულზე (E_0) ვაკუუმში:

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

დისკრეტულობა მუხტის – ბუნებაში ელემენტარულ მუხტზე უფრო მცირე მუხტი დამოუკიდებლად არ არსებობს, ყველა ნაწილაკსა და მაკროსკოპულ სხეულზე არსებული მუხტის აბსოლუტური სიდიდე ან ელემენტარული მუხტის ტოლია, ან მისი ჯერადია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მუხტი დისკრეტულია, მისი მოდული ნახტომისებურად იცვლება (e -თი, $2e$ -თი, $3e$ -თი... და ა. შ.).

D

ეკვიპოტენციალური ზედაპირი – ძალწირების მართობული ზედაპირი, რომლის ყველა წერტილს ერთი და იგივე პოტენციალი აქვს.

- დაძაბულობის ვექტორი ეკვიპოტენციალური ზედაპირის მართობულია და მიმართულია პოტენციალის ვარდნის (შემცირების) მხარეს;
- ელექტროსტატიკურ ველში ნებისმიერი გამტარის ზედაპირი ეკვიპოტენციალურია, მისი ყველა წერტილის პოტენციალი ერთნაირია.

ელექტრული მოვლენა – მოვლენა, რომლის დროსაც ზოგიერთი სხეული სხვა სხეულებთან ხახუნის შედეგად მიზიდულობის უნარს იძენს.

- ამ თვისების მქონე სხეულებს **დაელექტროებული** სხეულები ჰქვია.

ელექტროსკოპი – ხელსაწყო, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია აღმოვაჩინოთ, დამუხტულობა არაა თუ ესა თუ ის სხეული.

ელექტრომეტრი („მეტრეო“ ბერძნულად ნიშნავს „ზომავ“) – ხელსაწყო, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, არა მარტო აღმოვაჩინოთ, არამედ რაოდენობრივადაც შევაფასოთ დამუხტული სხეულის ელექტრული მუხტი.

- ელექტროსკოპის კიდევე ერთი სახეობაა, რომელსაც, მისგან განსხვავებით, სკალაც აქვს.

ელექტრონი – სუბატომური ნაწილაკი.

- ბუნებაში დამოუკიდებლად არსებული უმცირესი, განუყოფელი, ე. წ. ელემენტარული მუხტის მატარებელი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკი.
- ელექტრონის მუხტის აბსოლუტური სიდიდე ელემენტარული მუხტის ტოლია:

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ.}$$

ელექტროსტატიკა – ელექტროდინამიკის ნაწილი, რომელიც უძრავ ელექტრულ მუხტებსა და მათ ურთიერთქმედებას შეისწავლის.

ელექტროსტატიკური დაცვა – მოვლენა, რომლის დროსაც ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ელექტროსტატიკური ველი ნულის ტოლი ხდება. მეტიც, თუ დამუხტული ან ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ცარიელი სივრცეა, მაშინ ამ სივრცის ნებისმიერ წერტილშიც დაძაბულობა ნულის ტოლია.

ელექტროსტატიკური ინდუქცია – მოვლენა, რომლის დროსაც გარე ელექტრულ ველში გამტარის მოთავსებისას გამტარის ურთიერთსაპირისპირო კიდეებზე სხვადასხვა ნიშნის მუხტი გროვდება (ინდუცირდება).

ელექტროსტატიკური მოვლენა – მოვლენა, რომელიც დაკავშირებულია ხახუნისას დიელექტრიკში ან იზოლირებულ გამტარში ჭარბი მუხტის დაგროვებასთან.

- ხახუნისას (შეხებისას) დაელექტროებულ სხეულებზე დაგროვილ მუხტს **ელექტროსტატიკურ მუხტს** უწოდებენ;
- ხახუნით დაელექტროებული სხეულების ურთიერთქმედებას **ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება** ჰქვია.

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება – ურთიერთქმედება, რომელიც დამუხტულ ნაწილაკებს (სხეულებს) შორის აღიძვრება და სხეულთა მასებზე დამოკიდებული არ არის.

- გრავიტაციული ურთიერთქმედებისგან განსხვავებით, რომლის დროსაც სხეულებს შორის ყოველთვის მიზიდულობის ძალები მოქმედებს, ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ვლინდება როგორც მიზიდვის, ისე განზიდვის სახით.

ელექტროტევადობა – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც კონდენსატორის მიერ მუხტის დაგროვების უნარს ახასიათებს.

- ელექტროტევადობა არც კონდენსატორის მუხტზე (q) და არც შემონაფენებს შორის დაბ-ვაზე (U) დამოკიდებული არ არის და გამოითვლება ფორმულით:

$$C = \frac{q}{U}$$

• **ელექტროტევადობა დამოკიდებულია:** შემონაფენებს შორის მანძილზე (d), შემონაფენების S ფართობზე (უფრო სწორად კი, შემონაფენების ურთიერთგადაფარვის ფართობზე), იმ გარემოს დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე, რომელიც ფირფიტებს შორისაა (ϵ):

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad \epsilon_0 - \text{ელექტრული მუდმივაა.}$$

ელექტროფორული მანქანა – ელექტროსტატიკური გენერატორი, რომელშიც ელექტრული მუხტები ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგად მიიღება. მოწყობილობა, რომელშიც მექანიკური ენერგია ელექტრულად გარდაიქმნება.

ელექტრული მუხტი – სკალარული სიდიდე, რომლიც დამუხტულ ნაწილაკებს (სხეულებს) შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ინტენსივობას განსაზღვრავს.

- ბუნებაში ორგვარი ელექტრული მუხტია: დადებითი და უარყოფითი.
- ერთნაირნიშნის მუხტის მქონე ნაწილაკები განიზიდება, ხოლო საპირისპირო ნიშნის მქონენი – მიიზიდება.

ელექტრული ძალა – ძალა, რომლითაც ელექტრული ველი დამუხტულ ნაწილაკზე (სხეულზე) მოქმედებს.

$$\text{ელექტრული მუდმივა} - \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ კ}^2/\text{ფმ}^2.$$

ენერგიის მუდმივობის კანონი – ენერგია არაფრისგან არ წარმოიქმნება და არც უკვალოდ ქრება. იგი ერთი სახის ენერგიიდან მეორე სახის ენერგიად გარდაიქმნება ან სხვა სხეულს გადაეცემა.

ერთგვაროვანი ელექტრული ველი – ველი, რომლის დაძაბულობა სივრცის ყველა წერტილში ერთნაირია. სივრცის განსაზღვრულ არეში ელექტრული ველი შეიძლება ერთგვაროვნად ჩავთვალოთ, თუ ველის დაძაბულობა ამ არეში უმნიშვნელოდ იცვლება. მაგ., ერთგვაროვნად შეიძლება ჩაითვალოს ელექტრული ველი ორ პარალელურ ფირფიტას შორის, თუ ფირფიტების ზედაპირზე სიდიდით ტოლი და სხვადასხვანიშნის მუხტი თანაბრად განაწილებული.

3

ვოლტი (ვ) – პოტენციალის, ძაბვის ერთეული SI-ში.

ველი (ელექტრული, გრავიტაციული, მაგნიტური) – მატერიის არსებობის განსაკუთრებული ფორმა. ველს არ აქვს ფერი, სუნი, გემო, არ შეიძლება მისი დანახვა და ხელით შეხება. ის, ნივთიერებისგან განსხვავებით, ნაწილაკებისგან არ შედგება. ველი ჩვენი ცნობიერებისგან დამოუკიდებლად არსებობს.

• ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თანამედროვე თეორიის თანახმად, ნებისმიერი დამუხტული სხეული თავის გარშემო ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის საშუალებითაც სხვა დამუხტულ სხეულთან ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ხორციელდება: დამუხტული ნაწილაკები უშუალოდ არ მოქმედებენ ერთმანეთზე. ერთი დამუხტული ნაწილაკის ელექტრული ველი მეორე ნაწილაკზე მოქმედებს და პირიქით.

• ელექტრული ველის მთავარი თვისებაა, გარკვეული ძალით იმოქმედოს ველში მოთავსებულ სხვა დამუხტულ სხეულზე (საცდელ ელექტრულ მუხტზე).

თ

თავისუფალი ელექტრონი – ატომში გარე შრეზე მოძრავი ელექტრონი, რომელიც შედარებით სუსტადაა დაკავშირებული ბირთვთან: ის ბირთვს სწყდება და ატომთაშორის სივრცეში გადაადგილდება.

ი

იზოლირებული სისტემა – სხეულთა (ნაწილაკთა) ჩაკეტილი სისტემა, ანუ ისეთი სისტემა, რომელშიც გარედან არ შედის და რომლიდანაც გარეთ არ გამოდის დამუხტული ნაწილაკები.

იზოლატორი – არაგამტარი სხეული, რომელსაც დიელექტრიკებისგან ამზადებენ.

ინვარიანტულობა მუხტის – სხეულის (ან ნაწილაკის) მუხტის მოდული ათვლის სისტემაზე დამოკიდებული არ არის. მუხტი სიჩქარეზე დამოკიდებული არ არის.

იონი – დამუხტული სუბატომური ნაწილაკი.

- თუ ატომი მიიერთებს ზედმეტ ელექტრონს, მაშინ **უარყოფითი იონი** წარმოიქმნება;
- თუ ატომი დაკარგავს ელექტრონს, **დადებითი იონი** მიიღება.

კ

კავენდიში ჰენრი (1731 – 1810) – ინგლისელი ქიმიკოსი და ფიზიკოსი. ექსპერიმენტულად განსაზღვრა გრავიტაციული მუდმივას ზუსტი მნიშვნელობა.

კლასიკური ელექტროდინამიკა – ფიზიკის დარგი, რომელიც მაკროსამყაროში ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თეორიას (ელექტრულ მუხტებს (დამუხტულ სხეულებს) შორის ურთიერთქმედებასა და მათზე ელექტრული ველის ზემოქმედებას) შეისწავლის, მიკროსამყაროში კი ასეთი ტიპის ურთიერთქმედებას კვანტური ელექტროდინამიკა სწავლობს.

- კლასიკური ელექტროდინამიკის ძირითადი ცნებებია ელექტრული მუხტი და ელექტრული ველი.

კონდენსატორი – ორი გამტარის ერთობლიობა (სისტემა), რომელთა შორის დიელექტრიკის ფენაა (ფენის სისქე გამტარის ზომებთან შედარებით მცირეა). გამტარებს **კონდენსატორის შემონაფენები** ჰქვია.

კულონი შარლ ოგიუსტენი – ფრანგი მეცნიერი (1736 – 1806).

- მუხტის ერთეული SI-ში.

კულონის კანონი – ელექტროსტატიკის ძირითადი კანონი: ვაკუუმში ორ ნერტილოვან უძრავ დამუხტულ სხეულს შორის ურთიერთქმედების ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

- კულონის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

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

სადაც k პროპორციულობის კოეფიციენტი, $|q_1|$ და $|q_2|$ მუხტების აბსოლუტური სიდიდეებია (მოდულებია), ხოლო r მუხტებს შორის მანძილია.

- SI-ში k -ს რიცხვითი მნიშვნელობაა: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{ნმ}^2}{\text{კ}^2}$

- k რიცხობრივად იმ ძალის მოდულის ტოლია, რომელიც 1 კ მუხტებს შორის 1 მ მანძილზე მოქმედებს.

- SI-ში k პროპორციულობის კოეფიციენტი ასეც შეიძლება ჩაიწეროს:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \epsilon_0 \text{ ელექტრული მუდმივაა.}$$

- კულონის კანონი შეიძლება ასეც ჩაიწეროს: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$

- კულონური ძალები მუხტების (მათი ცენტრების) შემაერთებელი წრფის გასწვრივ მიმართული და ძალის მიმართულება იმის მიხედვით განისაზღვრება, მუხტები ერთნაირნიშნისა თუ სხვადასხვანიშნისა.

კულონური ურთიერთქმედება – იგივე ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება, ანუ უძრავი ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედება.

კულონური ძალა – ძალა, რომელიც კულონური ურთიერთქმედებისას აღიძვრება, ანუ ძალა, რომლითაც უძრავი ელექტრული მუხტები ურთიერთქმედებენ.

ა

მასური რიცხვი – ბირთვში ნეიტრონებისა და პროტონების საერთო რაოდენობას გვიჩვენებს (ანუ მათში გამოსახულ მათ საერთო მასას). მასური რიცხვი A ასოთი აღინიშნება.

მაქსველი ჯეიმს კლერკ (1831 – 1879) – ინგლისელი მეცნიერი.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი – აღწერს ნებისმიერი ორი სხეულის (ნივთიერი ნერტილის) ურთიერთქმედებას:

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

მუხტი (იხ. ელექტრული მუხტი) – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც დაელექტროებული სხეულების ელექტრული ურთიერთქმედების უნარს ახასიათებს. ელექტრული მუხტი აღინიშნება q ასოთი.

- მუხტის ერთეული SI-ში 1 კულონია.

- **დადებითი მუხტი** – მუხტი, რომელიც მიიღება მინის ჯოხზე აბრეშუმის ქსოვილთან მისი ხახუნისას.

- **უარყოფითი მუხტი** – მუხტი, რომელიც ებონიტის ჯოხზე მიიღება ჯოხის შალის ქსოვილთან გახახუნებით.

- ნებისმიერი სხეულის მუხტი ასე გამოითვლება: $q = ne$, სადაც n მთელი რიცხვია და გადა-ნაცვლებული ელექტრონების რაოდენობას გვიჩვენებს, ხოლო e ელემენტარული მუხტია.

მუხტის შენახვის კანონი – ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი სხეულების (ნაწილაკების) ჯამური ელექტრული მუხტი არ იცვლება: $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$

ბ

ნეიტრონი – უმუხტო, ნეიტრალური ნაწილაკი, რომელიც შედის ატომის ბირთვის შემადგენლობაში.

- ნეიტრონის მუხტი 0-ის ტოლია, ხოლო მასა 1838,7-ჯერ მეტია ელექტრონის მასაზე.

ნიუტონი ისააკ (1643 – 1727) – ინგლისელი მეცნიერი.

- ძალის ერთეული SI-ში.

ვ

პოლარული დიელექტრიკი – შედგება ისეთი მოლეკულებისგან, რომლებშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა, ანუ ასეთი დიელექტრიკის მოლეკულები დიპოლებს წარმოადგენს, რომლებსაც ორი პოლუსი აქვთ – დადებითი და უარყოფითი.

- პოლარული დიელექტრიკებია: წყალი, სპირტი, ამიაკი და სხვ.

პოლარიზაცია დიელექტრიკის – მოვლენა, რომლის დროსაც ელექტრულ ველში მოთავსებულ დიელექტრიკში დადებითი და უარყოფითი მუხტები საპირისპირო მხარეს წანაცვლდება.

პოტენციალი ელექტრული – სკალარული სიდიდეა, რომელიც ველის ენერგეტიკული მახასიათებელია და რიცხობრივად გვიჩვენებს, რისი ტოლია ველის მოცემულ ნერტილში მოთავსებული ერთეულოვანი მუხტის ენერგია. პოტენციალი ϕ ასოთი აღინიშნება და ასე გამოითვლება: $\phi = \frac{W}{q}$.

- ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში იმ ნერტილის პოტენციალი, რომელიც ნულოვანი დონიდან d მანძილითაა დაშორებული, გამოისახება ფორმულით: $\phi = Ed$.

- SI-ში პოტენციალის ერთეულია 1 ვოლტი (ვ).

პოტენციალური ველი (იგივე კონსერვატიული ველი) – ველი, რომლის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია.

- გრავიტაციული და ელექტროსტატიკური ველები პოტენციალური ველებია.

პოტენციური ენერგია მუხტის – ელექტრულ ველში მუხტს აქვს პოტენციური ენერგია (W_3), რომელიც გამოითვლება ფორმულით: $W_3 = qE d$.

- მუხტის პოტენციური ენერგიის ფიზიკური აზრი ასეთია: მუხტის პოტენციური ენერგია, რომელიც ელექტროსტატიკური ველის მოცემულ წერტილშია მოთავსებული, იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ველი ამ წერტილიდან ნულოვან დონემდე მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს.

პროტონი – დადებითად დამუხტული ნაწილაკი, რომელიც ატომის ბირთვის შემადგენლობაში შედის.

- ჩვეულებრივ, ატომის ბირთვში ზუსტად იმდენი პროტონია, რამდენი ელექტრონიც მოძრაობს ბირთვის გარშემო წრიულ ორბიტაზე.
- პროტონის მასა 1836,1-ჯერ აღემატება ელექტრონის მასას.
- პროტონის მუხტი დადებითია და აბსოლუტური სიდიდით ელექტრონის მუხტის ტოლია.

ს

სუპერპოზიციის პრინციპი – („სუპერპოზიცია“ „ზედდება“ ნიშნავს). ელექტრული ველების სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, შესაძლებელია, სივრცის ერთსა და იმავე წერტილში რამდენიმე სხვადასხვა მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი ერთდროულად არსებობდეს. ეს ველები ამ წერტილში შეტანილ საცდელ მუხტზე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მოქმედებს, ანუ როგორც ამბობენ, ამ წერტილში **ელექტრული ველების ზედდება** ხდება.

- თუ სივრცის მოცემულ წერტილში დამუხტული ნაწილაკები ქმნიან ელექტრულ ველებს (რომელთა დაძაბულობებია $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots$ და ა. შ.), მაშინ ველის ჯამური დაძაბულობა ამ წერტილში თითოეული ნაწილაკის ველის დაძაბულობათა გეომეტრიული ჯამის ტოლია:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \vec{E}_n$$

- თუ სივრცის რომელიმე წერტილში ელექტრული ველი რამდენიმე მუხტის ველის ზედდების შედეგად იქმნება, მაშინ ჯამური ელექტრული ველის პოტენციალი თითოეული მუხტის ველის პოტენციალთა **ალგებრული ჯამის** ტოლია: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$

სტატიკური ელექტრობა – ხახუნისას წარმოქმნილი ელექტრული მუხტები.

ფ

ფარადეი მაიკლ (1791–1867) – ინგლისელი მეცნიერი.

ფარადი (ფ) – ელექტროტევადობის ერთეული SI-ში.

- პრაქტიკაში გამოიყენება ელექტროტევადობის გაცილებით მცირე ერთეულები:

$$1 \text{ მიკროფარადი (მკფ)} = 10^{-6} \text{ ფ;}$$

$$1 \text{ ნანოფარადი (ნფ)} = 10^{-9} \text{ ფ;}$$

$$1 \text{ პიკოფარადი (პფ)} = 10^{-12} \text{ ფ.}$$

ფუნდამენტური ურთიერთქმედება – ურთიერთქმედება, რომელიც სხვა სახის ურთიერთქმედებებით არ აღიწერება. თანამედროვე ფიზიკაში ბუნებაში არსებული **ოთხი ფუნდამენტური ურთიერთქმედება**ა ცნობილი: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი.

ჩ

ჩაკეტილი სისტემა – სხეულთა (ნაწილაკთა) სისტემა, ანუ ისეთი სისტემა, რომელშიც გარედან არ შედის და რომლიდანაც გარეთ არ გამოდის დამუხტული ნაწილაკები.

დ

ძაბვა ელექტრული – ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა, ტოლია საწყისიდან საბოლოო წერტილში მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტის მოდულთან:

$$U = \frac{A}{q}$$

- ისევე, როგორც პოტენციალი, ძაბვაც ელექტრული ველის ენერგეტიკული მაჩვენებელია;
- პოტენციალისგან განსხვავებით, ძაბვის მნიშვნელობა ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული არ არის. ძაბვა ველის ორ წერტილს შორის განისაზღვრება და რიცხობრივად გვიჩვენებს, რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი ამ ორ წერტილს შორის 1 კულონი მუხტის გადაადგილებისას;
- კავშირი ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულსა და ძაბვას შორის ასე გამოისახება: $U = E \Delta d$
- ძაბვის ერთეული SI-ში 1 ვოლტია.

ძალწირები – ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები, ანუ წირები, რომელთა ნებისმიერ წერტილში გავლებული მხები ამ წერტილში დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას ემთხვევა.

- ძალწირების მიხედვით შეგვიძლია:
 1. განვსაზღვროთ ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის მიმართულება: ნებისმიერ წერტილში $\vec{E}$ ვექტორი ამ წერტილში გავლებული მხების გასწვრივია მიმართული;
 2. შევაფასოთ ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული: წირების სიხშირე მეტია იქ, სადაც ველის დაძაბულობა უფრო ძლიერია.

ე

წერტილოვანი მუხტი – რეალურად არ არსებობს, ის ისეთივე აბსტრაქციაა, როგორიც მატერიალური წერტილი. თუ დამუხტულ სხეულთა ზომები გაცილებით მცირეა მათ შორის მანძილზე, დამუხტული სხეულები (მათი მუხტი) შეიძლება წერტილოვნად ჩაითვალოს.

ჟ

ჯოული – ა) მუშაობის ერთეული SI-ში: 1 ჯ = 1 ნ·მ;
ბ) ენერგიის ერთეული SI-ში.

თავის შავაჯამებული ტესტების პასუხები

ტესტი №1

1. ა – III; ბ – III; გ – II; დ – I; ე – IV;
 2. ა – III; ბ – IV; გ – I;
 3. ა – IV; ბ – II; გ – I;
 4. ა – III; ბ – III; გ – II; დ – II; ე – I;
 5. გ; 6. გ; 7. ბ; 8. გ; 9. გ; 10. ა;
 11. ა; 12. ა; 13. გ; 14. ბ; 15. გ.

ტესტი №2

1. ა; 2. ა; 3. ბ; 4. გ; 5. ბ; 6. გ;
 7. ბ; 8. გ; 9. გ; 10. ბ; 11. ბ; 12. გ.

დამატებითი კითხვების, ამოცანების პასუხები

თავი I

§ 1.1

20.

ქიმიური ელემენტი	ატომური ნომერი Z	მასური რიცხვი A	პროტონების რაოდენობა	ელექტრონების რაოდენობა	ნეიტრონების რაოდენობა N
ურანი	92	238	92	92	146

21.

ქიმიური ელემენტი	ატომური ნომერი Z	მასური რიცხვი A	პროტონების რაოდენობა	ელექტრონების რაოდენობა	ნეიტრონების რაოდენობა N
წყალბადი	1	1	1	1	0
ჰელიუმი	2	4	2	2	2
ლითიუმი	3	7	3	3	4
ფოსფორი	15	31	15	15	16

§ 1.2

15. ცნობილია, რომ აბრეშუმზე ხახუნისას მინის ჯოხი დადებითად იმუხტება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ელექტრონები ჯოხიდან აბრეშუმზე გადადის. ე. ი. აბრეშუმის ატომბირთვები გაცილებით უფრო ძლიერად იზიდავს ელექტრონებს.
16. ზამთრობით ჰაერის ტენიანობა დაბალია (განსაკუთრებით შენობებში, რომლებშიც გამათბობელი სისტემებია დამონტაჟებული). მაღალი ტენიანობის დროს ტენიანია არა მარტო ჰაერი, არამედ სხეულთა ზედაპირებიც. წყლის თხელი აპკი სხეულთა ზედაპირზე ხელს უშლის ელექტრონთა გადანაცვლებას ერთი სხეულიდან მეორეზე.

§ 1.3

12. უარყოფითად დამუხტულ ჯოხზე ელექტრონების სიჭარბეა. თუ ჯოხს ნეიტრალურ სფეროს (სფეროს ნაცვლად შეგიძლია დაუმუხტავი ელექტროსკოპი გამოიყენო) შეახებ, ელექტრონები ჯოხიდან სფეროზე (ელექტროსკოპზე) გადავა და ეს უკანასკნელი უარყოფითად დაიმუხტება. თუ უარყოფითად დამუხტულ სფეროს (ელექტროსკოპს) ხელს შეახებ, ჭარბი ელექტრონები სფეროსა და შენს ხელს შორის გადანაწილდება. რადგან შენი სხეულის ზედაპირის ფართობი გაცილებით აღემატება დამუხტული სფეროს ზედაპირის ფართობს, ძირითადი მუხტი შენს ხელზე გადავა, ხოლო სფეროზე მხოლოდ უმნიშვნელო მუხტი დარჩება, ანუ სფერო განი-
მუხტება.
13. თუ დადებითად დამუხტულ სფეროს ხელს შეახებ, ელექტრონები ხელიდან სფეროზე გადავა და ამ უკანასკნელის დადებით მუხტს გაანეიტრალებს, ანუ სფერო განიმუხტება.
14. ა) მუხტი ნულის ტოლი გახდება – ბურთულა განიმუხტება.
ბ) ბურთულის მასა
 - შემცირდება, თუ ბურთულა უარყოფითად იყო დამუხტული (ბურთულა დაკარგავს ჭარბ ელექტრონებს);
 - გაიზრდება, თუ ბურთულა დადებითად იყო დამუხტული (ბურთულა შეივსებს ელექტრო-
ნების დანაკლისს).
15. ფურცლებს შორის კუთხე შორის კუთხე
 - ა) გაიზარდა, რაც იმას ნიშნავს, რომ B სხეული დადებითად იყო დამუხტული;
 - ბ) შემცირდა, რაც იმას ნიშნავს, რომ B სხეული უარყოფითად იყო დამუხტული;
 - გ) ნულის ტოლი გახდა, რაც იმას ნიშნავს, რომ B სხეული უარყოფითად იყო დამუხტული; და მისი უარყოფითი მუხტის აბსოლუტური სიდიდე A სხეულის მუხტის სიდიდის ტოლია.

§ 1.4

17. $-1,28 \cdot 10^{-18}$ კ.
19. ა) $-1,28 \cdot 10^{-17}$ კ.
20. რადგან ლითიუმის ატომის რიგითი ნომერი მენდელეევის ტაბულაში $Z = 3$, მაშასადამე, მისი ატომის ბირთვში სამი პროტონია. ბირთვის მუხტი კი განისაზღვრება პროტონების მუხტით: $q_{\text{ბირთ}} = +n_{\text{პრო}} e = +4,8 \cdot 10^{-19}$ კ.
21. $+6 \cdot 10^{-19}$ კ.
22. ა) 0; ბ) $+3,2 \cdot 10^{-19}$ კ.
23. ა) $-3,2 \cdot 10^{-19}$ კ; ბ) 0.
24. ა) $-14e$; ბ) 0; გ) $+6e$; დ) $+14e$.
25. $q = -n_{\text{ელ}} e = -9,6 \cdot 10^{-6}$ კ.
26. $n = q/e = 5 \cdot 10^{12}$.
27. დაკარგა. $n = q/e = 2 \cdot 10^9$.
28. $n = |q|/e = 4 \cdot 10^9$.
29. არსებობს. $n = q/e = 17$.
30. ა) $q_B = q/2$, $q_C = q/4$, $q_D = q/8$. A ელექტროსკოპზე დარჩება მუხტი: $q_A = q/8$.
ბ) $q_A = q_B = q_C = q_D = q/4$.
31. -4 ნკ.
32. 3 ნკ.

§ 1.5

9. 2)
10. 4)
11. $9 \cdot 10^9$ ნ.
12. ა) 2-ჯერ გაიზრდება; ბ) 9-ჯერ შემცირდება; გ) 16-ჯერ გაიზრდება;
დ) 4-ჯერ შემცირდება; ე) 8-ჯერ გაიზრდება. ვ) 36-ჯერ შემცირდება;
ზ) 36-ჯერ გაიზრდება.
13. გ) $6,75 \cdot 10^{-2}$ ნ.
14. $\approx 4,2 \cdot 10^{42}$ -ჯერ აღემატება.
16. 18 ნკ.
17. $\approx 10^{-5}$ კ.
18. 10^{-5} კ.
19. 2,8 ნკ.
20. $1,5 \cdot 10^{-5}$ ნ.
21. 9 სმ.
22. $9 \cdot 10^{-2}$ ნ.
23. 10 სმ.
24. $\approx 2,3 \cdot 10^{-12}$ ნ.
25. $n = 1, 25 \cdot 10^9$.
26. $n = 10^{11}$.

§ 1.6

2. 0,81 მვ. 3. 1 მკნ; $\approx 0,7$ მკნ.
4. ა) 9/5-ჯერ გაიზარდება; ბ) 5/4-ჯერ შემცირდება.
5. ა) 16/7-ჯერ გაიზარდება; ბ) 9/7-ჯერ გაიზარდება.
7. 1,25 რ. 8. 1,8 მვ. 9. 2 მვ. 10. C წერტილში 2,25-ჯერ მეტია.
11. მესამე მუხტი პირველი და მეორე მუხტის შემაერთებელ წრფეზე, მათ შორის უნდა მოვათავსოთ: მცირე მუხტიდან 1 სმ-ის დაშორებით.
12. მესამე მუხტის მოდულია 40 ნკ. მდებარეობს პირველი და მეორე მუხტის შემაერთებელ წრფეზე, მათ შორის: მცირე მოდულის მუხტიდან 10 სმ-ის დაშორებით. სისტემის წონასწორობა არამდგრადია.
13. $|q_0| = q_1 \sqrt{3/3} = 3\sqrt{3}$ ნკ. 14. $|q_0| = q(1 + 2\sqrt{2})/4$, ამასთან $q_0 < 0$.
15. ა) ერთნაირია; ბ) მეორის გადახრის კუთხე მეტია. 17. $q = \ell \sqrt{\frac{2mg}{k}}$.

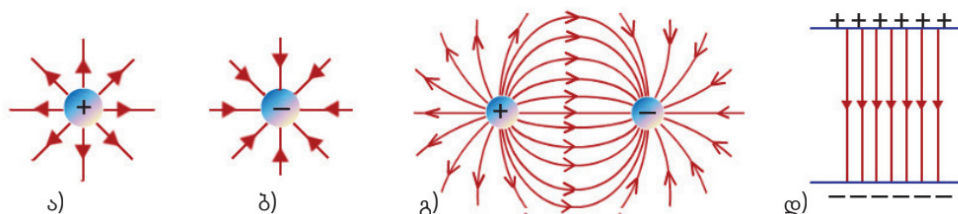
თავი II

§ 2.1

16. 50 ნ/კ. 17. 1,8 მვ. 19. $9 \cdot 10^4$ ნ/კ. 20. 8100 ნ/კ.
21. ა) $3,2 \cdot 10^{-13}$ ნ; ბ) $\approx 3,5 \cdot 10^{17}$ მ/წმ². 22. 10^9 მ/წმ²; 10^{-5} წმ.
23. $2 \cdot 10^{-14}$ კ; წვეთი უარყოფითადაა დამუხტული და მასზე $1,25 \cdot 10^5$ ჭარბი ელექტრონია.
24. 300 კნ/კ. 25. $m = eE/g \approx 2,1 \cdot 10^{-18}$ კგ; $r = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}} \approx 7,9 \cdot 10^{-8}$ მ.

§ 2.2

6.



სურ. 1.

7. B წერტილში ძალწირების სიხშირე მეტია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ველის დაძაბულობის მოდული მეტია.
8. ველის ძალწირი წარმოსახვითი წირია, რომლის ნებისმიერ წერტილში მხების გასწვრივ მიმართულია ამ წერტილში შეტანილ საცდელ მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალისა და, შესაბამისად, აჩქარების ვექტორი (და არა სიჩქარის ვექტორი!). ასე რომ, გამოთქმული მოსაზრება სწორი არ არის: ტრაექტორია არის წირი, რომლის მხების გასწვრივაცაა მიმართული სიჩქარის ვექტორი და არა აჩქარების.

§ 2.3

2. 4,4 კნ/კ; 4,7კნ/კ.
3. q_2 მუხტი მოთავსებულია q_1 მუხტსა და საძებნ წერტილს შორის და საძებნი წერტილიდან 40 სმ-ითაა დაშორებული.
4. $E \approx 0,12$ კნ/კ. 5. 64 ნ/კ. 6. $E = 4\sqrt{2}k \frac{|q_1|}{a^2} \approx 0,57$ კნ/კ. 7. $E = 6k \frac{|q_1|}{a^2} = 6$ კნ/კ.

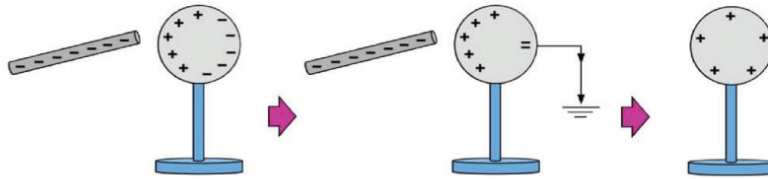
§ 2.4

9.



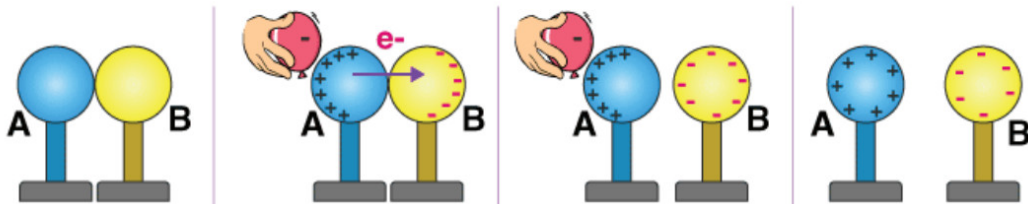
სურ. 2

10.



სურ. 3

11.



სურ. 4

12. ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგად მუხტები ისე გადანაწილდება გამტარ სფეროებში, როგორც ეს მე-5 სურათზეა გამოსახული:



ა)

ბ)

სურ. 5

ა – როცა ბირთვები ერთნაირნიშნის მუხტებითაა დამუხტული;

ბ – როცა ბირთვები სხვადასხვანიშნის მუხტებითაა დამუხტული.

ა-დან ჩანს, რომ ერთნაირნიშნის მუხტები უფრო მეტ მანძილზე განლაგდება ერთმანეთისგან, ვიდრე სხვადასხვანიშნის (ბ). შესაბამისად, სხვადასხვანიშნის ბირთვების მიზიდვის ძალის მოდული მეტი იქნება, ვიდრე ერთნაირნიშნის განზიდვის ძალისა.

13. ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგად, B ელექტროსკოპი უარყოფითად დაიმუხტება, C ელექტროსკოპი კი – დადებითად.

14. ჯოხი დადებითად იყო დამუხტული, ელექტროსკოპის სფერო კი – უარყოფითად.

15. ლითონის ღეროს ის მხარე, რომელსაც დადებითად დამუხტული სფერო მიუახლოვებს, უარყოფითად დაიმუხტება (ამ ბოლოსკენ წაინაცვლებს ლითონის თავისუფალი ელექტრონები). ღეროს ის ბოლო, რომელიც ცილინდრს ეხება და თავად ცილინდრიც დადებითად დაიმუხტება. დადებითად დამუხტული ცილინდრი კი ღეროსგან განიზიდება.

16. 0; 90 კნ/კ.

17. ა) $4,4 \cdot 10^{-9}$ კ; ბ) 0.

18. $E \approx 5,8 \cdot 10^{11}$ ნ/კ; $F \approx 9,3 \cdot 10^{-8}$ ნ.

19. $\approx -5,9 \cdot 10^5$ კ.

§ 2.5

15. ზეთის დიელექტრიკული შეღწევადობაა 2,5. ე. ი. დაძაბულობის მოდული 2,5-ჯერ გაიზარდება. $E = 3,75 \cdot 10^6$ ნ/კ.
16. $\varepsilon = 2$. 17. ≈ 20 სმ. 18. $1,2 \cdot 10^3$. 19. $\varepsilon = \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = 2$. 20. $2 \cdot 10^{-7}$ ნ.
21. $5,4 \cdot 10^{-3}$ კ. 22. $r_1 = r_2 / \sqrt{\varepsilon} = 10 \sqrt{3}$ სმ.
23. 6 სმ-ით. 24. $r_2 = \varepsilon_1 r_1 / \sqrt{\varepsilon_2}$. 25. ა) 20 ნკ; ბ) $1,25 \cdot 10^{11}$.

§ 2.6

8. ერთნაირია.
9. გადაადგილება ძალწირების მართობულად ხდება, ამიტომ ველის მუშაობა ნულის ტოლია.
10. 2 ჯ. 11. -0,5 მკვ; 0,5 მკვ. 12. ა) 30 მკვ; -30 მკვ; ბ) -30 მკვ; 30 მკვ.

§2.7

18. ელექტროსტატიკური ველის წერტილის პოტენციალი არ არის დამოკიდებული იმ მუხტის მოდულზე, რომელიც ამ წერტილშია მოთავსებული. პოტენციალი ისევ 2 ვ იქნება.
19. 30 ჯ. 20. ა) 10 მკვ; ბ) -10 მკვ. 21. 2 ვ. 22. 20 ვ.
23. 6 კვ. 24. 5 000 ვ/მ. 25. 9 ვ.

§ 2.8

7. $8 \cdot 10^{-16}$ ჯ. 8. $q - q_1 = \frac{mgd}{(1+U/\Delta U)U}$. 10. 0,5 მკნ. 11. 500 ვ.
12. 90 კვ.
13. საძიებელი წერტილი მუხტების შემადგენელ წრფეზე, მუხტებს გარეთ, q_2 მუხტიდან 12 სმ-ზე მდებარეობს. $\varphi = 375$ ვ.
14. $x = 12$ სმ; $E = 37,5$ ნ/კ. 15. გაიზრდება 4,5 მკვ-ით. 16. $A_{\text{გარე ძალა}} = kq^2 / r$.

§ 2.9

18. 5 მკვ. 19. 10^{-4} კ. 20. 30 პფ. 21. არ შეიძლება. 23. 1,6 მ². 24. 11,3.
25. 102 ვ. 26. $\approx 6,8$.
27. მუხტი უცვლელი დარჩება. ძაბვა 2-ჯერ შემცირდება და 50 ვ-ის ტოლი გახდება.
28. ძაბვა უცვლელი დარჩება. მუხტი ε -ჯერ გაიზრდება.
29. 16-ჯერ გაიზრდება. 30. $U_0 = 100$ ვ; $W_0 = 0,1$ ჯ.
31. ა) შემონაფენებს შორის ძაბვა არ იცვლება. კონდენსატორის ელექტროტევადობა 2-ჯერ შემცირდება. კონდენსატორის ენერგია 2-ჯერ შემცირდება ($W = CU^2/2$);
ბ) კონდენსატორის მუხტი არ შეიცვლება. ელექტროტევადობა 2-ჯერ შემცირდება. კონდენსატორის ენერგია 2-ჯერ გაიზრდება ($W = q^2/2C$).

§ 2.10

1. 180 ვ; 120 ვ. 2. $3 \cdot 10^{-7}$ კ. 3. ა) 2/3 მკვ; ბ) 3 მკვ.
5. ლითონის მავთულით შეერთების შემდეგ ორივე გამტარის პოტენციალი ტოლი გახდება. ჯამური მუხტი მათზე ტევადობების პროპორციულად გადანაწილდება. პირველი გამტარის მუხტი შეერთების შემდეგ 10^{-7} კ იქნება, ხოლო მეორისა - $3 \cdot 10^{-7}$ კ.
6. 80 ვ; 40 ვ. გაითვალისწინე: მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების მუხტი ერთნაირია.
7. $q_1 = 10^{-5}$ კ; $q_2 = 4 \cdot 10^{-6}$ კ; $q_3 = 6 \cdot 10^{-6}$ კ.

ფიზიკურ სიდიდეთა სხრილები

ნაწილაკი	მუხტი	მასა	მასის ატომური ერთეული (მაე)
ელექტრონი	-1 $-1,6 \cdot 10^{-19}$ კ	$9,11 \cdot 10^{-29}$ გ	0,0005 (1/1840)
პროტონი	+1 $+1,6 \cdot 10^{-19}$ კ	$1,6726 \cdot 10^{-24}$ გ	1
ნეიტრონი	0	$1,6749 \cdot 10^{-24}$ გ	1

ზოგიერთი ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევა

ჰაერი	1,00059
ნავთი	2,1
პარაფინი	2,1
ზეთი	2,5
ქარსი	6
მინა	7
ეთილის სპირტი	27
წყალი	81

ველის დაკავშირების გამოსათვლელი ფორმულები სხვადასხვა გეომეტრიული ფორმის წყაროს შემთხვევაში

ველის წყარო	დაძაბულობის მოდული	
ნერტილოვანი მუხტი	$E = k q /r^2$	
გამტარი სფერო (ბირთვი), R რადიუსით. მუხტი სფეროს (ბირთვის) ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული.	$E = k q /r^2$, თუ $r > R$	$E = 0$, თუ $r \leq R$
დიელექტრიკის ბირთვი, R რადიუსით. მუხტი ბირთვის მოცულობაში თანაბრად განაწილებული.	$E = k q /r^2$, თუ $r \geq R$	$E = k q r / R^3$, თუ $r < R$
თანაბრად დამუხტული ცილინდრი, R რადიუსით, სიმაღლით h.	$E = k2\lambda/r$, თუ $r \geq R$, $r \leq h$	λ - ხაზოვანი სიმკვრივეა, რომლითაც ცილინდრის ან უსასრულო გამტარის ზედაპირზე მუხტის განაწილება ხასიათდება. თუ q მუხტი თანაბრად განაწილებული გამტარის ან ცილინდრის ზედაპირზე l სიგრძეზე, მაშინ $\lambda = q/l$
თანაბრად დამუხტული უსასრულო სიბრტყის ველი	$E = 4\pi k\sigma$	σ - ზედაპირული სიმკვრივეა, რომლითაც სიბრტყეზე მუხტის განაწილება ხასიათდება. თუ q მუხტი თანაბრად განაწილებული S ფართობის ზედაპირზე, მაშინ $\sigma = q/S$.

დანართი 1. ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულუბის ცხრილი

1.00794

H

წყალბადი

3

9.012

Be

ბერილიუმი

11

22.990

Na

ნატრიუმი

19

39.098

K

კალიუმი

37

85.468

Rb

რუბიდიუმი

55

132.905

Cs

ცეზიუმი

87

223

Fr

ფრანსიუმი

4

6.941

Li

ლითონი

12

24.305

Mg

მაგნიუმი

20

40.078

Ca

კალციუმი

38

87.62

Sr

სტრონციუმი

56

137.327

Ba

ბარიუმი

88

226

Ra

რადიუმი

192.217

Ir

ირიდიუმი

77

+6

+4

+3

რეგითი ნომერი

ჯანგვის ხარისხი

ქიმიური სიმბოლო

10.811

5

12.011

6

14.007

7

15.999

8

18.998

9

20.180

10

20.180

B

C

N

O

F

He

ბორი

ნახშირბადი

აზოტი

ჟანგბადი

ფტორი

ჰელიუმი

13

26.982

Al

ალუმინი

14

28.086

Si

სილიციუმი

15

30.977

P

ფოსფორი

16

32.065

S

მარიცხი

17

35.453

Cl

დარი

18

39.948

Ar

არგონი

31

69.723

Ga

გალიუმი

32

72.64

Ge

გერმანიუმი

33

74.922

As

არსენი

34

78.96

Se

სელენი

35

79.904

Br

ბრომი

36

83.798

Kr

კრიპტონი

49

114.818

In

ინდიუმი

50

118.710

Sn

სნოუმი

51

121.760

Sb

ანტიმონი

52

127.60

Te

ტელური

53

126.9044

I

იოდი

54

131.293

Xe

ქსენონი

81

204.383

Tl

თალიუმი

82

207.2

Pb

ბირი

83

208.980

Bi

ბირი

84

210

Po

პოლონიუმი

85

210

At

ასტატი

86

220

Rn

რადონი

112

286

Nh

ნიჰონიუმი

113

289

Fl

ფლორიდინი

114

289

Mc

მოსკოვიუმი

115

293

Lv

ლუვენიუმი

116

294

Ts

ტენესონი

117

294

Og

ოგანესონი

174.967

57

140.116

58

140.908

59

144.242

60

145

61

150.36

62

151.964

63

157.25

64

158.925

65

162.500

66

164.93

67

167.259

68

168.934

69

173.054

70

174.967

71

174.967

La

Ce

Pr

Nd

Pm

Sm

Eu

Gd

Tb

Dy

Ho

Er

Tm

Yb

Lu

ლანთანი

ცერიუმი

პრაზმი

ნეოდმი

პრომიტიუმი

სამარიუმი

ევროპიუმი

გადოლიუმი

თერბიუმი

დიზმიუმი

ჰოლიუმი

ერბიუმი

თულმი

იბერიუმი

ლუთეციუმი

227

89

232.038

90

231.036

91

238.029

92

237

93

244

94

243

95

247

96

251

97

251

98

251

99

257

100

259

101

259

102

262

103

262

Ac

Th

Pa

U

Np

Pu

Am

Cm

Bk

Cf

Es

Fm

Md

No

Lr

აქტიუმი

თორიუმი

პროტაქინიუმი

ურანი

ნეპტუნიუმი

პლუტონიუმი

ამერიკიუმი

კურე

ბერკლიუმი

კალიფორნიუმი

ესპერანტიუმი

ფერმიუმი

მადარიუმი

ნობელიუმი

ლუთენციუმი

ტუტე ლითონი

ლითონი

ამფოტერული ლითონი

არაღლითონი

ინერტული აირი

ტუტე ლითონი

ლითონი

ამფოტერული ლითონი

არაღლითონი

ინერტული აირი

კვლევითი სამუშაოს მიმდინარეობისა და შედეგების ანგარიში

შენიშვნა:

1. კვლევითი სამუშაოების ანგარიშის ფორმა დამოუკიდებლად უნდა შექმნა ტექსტურ რედაქტორში და შეავსო კვლევის დასრულების შემდეგ;
2. კვლევის ანგარიშის ფორმას სარეკომენდაციო ხასიათი აქვს. შეგიძლია, კვლევითი სამუშაოს ეტაპებში სხვა ეტაპიც დაამატო/მოაკლო;
3. თუ კვლევითი სამუშაო რამდენიმე ექსპერიმენტს მოიცავს, ანგარიში თითოეული ექსპერიმენტის მსვლელობისა და შედეგების მიხედვით უნდა დაინეროს.

მოსწავლის გვარი, სახელი

კლასი

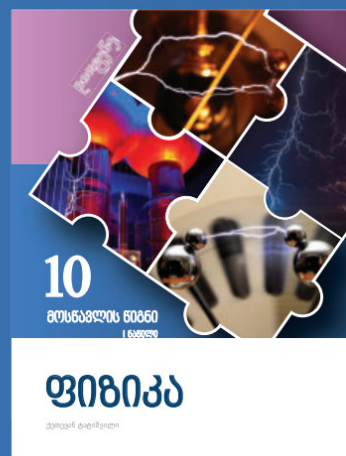
თარიღი

კვლევითი სამუშაო №

საკვლევი თემა

კვლევის ეტაპები	ცდა №
1. საკვლევი კითხვა	
2. საჭირო ინფორმაცია	
3. ჰიპოთეზა	
4. ცდის მოკლე აღწერა	
5. დამოუკიდებელი ცვლადი – სიდიდე/პირობა, რომელიც იცვლება ცდის ჩატარების პროცესში და ინვესს სხვა სიდიდის/პირობის ცვლილებას	
6. დამოკიდებული ცვლადი – სიდიდე/პირობა, რომელიც იცვლება დამოუკიდებელი ცვლადის ცვლილების მიხედვით	
7. პარამეტრი – მოცემული ცდის განმავლობაში მუდმივი სიდიდე/უცვლელი პირობა	
8. აღრიცხული მონაცემები /გაზომვის შედეგები	
9. მონაცემების/ შედეგების ანალიზი, ინტერპრეტაცია და გამოტანილი დასკვნები	
10. პასუხი საკვლევ კითხვაზე /საბოლოო დასკვნა	
11. დადასტურდა თუ არა შენი ჰიპოთეზა? თუ არ დადასტურდა, ჩამოაყალიბე ახალი ჰიპოთეზა	
13. თვითშეფასება: ა) რა გამოგივიდა ყველაზე კარგად კვლევისას? ბ) რა გამოგივიდა წარუმატებლად? გ) რას შეცვლიდი კვლევის პროცესში, თავიდან რომ ატარებდე კვლევას?	

ამ სახელმძღვანელოს გაყიდვის ფაქტის შემთხვევაში, გთხოვთ,
დაგვიკავშირდეთ ცხელ ხაზზე: (+995 32) 2 200 220
www.diogene.ge



დაფინანსებულია „მოსწავლეებისა და მასწავლებლების
სახელმძღვანელოებით უზრუნველყოფის
პროგრამის“ ფარგლებში

ISBN 978-9941-11-733-6

