

პოპულარული მეცნიერება

10

მოსწავლის წიგნი

II ნაწილი

ფიზიკა

ქეთევან ტატიშვილი

ფიზიკა

10

მოსწავლის წიგნი

II ნაწილი

შინაარსი

შესავალი	5
თავი I. გუდვივი ელექტრული დენი	11
დენდერას „ნათურა“	11
1.1. ელექტრული დენი. დენის წყარო	13
1.2. დენის ძალა	21
1.3. ელექტრული დენი ლითონის გამტარში	25
1.4. ომის კანონი წრედის უბნისათვის	29
1.5. ელექტრული წინაღობა. კუთრი წინაღობა	35
უსაფრთხოება უპირველესია!	41
პროექტი №1: გრაფიტის რეზისტორები	45
1.6. ზეგამტარობა	49
პროექტი №2: ცომის წრედები ანუ, ელექტროლაბორატორია სამზარეულოში	54
1.7. გამტართა შეერთების ხერხები.	60
1.8. გამტართა პარალელური შეერთება.	64
1.9. ფიზიკა ამოცანებში: დენის ძალა, ძაბვა და წინაღობა ელექტრული წრედის უბანზე	67
1.10. დენის მუშაობა და სიმძლავრე	75
პროექტი №3: „მონყენილი ყვავილი“ ანუ, დავზოგოთ ელექტროენერგია სახლში	79
1.11. ჯოულ-ლენცის კანონი	82
1.12. ფიზიკა ამოცანებში: დენის მუშაობა და სიმძლავრე. ჯოულ-ლენცის კანონი	86
1.13. დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა	92
1.14. ფიზიკა ამოცანებში: დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა	98
შეამოწმე შენი ცოდნა. ტესტი №1	105
I თავის დამატებითი კითხვები, ამოცანები	108
I თავის მოკლე შინაარსი	125
თავი II. ელექტრული დენი სხვადასხვა გარემოში	127
პროექტი №4: ბაღდადის ბატარეა, ანუ 2000 წლის წინ დანყებული ელექტრობის ისტორია	127
2.1. ელექტრული დენი სითხეში	133
პროექტი №5: ელექტრული მუხტის განსაზღვრა	140
პროექტი №6: ციდან დაშვებული ელექტრობა	142
2.2. ელექტრული დენი აირში	147
იცი თუ არა რომ: პლაზმა – ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობა	152
2.3. თავისთავადი განმუხტვის სახეები	155
2.4. ელექტრული დენი ვაკუუმში	159

2.5. ელექტრული დენი ნახევარგამტარში	165
2.6. p-n გადასასვლელი	172
შეამონმე შენი ცოდნა. ტესტი №2	179
II თავის დამატებითი კითხვები, ამოცანები	182
II თავის მოკლე შინაარსი	186
საგნობრივი საძიებელი	188
დამატებითი კითხვების, ამოცანების პასუხები	199
ფიზიკურ სიდიდეთა ცხრილები	203
დანართი	204

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:

გამაფრთხილებელი ნიშნები

1.2.1 პარაგრაფისა და დავალების ნომერი (მაგ., §1.2-ის დავალება 1).
ინდივიდუალური სამუშაო



წყვილებში სამუშაო



ჯგუფური სამუშაო



ცდის ჩატარება სიფრთხილეს მოითხოვს!



საინტერესო,
დამატებითი ინფორმაცია

ცდის ჩატარებისას საჭირო აღჭურვილობა:



ნინსაფარი



ნილაბი



ხელთათმანები



დამცავი სათვალე



ცხელი ზედაპირი



მომწამვლელი ნივთიერება



ცეცხლსაშიშა



ვარდნილი სხეულების საფრთხე



მსხვერვალი ჭურჭელი



მჩხვლეტავი საგნები



სტატიკური ელექტრობა

ელექტრული დენის საფრთხე:



- 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 არის.

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 თვალთ 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 მონესრიგებული პროცესია, რომლის დროსაც მეცნიერი თანამიმდევრულად გადის რამდენიმე ეტაპს, კითხვის დასმიდან დასაბუთებული პასუხის მიღებამდე.

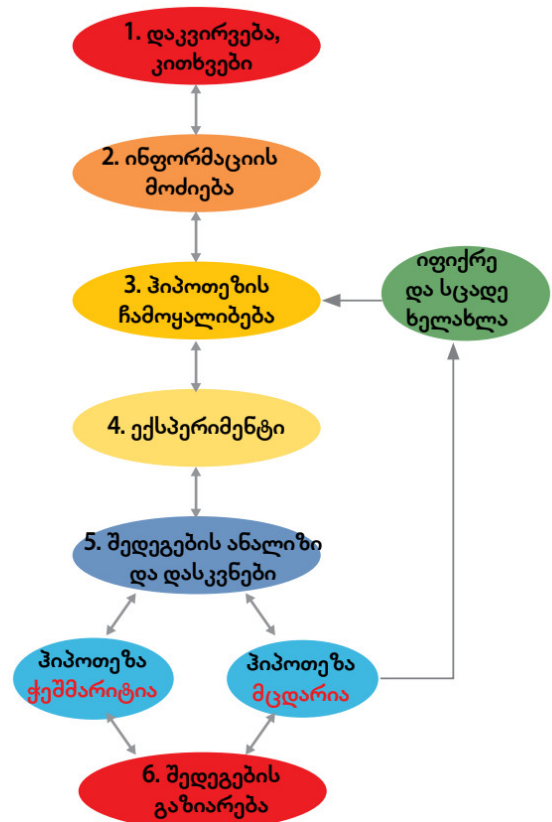
მე-4 სურათზე მოცემულ დიაგრამაზე სქემატურადაა გამოსახული **სამეცნიერო მეთოდის ძირითადი ეტაპები**:

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 შეკითხვას, 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 გადანყვეტ, 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

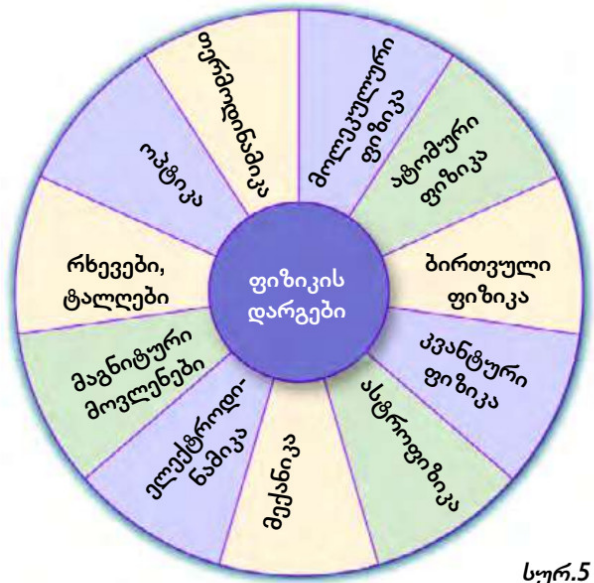
შეისწავლის. მე-10 კლასის ფიზიკის კურსს კი **კლასიკური ელექტროდინამიკის** საფუძვლების შესწავლით ვინყებთ. კლასიკური ელექტროდინამიკა მაკროსამყაროში ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თეორიას შეისწავლის, მიკროსამყაროში კი ასეთი ტიპის ურთიერთქმედებას კვანტური ელექტროდინამიკა სწავლობს.

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 (ანუ, ელექტრულ დენს) უკავშირდება. ელექტროდინამიკის იმ ნაწილს, რომელიც უძრავ ელექტრულ მუხტებსა და მათ შორის ურთიერთქმედებას შეისწავლის, **ელექტროსტატიკა** ჰქვია.



სურ.5

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, როგორებიცაა მაგ., ასტროფიზიკა, გეოფიზიკა, ბიოფიზიკა, სამედიცინო ფიზიკა, ფიზიკური ქიმია და ა.შ.

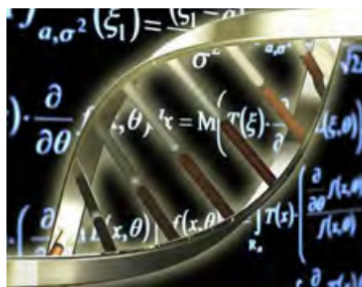


სურ.6

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.7



სურ.8

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-თქიმია და სხვ.



სურ.9



სურ.10

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 აღმომჩენი, ფიზიკისა და ქიმიის დარგში ორგზის ნობელის პრემიის ლაურეატი, **მარია სკლოდოვსკაია-კიური** დაიბადა.

რადიოაქტიურობის აღმოჩენამ სამედიცინო ფიზიკის ჩამოყალიბებასა და განვითარებას შეუწყო ხელი და გასაკვირი სულაც არ არის, რომ ტრადიციულად ამ დღის მაუწყებელ საინფორმაციო პლაკატებზე ცენტრალურ ადგილს მარია სკლოდოვსკაია-კიურის ფოტო იკავებს (სურ.11).

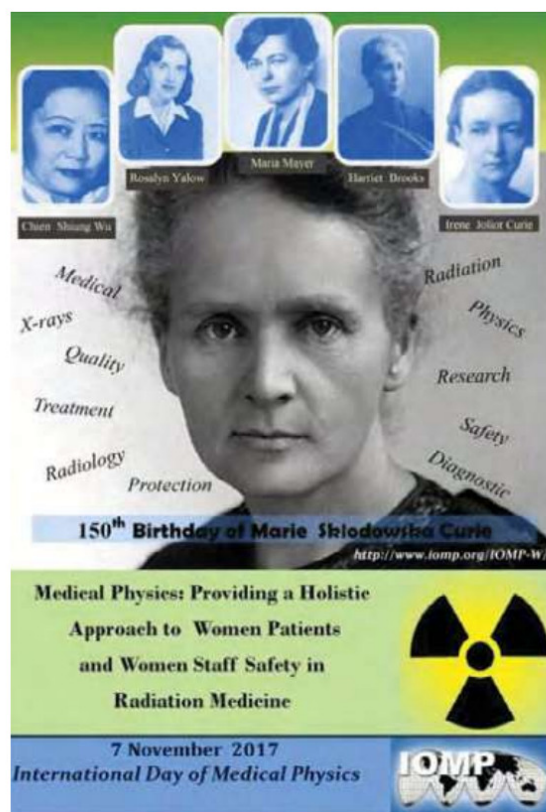
კავშირი ფიზიკასა და მათემატიკას შორის ორივეს დასაბამიდან იღებს სათავეს და როგორც ჩანს, დასასრული არ აქვს იმ ისტორიებს, როცა ფიზიკაში არსებული კითხვები ახალი მათემატიკური თეორიების შთაგონების წყაროდ იქცევა და, პირიქით, როცა მათემატიკა თავისი შესაძლებლობებით მოვლენის ღრმად წვდომის საშუალებას აძლევს ფიზიკოსს (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, როგორიც ნიუტონის II კანონი კლასიკურ მექანიკაში...

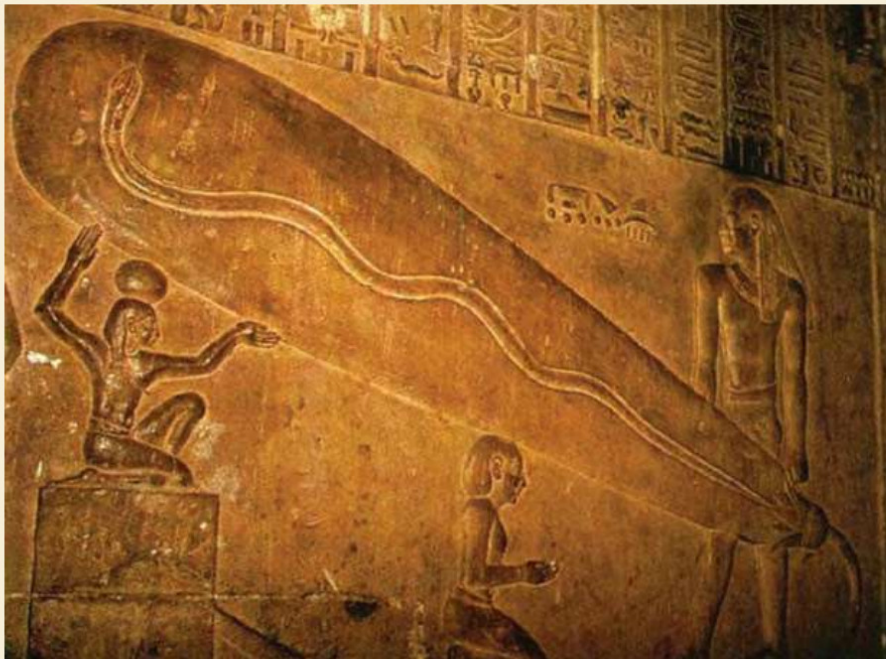
ფიზიკის გარეშე წარმოუდგენელია თანამედროვე ტექნიკა და ყოფა-ცხოვრება. შესაბამისად, მნიშვნელოვანი როლი აკისრია **გამოყენებითი ფიზიკის დარგებს** (ელექტროტექნიკას, რადიოტექნიკას, მიკროელექტრონიკას, მანქანათა თეორიას და ა.შ.), რომლებიც ფიზიკაში დაგროვილ ფუნდამენტურ ცოდნას ეფუძნება. გამოყენებითი ფიზიკა დაკავშირებულია 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.11



სურ. 1

1969 წელს დენდერაში (ეგვიპტე), ჰათჰორის ტაძრის (აგებულია ძვ.წ. VII საუკუნეში, კლეოპატრას მმართველობის დროს) ფუნდამენტის გათხრისას, ტაძრის იატაკქვეშ ვიწრო ოთახი აღმოაჩინეს.

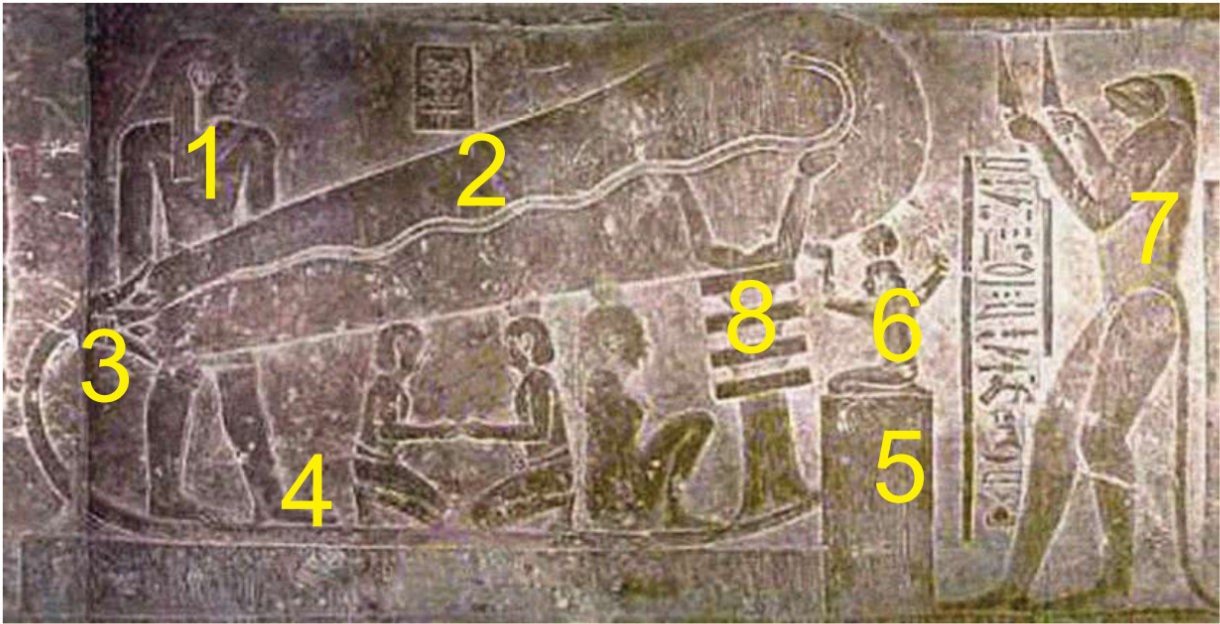
არქეოლოგების ყურადღება ოთახის კედელზე ამოკვეთილ-მა ბარელიეფმა მიიპყრო: მასზე გამოსახულია უცნაური საგანი (სურ.1), რომელიც თანამედროვე ნათურას წააგავს.

ადამიანთა გარკვეულ ჯგუფს ეჭვიც არ ეპარება, რომ ეს უცნაური საგანი უძველესი ცივილიზაციის მიერ შექმნილი ელექტრული ნათურაა!

მათი აზრით, დენდერას „ნათურები“ ინგლისელი მეცნიერის, უილიამ კრუქსის (1832-1919) მიერ შექმნილი იმ ვაკუუმური მილის ანალოგია, რომლითაც მეცნიერი გაიშვიათებულ აირებში დენის გავლის პროცესს აკვირდებოდა: მილი მასში დენის გავლისას ნათებას იწყებს (სურ. 2). ასეთი ტიპის მოწყობილობების მოქმედების პრინციპს მოგვიანებით შეისწავლი, როცა ვაკუუმში დენის აღძვრის პირობებს გაეცნობი.



სურ. 2. უილიამ კრუქსის ელექტრონული მილი.



სურ. 3

როგორ ამტკიცებენ, რომ ბარელიეფზე თანამედროვე ნათურის შორეული წინაპარია გამოსახული? აი, მათი არგუმენტებიც: „ნათურაში“ (სურ. 3), რომელიც ქურუმს (1) უჭირავს, ნათლად ჩანს კლაკნილი ხაზი (2), რომელიც გველს მოგვაგონებს (ასეთი „გველი“ თანამედროვე ნათურაშიცაა. ეს ვარვარების ძაფია). გველი ლოტოსის ყვავილიდან (3) გამოდის. ლოტოსი ძალიან ჰგავს ჩვეულებრივი ნათურის ცოკოლს.

ლოტოსის ყვავილი „სადენით“ (4) სწორკუთხა ყუთს (5) უერთდება, რომელზეც მზის ღმერთი რა (6) ზის. მის არსებობას ბარელიეფზე შემთხვევითობას არ მიაწერენ. მათი აზრით, მზის ღმერთი რაიმე ტიპის ენერგიასა და ყუთს შორის კავშირზე მიაწინებებს, ხოლო ყუთი ენერგიის წყარო, ანუ ერთგვარი „გენერატორია“. ბარელიეფზე მარჯვნივ ძალღისთავიანი ღმერთია (7) გამოსახული, რომელსაც ორივე ხელში დანა უჭირავს: ის დამცველ ძალას ან, სულაც, ყუთისგან მომდინარე საფრთხეს განასახიერებს და თანამედროვე ჩამრთველთან აიგივებენ, რომელიც ელექტრული ენერგიისგან „გვიცავს“(!)

„ნათურის“ ქვეშ საყრდენია (8), რომელიც „ჯედის“ სახელითაა ცნობილი: ჯედს, როგორც იზოლატორს, ეყრდნობა „ნათურა“ (ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენ ბოძებზე დამაგრებული იზოლატორები ეგვიპტურ ჯედს მართლაც ძალიან ჰგავს)....

აი, ასე იბადება ცრუმეცნიერება: მხოლოდ ფანტაზიის უნარი და ცოტაოდენი სამეცნიერო ტერმინოლოგიაა საჭირო. ერთადერთი საპირწონე, რაც მას შეიძლება დაუპირისპირო, მეცნიერული მეთოდით მიღებული ცოდნაა – ექსპერიმენტულად დადასტურებული, მრავალგზის გადამოწმებული და სანდო. ჩვენ მუდმივი ელექტრული დენისა და მისი კანონების შესწავლას ვინყებთ. გავიგებთ, რა არის ელექტრული დენი, მისი წარმოშობის მიზეზი, როგორ უნდა შევინარჩუნოთ ის და რა მოქმედებები ახასიათებს... მერე თავად გამოიტანე დასკვნა: შესაძლებელია თუ არა, რომ ეგვიპტელ ქურუმებს მართლაც ჰქონოდათ ელექტრული დენი, დენის გამტარი და არაგამტარი მასალები, მაღალი ძაბვის წყარო, ნათურა, რომლის დამზადებასაც, სულ ცოტა, მინის დამუშავების მაღალი ტექნოლოგია და ვაკუუმტუმბო სჭირდება!



გაიგე უფრო მეტი: <http://bitly.ws/t68B> <http://bitly.ws/t68K>



ელექტროსტატიკის შესწავლისას უძრავ ელექტრულ მუხტებსა და მათ ურთიერთქმედებას განვიხილავდით. ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნიკაში პრაქტიკულად უმეტესად ისეთ ელექტრულ მოვლენებს იყენებენ, რომლებშიც ელექტრული მუხტები მოწესრიგებულად მოძრაობს. სწორედ მუხტების მოწესრიგებულ მოძრაობას უკავშირდება ნათურის ნათება, სითბოს გამოყოფა ელექტროგამათბობელში, სხვადასხვა ელექტრომონწყობილობის, რადიოაპარატურისა და კომპიუტერული ტექნიკის მუშაობა.

1.1.1. ელექტრული დენი

რა იგულისხმება მუხტების „მოწესრიგებულ“ მოძრაობაში და რა შემთხვევაში მოძრაობენ ისინი „მოწესრიგებულად“, ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებ. მანამდე კი ჩავატაროთ ცდა, რომლის შედეგიც სწორედ მუხტების „მოწესრიგებული“ მოძრაობით აიხსნება:



ცდა I

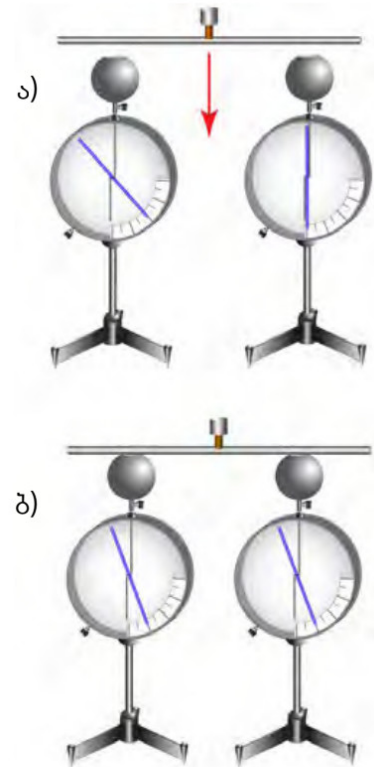
ცდისთვის დაგჭირდება: ორი ელექტროსკოპი, ლითონის ლერო, რომელსაც დიელექტრიკის სახელური აქვს, შალის ქსოვილი, ებონიტის ჯოხი (ან ელექტროფორი).

1. მოათავსე ერთმანეთის გვერდით ორი ელექტროსკოპი (სურ. 1.1.1. ა);
2. დამუხტე ერთი ელექტროსკოპი: შეახე მას შალის ქსოვილზე ხახუნით დაელექტროებული ებონიტის ჯოხი (ან გამოიყენე დამუხტული ელექტროფორი);
3. შეაერთე დამუხტული ელექტროსკოპი დაუმუხტავთან ლითონის ლეროთი (სურ. 1.1.1 ბ).

დააკვირდი მეორე ელექტროსკოპის ისარს. რატომ გადაიხარა ის?

თუ დამუხტულ ელექტროსკოპს მეორე, დაუმუხტავ ელექტროსკოპთან გამტარი ლეროთი შეაერთებ, მეორე ელექტროსკოპის ისარიც გადაიხრება (სურ.1.1.1 ბ), რაც იმის მაჩვენებელია, რომ პირველი ელექტროსკოპიდან მუხტის ნაწილი მეორეზე გადავიდა. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ იმ დროის განმავლობაში, სანამ მუხტი ერთი ელექტროსკოპიდან მეორეზე გადადის, ელექტროსკოპების შემადგენელ გამტარ ლეროში **ელექტრული დენი გადის!**

სახელწოდება „ელექტრული დენი“ 1820 წელს, ფრანგმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა, ელექტრომაგნეტიზმის ერთ-ერთმა ფუძემდებელმა, ანდრე მარი ამპერმა (1775 – 1836) შემოიტანა: „დენი“ დინებას, ნაკადს, ანუ ნაწილაკების (სხეულების) ერთი მიმართულებით მოძრაობას, ნიშნავს. მაგ., მდინარეებსა და წყალსადენის მილებში წყალი **მიედინება**. დინებისას ნაკადში წყლის მოლეკულები მოძრაობის ქაოსურ ხასიათს ინარჩუნებს, თუმცა მათი მოძრაობა ერთგვარად მოწესრიგებულია: ისინი, უპირატესად, მაინც ერთი მიმართულებით გადაადგილდებიან. თუ გამტარ გარემოში (ლითონებში, ელექტროლიტებში) თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების დინება (ნაკადი) აღიძვრება, მაშინ ამბობენ, რომ **გარემოში ელექტრული დენი გადის**.



სურ. 1.1.1



სურ. 1.1.2. რაულ დიუფი – ანდრე ამპერი

რა ხდება მაშინ, როცა გამტარ გარემოში (გამტარში) თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები მოწესრიგებულად, უპირატესად, ერთი მიმართულებით მოძრაობს?

ვთქვათ, სხეულს სიბრტყე მართობულად ჰკვეთს. გეომეტრიულ ფიგურას, რომელიც სხეულის მართობული სიბრტყით გადაკვეთისას მიიღება, **განივკვეთი** ჰქვია.

სურათ 1.1.3-ზე კივის, სისხლძარღვებისა და თირკმლის განივკვეთია გამოსახული. **დააკვირდი** სურათ 1.1.4-ს: მასზე ლითონის ცილინდრული ფორმის გამტარია გამოსახული. მისი განივკვეთი წრეა (ელექტრული დენის შესწავლისას ხშირად გამოვიყენებთ ტერმინს – „გამტარის განივკვეთი“. ასეთ დროს გამტარის განივკვეთი წარმოსახვითია, უნდა წარმოვიდგინოთ).

თუ გამტარში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები მხოლოდ ქაოსურად მოძრაობს, გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში გამავალი სრული მუხტი ნულის ტოლია: რადგან თავისუფალი მუხტები გამტარის მთელ მოცულობაში, საშუალოდ, ერთნაირი სიჩქარით გადაადგილდება, გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში, მოცემულ დროში, ერთი მიმართულებით გავლილი საშუალო მუხტი საპირისპირო მიმართულებით გადატანილი მუხტის ტოლია (სურ.1.1.5 ა).

თუ ქაოსურ მოძრაობასთან ერთად, თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები, უპირატესად, მაინც ერთი რომელიღაც მიმართულებით მოწესრიგებულად გადაადგილება, ამ დროს გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში გასული სრული მუხტი ნულის ტოლი არ არის (სურ. 1.1.5 ბ). სწორედ ასეთ შემთხვევაში აღიძვრება გამტარში ელექტრული დენი.

ასე რომ, **ელექტრული დენი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას ჰქვია**, თავად დამუხტულ ნაწილაკებს კი **მუხტის გადამტანებს** უწოდებენ.

ლითონის გამტარებში ელექტრული მუხტის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია, ელექტროლიტებში კი

– დადებითი და უარყოფითი მუხტის მქონე იონები (ან, როგორც მათ ხშირად უწოდებენ, დადებითი და უარყოფითი იონები) (ამ თავში ჩვენ, ძირითადად, ლითონის გამტარებს განვიხილავთ, სხვა გამტარ გარემოში აღძრულ ელექტრულ დენზე კი მომდევნო თავში ვისაუბრებთ. ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/uSnE>).

ელექტრული დენი (ან, უბრალოდ, დენი) სხვადასხვა სახისაა (მუდმივი და ცვლადი). მე-10 კლასის ფიზიკის კურსში ჩვენ მხოლოდ **მუდმივ დენს** და მის კანონებს შევისწავლით. მუდმივი დენის განმარტებას მოგვიანებით გავეცნობით. ამ ეტაპზე კი მხოლოდ იმას აღვნიშნავთ, რომ **მუდმივ დენში მუხტის გადამტანების მოწესრიგებულად მოძრაობის მიმართულება არ იცვლება**, ანუ მუდმივი ელექტრული დენის მიმართულება უცვლელია.

1.1.2. ელექტრული დენის მიმართულება

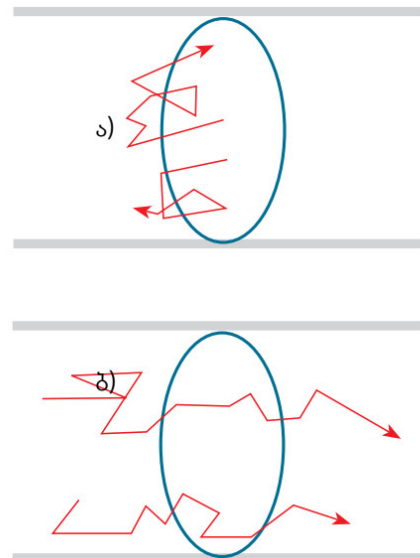
როგორ განისაზღვრება დენის მიმართულება? შეთანხმება, რომლის მიხედვითაც **დენის მიმართულება** განისაზღვრება, ამპერის სახელს უკავშირდება: **გამტარში დენის მიმართულებად იმ მიმართულებას მიიჩნევენ, რომლითაც ელექტრული ველის გავლენით, დადებითად დამუხტული ნაწილაკები იმოძრავენ**.



სურ. 1.1.3



სურ. 1.1.4



სურ. 1.1.5

ამ შეთანხმების მიხედვით, ლითონებში, რომლებშიც ელექტრული დენი თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა, დენის მიმართულებად მუხტის გადამტანი ნაწილაკების – ელექტრონების – მოძრაობის საპირისპირო მიმართულება ითვლება.

დენის მიმართულების ასე განსაზღვრა შესაძლოა მოუხერხებლად მოგეჩვენოს (რადგან მეტწილად ლითონის გამტარებთან გვაქვს შეხება), მაგრამ ამ საკითხზე XIX საუკუნეში, ჯერ კიდევ მაშინ შეთანხმდნენ, როცა თავისუფალი ელექტრონების არსებობის შესახებ არავინ იცოდა. მას შემდეგ ელექტრულ დენთან დაკავშირებულ ყველა წესსა და კანონში სწორედ იმდროინდელ შეთანხმებას ითვალისწინებენ.

1.1.3. ელექტრული დენის აღმკვეთის საჭირო პირობები

რა არის საჭირო იმისათვის, რომ გამტარ გარემოში ელექტრული დენი აღიძრას? ცხადია, **ამისათვის საჭიროა:**

1. გარემოში იყოს თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები. თუ დადებითი და უარყოფითი მუხტები ატომებსა და მოლეკულებშია ბმული (ისე, როგორც ეს დიელექტრიკებშია), მაშინ მათი გადაადგილება ელექტრულ დენს ვერ აღძრავს.

2. ქაოსურად მოძრავ თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე იმოქმედოს ძალამ, რომელიც „აიძულებს“ მათ, მიმართულად, მოწესრიგებულად გადაადგილდეს. ამისათვის **გამტარში უნდა არსებობდეს ელექტრული ველი**, რომელიც თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე ელექტრული ძალით ($\vec{F} = q\vec{E}$) იმოქმედებს.

დენის მიმართულების შესახებ შეთანხმებას დადებითი მხარეც აქვს: **დენის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა იმ ელექტრული ველის მიმართულებას, რომლის გავლენითაც გამტარში დენი აღიძვრება.**

გამტარის შიგნით ელექტრული ველის არსებობას მის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა განაპირობებს ($E = U/\Delta d$): თუ გამტარის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნულის ტოლი არ არის, მასში დენი აღიძვრება.



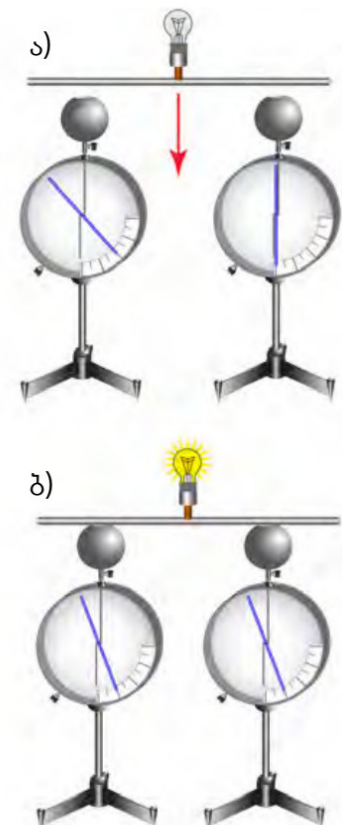
ცდა II

გამეორე I ცდა, ოლონდ ამჯერად განსხვავებული კონსტრუქციის ლითონის ღერო დაგჭირდება: მასზე, სპეციალურ ბუდეში, ჯიბის ფარნის (ან ნეონის) პატარა ნათურა მაგრდება.

1. დამუხტე ერთი ელექტროსკოპი და მეორე, დაუმუხტავ, ელექტროსკოპთან გამტარი ღეროთი შეაერთე (სურ. 1.1.6 ა).

2. დააკვირდი: ნათურა მყისიერად გაანათებს და ჩაქრება. ცდის დასასრულს ორივე ელექტროსკოპის ისარი ერთნაირადაა გადახრილი (სურ. 1.1.6 ბ).

უკვე იცი, რომ გამტარ ღეროში, რომლითაც I–II ცდებში ელექტროსკოპების სფეროებია შეერთებული, ელექტრული დენი აღიძვრება. პირველი ელექტროსკოპიდან მუხტის ნაწილი მეორეზე გადადის. შესაბამისად, პირველი ელექტროსკოპი თავისი მუხტის ნაწილს კარგავს, ხოლო მეორე – შეიძენს. იმ ხანმოკლე დროის განმავლობაში, როცა ელექტროსკოპებს შორის მუხტი გადანაწილდება, ღეროში დენი გადის, დროის იმ მომენტში კი, როცა სფეროების პოტენციალები ერთმანეთს გაუტოლდება, დენი ღეროში შეწყდება (სწორედ ამის მაჩვენებელია ნათურის მყისიერი ნათება).



სურ. 1.1.6

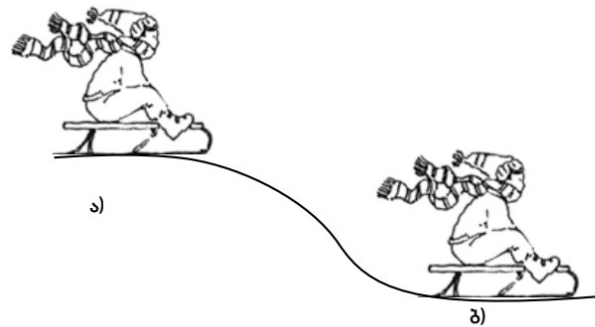
როგორ მოვიქცეთ იმისათვის, რომ დენი ნათურაში ხანგრძლივად არსებობდეს? ცხადია, ამისათვის საჭიროა, რომ ერთ ელექტროსკოპს ჭარბი მუხტით უწყვეტად „ვამარაგებდეთ“, ხოლო მეორეს – მუხტს „ვართმევდეთ“, რათა მათ შორის პოტენციალთა სხვაობა (შესაბამისად კი – გამტარში ელექტრული ველი) შევინარჩუნოთ.

გამტარში დენის ხანგრძლივად შესანარჩუნებლად მხოლოდ დამუხტული ელექტროსკოპები (სხეულები) საკმარისი არ არის. ამისათვის იყენებენ განსაკუთრებულ მოწყობილობას, რომელსაც **დენის წყარო** ჰქვია.

1.1.4. დენის წყარო

დენის წყაროს როლის უკეთ წარმოსადგენად, განვიხილოთ ასეთი სიტუაცია:

ვთქვათ, ციგა მთის ფერდობზე გარკვეულ სიმაღლეზე ატანილი (სურ. 1.1.7 ა). მას პოტენციური ენერგია აქვს და ამ ენერგიის ხარჯზე სიმძიმის ძალა მუშაობას ასრულებს: ციგა ფერდობზე ეშვება და მოძრაობას გზის ჰორიზონტალურ უბანზე აგრძელებს.

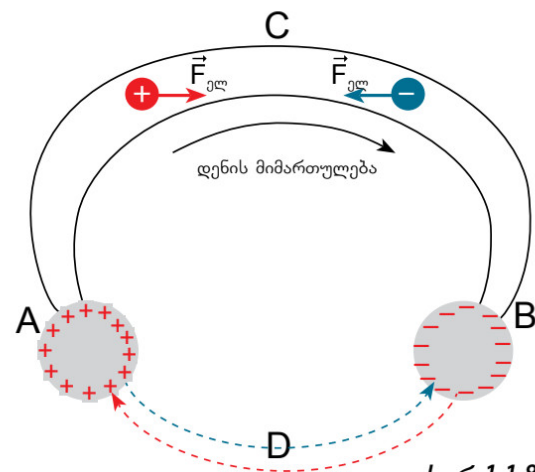


სურ. 1.1.7

ჰორიზონტალურ უბანზე გადასვლისას (სურ. 1.1.7 ბ) ციგის სიჩქარე, ხახუნის ძალის გავლენით, თანდათან მცირდება და, საბოლოოდ, ის ჩერდება. იმისათვის, რომ ციგამ კვლავ შეძლოს ფერდობიდან ჩამოსრიალება, საჭიროა, მას საბუქსირე მოწყობილობის (ე.წ. „ბუგელის“) წვეის ძალა მოვდოთ და სანყის მდგომარეობაში დავაბრუნოთ. ამის შემდეგ ციგა, სიმძიმის ძალის გავლენით, კვლავ ქვევით დაეშვება და ა. შ. იგი მოძრაობის ციკლს გაიმეორებს: იმოძრავენს შეკრულ ტრაექტორიაზე, რასაც მხოლოდ გარე ძალების (წვეის ძალის) დახმარებით შეძლება.

სიმძიმის ძალის მოქმედებით ციგა შეკრულ ტრაექტორიაზე ვერ იმოძრავენს. სიმძიმის ძალა პოტენციალურია: მისი მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია.

სწორედ „ბუგელის“ ანალოგიური ფუნქცია აკისრია **დენის წყაროს**: თუ დამუხტულ **A** და **B** სხეულებს (სურ. 1.1.8), რომელთაც საპირისპირო ნიშნის მუხტი აქვს, გამტარით (**ACB**) შევაერთებთ, გამტარში ხანმოკლე დენი გაივლის: დადებითი მუხტები – **B**-სკენ, ხოლო უარყოფითი მუხტები **A**-სკენ ამოძრავდება (იგულისხმება, რომ დენი ისეთ გამტარ გარემოში გადის, რომელშიც მუხტის გადამტანებია როგორც დადებითად, ისე უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები).



სურ. 1.1.8

დადებითი და უარყოფითი მუხტები დამუხტულ სხეულებს შორის გადანაწილდება და სხეულები განეიტრალებს. **A** და **B** სხეულებს შორის პოტენციალთა სხვაობა და, შესაბამისად, ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარში ნულს გაუტოლდება. დენი გამტარში შეწყდება.

გამტარში დენის მუდმივად არსებობისთვის (ან იმისთვის, რომ „ციგას მუდმივად შეეძლოს ჩამოსრიალება გარკვეული სიმაღლიდან“) საჭიროა, გამტარის ბოლოებზე პოტენციალთა სხვაობა მუდმივად არსებობდეს. ამისათვის

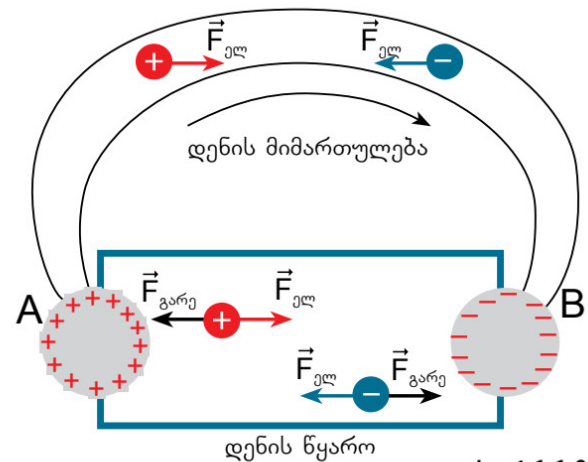
- B**-დან **A** სხეულზე გადასული უარყოფითი მუხტი ისევ **B**-ზე უნდა დაბრუნდეს;
- A**-დან **B** სხეულზე გადასული დადებითი მუხტი კი – ისევ **A** სხეულზე.

ანუ, დენის შესანარჩუნებლად მუხტებმა ელექტროსტატიკური ძალის საპირისპიროდ უნდა იმოძრაოს (წყვეტილით გამოსახულ BDA უბანზე), რათა საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს და მათი მოძრაობის ციკლი გამეორდეს. ტრაექტორია, რომელზედაც ასეთ შემთხვევაში მუხტის გადამტანები იმოძრავენ, შეკრულია, ჩაკეტილია (**შეკრული ტრაექტორია** ანუ, როგორც ამბობენ ხოლმე, **ჩაკეტილი კონტური, აუცილებელი პირობაა გამტარში დენის მუდმივად არსებობისთვის**).

ელექტროსტატიკურ ველს, რომელსაც დამუხტული სხეულები ქმნის, დენის შენარჩუნება არ შეუძლია: ელექტროსტატიკური ველი პოტენციალურია. მისი მუშაობა დამუხტული ნაწილაკების შეკრულ ტრაექტორიაზე გადაადგილებისას ნულის ტოლია.

გამტარებში თავისუფალი მუხტების გავლას თან სდევს ენერგიის დაკარგვა (სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედების შედეგად). აუცილებლად უნდა არსებობდეს ენერგიის წყარო, რომლის ხარჯზეც მუხტის გადამტანების ენერგიის დანაკარგი შეივსება. **ელექტროსტატიკურ ძალებთან ერთად, უნდა მოქმედებდეს გარე არაპოტენციალური ძალები, რომელთა მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლი არ არის და უზრუნველყოფს მუხტის გადამტანების ენერგიის დანაკარგის შევსებას:** თავისუფალ მუხტებზე უნდა იმოქმედოს გარე ძალამ (ანალოგიურად, წვეის ძალისა, რომელსაც ციგა მთაზე მუდმივად აჰყავს), რომელსაც ელექტროსტატიკური ძალის საწინააღმდეგო მიმართულება ექნება.

სწორედ **დენის წყაროა ის მოწყობილობა, რომელშიც არაელექტროსტატიკური, გარე ძალების მოქმედებით, მუხტი ელექტროსტატიკური ველის მხრიდან მოქმედი ძალის საპირისპიროდ გადაადგილდება** (სურ. 1.1.9).



სურ. 1.1.9

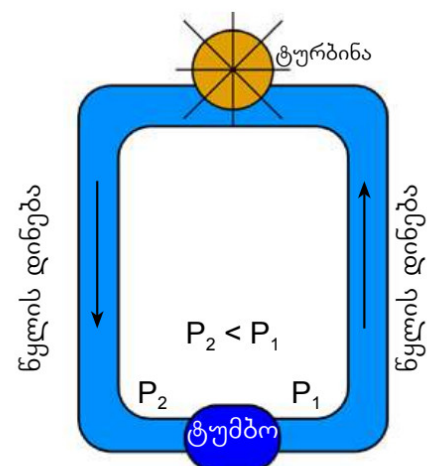
გარე ძალების მოქმედებით დადებითი და

უარყოფითი მუხტები გაცალკევდება (სურ. 1.1.9): გაცალკევებული მუხტები დენის წყაროს ორ სხვადასხვა ადგილას, ე.წ. **პოლუსებზე**, გროვდება: დადებითი მუხტები დენის წყაროს **დადებით პოლუსზე (ანოდზე)** იყრის თავს, უარყოფითი მუხტები კი – **უარყოფით პოლუსზე (კათოდზე)**, რის შედეგადაც დენის წყაროს პოლუსებს შორის ელექტრული ველი შეიქმნება.

თუ ელექტრული დენის მომხმარებელ ხელსაწყოს (ელექტრომომხმარებელს, ელექტრომომწყობილობას) დენის წყაროს პოლუსებთან გამტარის დახმარებით მივაერთებთ, წყაროს მიერ შექმნილი ელექტრული ველის მოქმედებით გამტარში დენი გაივლის და მანამ იარსებებს, სანამ დენის წყაროში მუხტების გაცალკევება გაგრძელდება.

დენის წყაროები განსხვავებულია იმის მიხედვით, თუ როგორია მათში გარე ძალების ბუნება. მაგ., გალვანურ ელემენტებსა და აკუმულატორებში გარე ძალები ქიმიური რეაქციების შედეგად წარმოიქმნება (ამ საკითხს მოგვიანებით განვიხილავთ), ელექტროფორულ მანქანაში კი გარე ძალა ხელის კუნთის ძალაა.

წყლის დინებასა და ელექტრულ დენს შორის მსგავსება საშუალებას გვაძლევს, ანალოგიის მეთოდი გამოვიყენოთ მომდევნო გაკვეთილებზეც, რათა



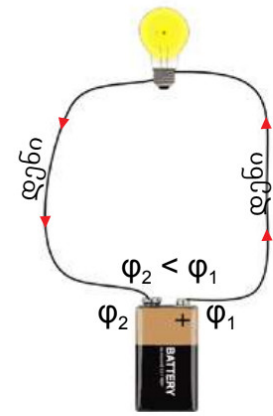
სურ. 1.1.10

ელექტრული დენის, მისი მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეებისა და კანონზომიერებების შინაარსი უფრო თვალსაჩინო გახდეს. ეს ანალოგია კარგად ხსნის დენის წყაროს დანიშნულებასაც (სურ. 1.1.10).

მაგ., იმისათვის რომ წყალმა შეკრულ კონტურზე იმოძრაოს (როგორც ეს შადრევნის ან წყლის ატრაქციონების ტურბინის კონსტრუქციაშია), საჭიროა წყლის საქაჩი ტუმბო (სურ. 1.1.10). ტუმბო წყალსადენი მილის ბოლოებზე წნევათა სხვაობას ქმნის ($P_2 < P_1$), რაც წყლის განუწყვეტელ ცირკულაციას განაპირობებს. დენის წყაროს ტუმბოს ანალოგიური ფუნქცია აკისრია (სურ. 1.1.11): დენის წყარო იმ გამტარის ბოლოებზე, რომლითაც ის ელექტრომომხმარებელთანაა მიერთებული, პოტენციალთა სხვაობას ქმნის ($\varphi_2 < \varphi_1$), გამტარის ბოლოებზე არსებული პოტენციალთა სხვაობა კი შეკრულ კონტურში მუხტების ცირკულაციას იწვევს.



ნახე ვიდეო წყლის დინებასა და დენის ანალოგიაზე:
<http://bitly.ws/sKNz>



სურ. 1.1.11

1.1.5. ელექტრული წრედი და მისი კომპონენტები

დენის წყარო, შემაერთებული გამტარები და ელექტრომომხმარებლები (ნათურა, ელექტრო- და რადიოაპარატურა) **ელექტრულ წრედს** ქმნის, რომელშიც ორი – **გარე** და **შიგა** – უბანი გამოიყოფა (სურ. 1.1.12).

წრედის გარე უბანს, ანუ გარე წრედს, შემაერთებული სადენები და ელექტრომომხმარებელი ხელსაწყოები ქმნის.

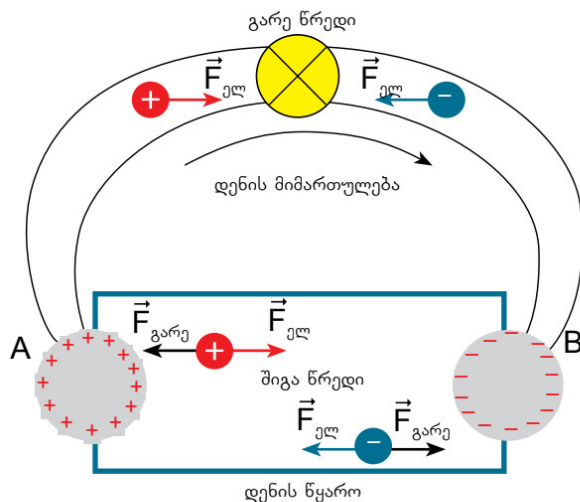
წრედის შიგა უბანი (შიგა წრედი) დენის წყაროს შიგნითაა, სადაც გარე ძალების მიერ მუხტების გაცალკევებაზე მუშაობა სრულდება.

შიგა წრედში მუხტები ელექტროსტატიკური ძალების საპირისპირო მიმართულებით გადაადგილდება (სურ. 1.1.12): დადებითი მუხტები – უარყოფითიდან დადებითი პოლუსისკენ, უარყოფითები კი – დადებითიდან უარყოფითი პოლუსისკენ (იგულისხმება, რომ დენი ისეთ გამტარ გარემოში გადის, რომელშიც მუხტის გადამტანებია როგორც დადებითად, ისე უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები). შედეგად, დენის წყაროს პოლუსებს შორის ელექტრული ველი იქმნება.

წრედის გარე უბანში (სურ. 1.1.12) გაცალკევებული დადებითი და უარყოფითი მუხტები, ელექტრული ველის მოქმედებით, მოწესრიგებულად მოძრაობს, რის შედეგადაც გარე წრედში დენი გადის.

წრედის შიგა უბანში ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება ქიმიური ენერგია (გალვანურ ელემენტებში, აკუმულატორებში), მექანიკური ენერგია (ელექტროფორულ მანქანაში, გენერატორებში), სინათლის ენერგია (ფოტოელემენტებში, მზის ბატარეებში, რომლებიც ფოტოელემენტებითაა აღჭურვილი, სითბური ენერგია (თერმოელემენტებში).

წრედის გარე უბანში კი ელექტრული ენერგია სხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნება: ნათურაში – სინათლის ენერგიად, ელექტროქურაში – სითბურ ენერგიად, ელექტროძრავაში – მექანიკურ ენერგიად და ა.შ.



სურ. 1.1.12

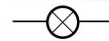
გალვანური ელემენტი



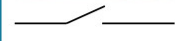
აკუმულატორი



ნათურა



ჩამრთველი



ელექტრული ზარი



სადენები კლიპსებით



მომჭერები



სურ. 1.1.13

ხშირად ელექტრულ წრედს ნახაზზე **სქემით** გამოსახავენ. სქემაზე წრედის შემადგენელ ნაწილებს (კომპონენტებს) სპეციალური პირობითი აღნიშვნები აქვს. სურათ 1.1.13-ზე ზოგიერთი მათგანის აღნიშვნაა მოცემული (ეტაპობრივად სხვა კომპონენტების აღნიშვნებსაც გაეცნობი).

1.1.6. ელექტრული დენის მოქმედება

გამტარში ელექტრული მუხტის გადამტანების მოძრაობასა და, შესაბამისად, ელექტრულ დენზე უშუალო დაკვირვება შეუძლებელია. თუმცა ელექტრული დენის გავლას გამტარში თან სდევს გარკვეული მოვლენები, რომლებიც **ელექტრული დენის მოქმედების** შედეგია და სწორედ ამ მოვლენებზე დაკვირვებითაა შესაძლებელი გამტარში დენის აღმოჩენა (ამ მოვლენებს ეფუძნება იმ მოწყობილობათა მოქმედებაც, რომელთა საშუალებით გამტარში დენის აღმოჩენა ხერხდება). მოდი, ჩავატაროთ მარტივი ცდები და დავაკვირდეთ ელექტრული დენის სხვადასხვა მოქმედებას.

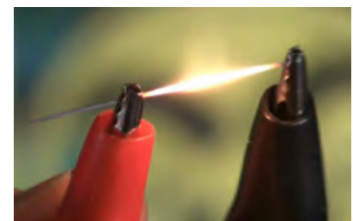


ცდა III



ცდისთვის დაგჭირდება: დენის წყარო (12 V), შემადგენელი სადენები მომჭერებით (კლიპსებით, ე.წ. „ალიგატორებით“), 4 – 5 სმ სიგრძის გრიფელი მექანიკური ფანქრისთვის (ფანქრის გრაფიტის „გული“) 0,5 მმ დიამეტრით.

1. მიუერთე გრიფელის ბოლოები სადენებით დენის წყაროს პოლუსებს;
2. მოათავსე გრიფელი ცეცხლგამძლე ზედაპირზე და დაელოდე 15-20 წმ-ის განმავლობაში. დააკვირდი (სურ. 1.1.14): რა შეამჩნიე?



სურ. 1.1.14



ეს დენის **სითბური მოქმედების** შედეგია: **გამტარი, რომელშიც დენი გადის, თბება.**

ფრთხილად! გამორთე დენის წყარო.

გრიფელს ხელით არ შეეხო! ის სახიფათოდ ცხელია!

ნახე ცდა ვიდეოზე: <http://bitly.ws/sKPT>

ცდა IV

ცდისთვის დაგჭირდება: გალვანური ელემენტი (9 V), ორივე მხრიდან წათლილი ფანქარი (2 ცალი), შემაერთებული სადენები მომჭერებით, მუყაოს ნაჭერი, მინის ჭურჭელი (200 მლ).

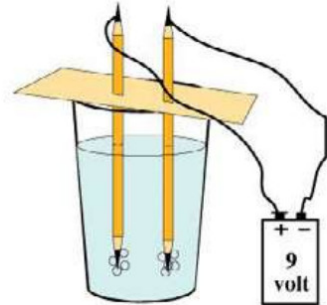
1. ჩაამაგრე მუყაოს ნაჭერში ორი ფანქარი (სურ. 1.1.15);

2. მოათავსე ფანქრები წყლიან ჭურჭელში (წყალში შეგიძლია, 1 ჩაის კოვზი მარილიც დაამატო) და წყალზევით დარჩენილი წვერები სადენებით ელემენტის პოლუსებს მიუერთე.

დააკვირდი წყალს ფანქრის წვერებთან ახლოს. რას ამჩნევ?

ეს დენის ქიმიური მოქმედების შედეგია: ელექტრული დენის გავლისას ელექტროლიტის წყალხსნარადან (მჟავების, ფუძეებისა და მარილების ხსნარები) სუფთა ნივთიერებები გამოიყოფა. IV ცდაში წყალში დენის გატარებისას ანოდზე ჟანგბადი გამოიყოფა, ხოლო კათოდზე – წყალბადი: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

ნახე ცდა ვიდეოზე: <http://bitly.ws/sKQk>

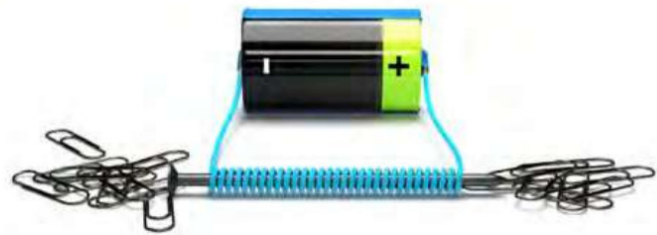


სურ. 1.1.15

ცდა V

ცდისთვის დაგჭირდება: გალვანური ელემენტი (9 V), სპილენძის მავთული, რკინის ლურსმანი, რკინის პატარა სხეულები (სამაგრები, ნემსები, ქინძისთავები) ან მაგნიტური ისარი (კომპასი).

1. დაახვიე მავთული რკინის ლურსმანზე და მავთულის ბოლოები გალვანური ელემენტის პოლუსებს მიუერთე (სურ. 1.1.16);
2. მიუახლოვე ლურსმანს რკინის პატარა სხეულები (ნემსები, ქინძისთავები, სამაგრები) ან მაგნიტური ისარი. რა შეამჩნიე?



სურ. 1.1.16



ეს დენის მაგნიტური მოქმედების შედეგია: დენიანი გამტარი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის.

ნახე ცდა ვიდეოზე: <http://bitly.ws/sKQp>

სწორედ ამ მოვლენას ეფუძნება მძლავრი ელექტრო-მაგნიტების (სურ. 1.1.17) მოქმედება, რომლებსაც მეტალურგიულ და ლითონდამამუშავებელ საწარმოებში მძიმე ჯარათის გადასატანად იყენებენ.

ელექტრული დენის სითბურ და ქიმიურ მოქმედებას, აგრეთვე მათ თანამდევ მოვლენების მიმდინარეობის მექანიზმს მე-10 კლასის ფიზიკის კურსში განვიხილავთ. დენის მაგნიტურ მოქმედებას კი უფროს კლასებში გავეცნობით.



სურ. 1.1.17

იტალიელი ექიმი, ანატომი, ფიზიოლოგი ლუიჯი გალვანი (1737-1798) პირველი იყო, ვინც „ცხოველური ელექტრობა“ აღმოაჩინა: ის, ლეიდენის დამუხტული ქილის დახმარებით, ელექტრულ დენს მკვდარი ბაყაყის კუნთში ატარებდა (სურ. 1.2.1). მისდა გასაოცრად, კუნთი იკუმშებოდა და შთაბეჭდილება იქმნებოდა, თითქოს ბაყაყი გაცოცხლდა! სწორედ ამ ეფექტს უწოდა გალვანმა „ცხოველური ელექტრობა“.

გალვანის ბევრი მიმბაძველი და მიმდევარი გამოუჩნდა, რომლებიც ცდილობდნენ, ელექტრული დენის დახმარებით, მიცვალებული გაეცოცხლებინათ და დაიწყო „ფრანკენშტეინების“ შექმნის ციებ-ცხელება... როგორც ამბობენ, ცნობილი რომანის, „ფრანკენშტეინი, ანუ თანამედროვე პრომეთე“, ავტორს, 18 წლის მერი შელის, სწორედ „ცხოველური ელექტრობისგან“ მიღებულმა ძლიერმა შთაბეჭდილებამ უბიძგა იდეისკენ, რომ ნანარმოები ელექტრობით გაცოცხლებული მონსტრისთვის მიეძღვნა...



სურ. 1.2.1

მოვლენა, რომელიც გალვანმა აღმოაჩინა, **დენის ფიზიოლოგიური მოქმედებაა**: კუნთი, როცა მასში დენი გადის, იკუმშება (მოვლენის არსს გალვანი ვერ ჩანვდა, მაგრამ მისმა აღმოჩენამ საფუძველი ჩაუყარა გალვანური ელემენტის შექმნას... თუმცა ამაზე მოგვიანებით ვისაუბრებთ).

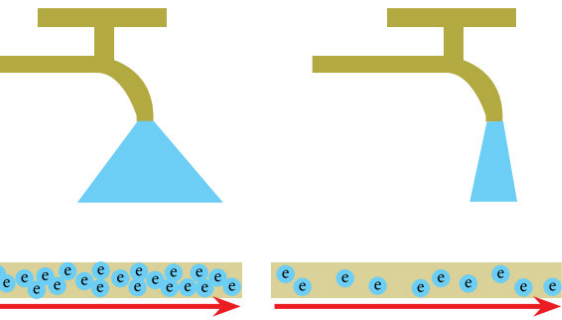
ელექტრობის აღმოჩენის შემდეგ, პირველ ხანებში, დენის მხოლოდ ფიზიოლოგიურ მოქმედებას იცნობდნენ, ამიტომ ელექტრული მოვლენების შესწავლის მიზნით მეცნიერები ხშირად საკუთარ სხეულში ატარებდნენ დენს. სამწუხაროდ, ასეთი ექსპერიმენტი ზოგიერთისთვის ტრაგიკულად დასრულდა, რადგან ადამიანის სხეული კარგი გამტარია და მასში დენის გავლა ელექტრულ დარტყმას (ელექტროშოკს) იწვევს, რასაც ხშირად ორგანიზმის სასიცოცხლო ფუნქციების მოშლა და, ზოგ შემთხვევაში, სიკვდილიც კი მოჰყვება (ცხადია, თუ დენის სიდიდე გარკვეულ ნიშნულს გადააჭარბებს).. დიახ. **ელექტრული დენი ძალიან სახიფათოა და მასთან გაუფრთხილებლად მოპყრობა არ შეიძლება!** მით უფრო, თუ მის შესახებ ჩვენი ცოდნა მწირია.

...მაგრამ დენის ფიზიოლოგიური მოქმედება წარმატებით გამოიყენება მედიცინაში სხვადასხვა დაავადების სამკურნალოდ. მაგ., რადიკულიტის ტკივილების დროს დენის წყაროს პოლუსებთან მიერთებულ გამტარ ფირფიტებს (ელექტროდებს) პაციენტს წელზე ადებენ და მასში სუსტ დენს ატარებენ. ამ მეთოდს ტკივილგამაყუჩებელი ეფექტი აქვს და სისხლის მიმოქცევასაც აუმჯობესებს. ტვინის ელექტრული დენით გაღიზიანების შედეგად სხვადასხვა ფსიქიკურ დაავადებას მკურნალობენ; ელექტრულ დენს იყენებენ ექიმები პაციენტის გულის მუშაობის აღსადგენად (სურ. 1.2.2) და ა.შ.

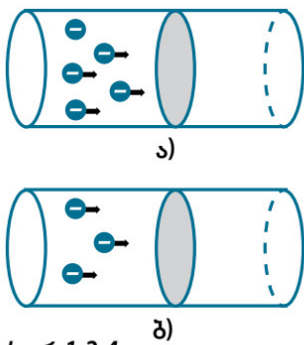
დენის ფიზიოლოგიური მოქმედების შედეგი (რა შემთხვევაშია დენი სიცოცხლისთვის სახიფათო და რა შემთხვევაში – სასარგებლო) დენის სიდიდითა და დამოკიდებული. რას ნიშნავს „სუსტი“, „პატარა“ ან „ძლიერი“, „დიდი“ დენი? როგორ შეიძლება შეფასდეს დენი რაოდენობრივად? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლება.



სურ. 1.2.2



სურ. 1.2.3



სურ. 1.2.4

1.2.1 დენის ძალა

1.2.1

წარმოიდგინე, რომ გსურს ჭურჭლის წყლით ავსება. რომელი ონკანიდან აივსება ჭურჭელი უფრო სწრაფად (სურ. 1.2.3)? რატომ?

ცხადია, დრო, რომელიც ჭურჭლის ავსებას სჭირდება, დამოკიდებულია წყლის ნაკადის სიდიდეზე: რაც უფრო მეტია დროის ერთეულში (ვთქვათ, 1 წმ-ში) მილიდან გამომდინარე წყლის მოცულობა, მით უფრო ძლიერია (დიდია) წყლის ნაკადი და მით უფრო ნაკლები დრო დასჭირდება ჭურჭლის ავსებას.

მილის განივკვეთში დროის ერთეულში გამავალი წყლის მოცულობა შეიძლება წყლის ნაკადის რაოდენობრივ მახასიათებლად გამოვიყენოთ. ანალოგიურად შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ელექტრული დენის შემთხვევაშიც.

1.2.2

ვთქვათ, სურათ 1.2.4-ზე გამოსახულ ა და ბ შემთხვევაში დამუხტული ნაწილაკები გამტარის გასწვრივ ერთნაირი სიჩქარით გადაადგილდება. რომელ შემთხვევაში იტყვი, რომ გამტარში გადის უფრო დიდი, ძლიერი დენი? რას მიიჩნევ დენის „სიძლიერის“ ან „სიდიდის“ რაოდენობრივ მახასიათებლად? პასუხი ახსენი.

თუ გამტარში დენი გადის, ეს იმას ნიშნავს, რომ მის ნებისმიერ განივკვეთში ელექტრული მუხტი მუდმივად გადაიტანება. გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გადატანილი მუხტი ელექტრული დენის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებელია და მას **დენის ძალა** ჰქვია. **დენის ძალა**, ხშირად, **I-თი აღინიშნება**.

დენის ძალა სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია Δt დროის განმავლობაში გამტარის განივკვეთში გადატანილი q მუხტის შეფარდებისა დროის მოცემულ შუალედთან. დენის ძალა გამოითვლება ფორმულით:

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

(1.2.1)

დენის ძალა გვიჩვენებს გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გადატანილი მუხტის სიდიდეს: ის რიცხობრივად ტოლია მუხტისა, რომელიც გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გადის. თუ გაითვალისწინებ, რომ ლითონის გამტარში $q = Ne$, სადაც N ელექტრონების რაოდენობაა, e ელემენტარული მუხტია, დენის ძალა ლითონის გამტარში ასე გამოითვლება:

$$I = \frac{Ne}{\Delta t} \quad (1.2.2)$$

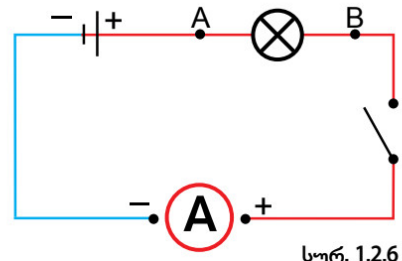
თუ დენის ძალა და დენის მიმართულება დროის მიხედვით უცვლელია, მაშინ დენს **მუდმივი დენი** ჰქვია. **დენის ძალის ერთეული SI-ში 1 ამპერია (1 ა, A):** თუ ყოველ 1 წამში გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში 1 კულონი მუხტი გადის, მაშინ გამტარში გამავალი დენის ძალა 1 ამპერია. პრაქტიკაში გამოიყენება დენის ძალის სხვა ერთეულებიც:

1 კილოამპერი (კა) = 10^3 ა; 1 მილიამპერი (მა) = 10^{-3} ა; 1 მიკროამპერი (მკა) = 10^{-6} ა.

დენის ძალა სკალარული სიდიდეა: ის შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი. დენის ძალის ნიშანი პირობითია და დამოკიდებულია იმაზე, თუ, გამტარის გასწვრივ, რომელ მიმართულებას ავირჩევთ დადებითად. **თუ დადებითად მიჩნეული მიმართულება გამტარში გამავალი დენის მიმართულებას:**

2. განსაზღვრე ამპერმეტრის **გაზომვის ზღვარი**: დენის ძალის უდიდესი მნიშვნელობა, რომლის გაზომვაც მოცემული ამპერმეტრითაა შესაძლებელი;

3. ააწყვე ელექტრული წრედი სურათ 1.2.6-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.



სურ. 1.2.6

მითითება: წრედში ამპერმეტრის ჩართვისას გაით-

ვალისწინე, რომ **ამპერმეტრს მიმდევრობით რთავენ წრედის იმ უბანთან** (მაგ., ელექტრომომხმარებელთან), **რომელშიც გამავალ დენს ზომავენ** (ამგვარი ჩართვის აუცილებლობის მიზეზს § 1.9-ში გავეცნობით). ამპერმეტრის მომჭერს, რომელიც ა) „+“ ნიშნითაა აღნიშნული, დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან გამომავალი სადენი (ან მისი გაგრძელება) უერთდება;

ბ) „-“ ნიშნითაა აღნიშნული, დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან გამომავალი სადენი (ან მისი გაგრძელება) უერთდება (**შენიშვნა:** აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე გამზომი ხელსაწყოები პოლარობის დაცვას აღარ საჭიროებს).

4. გაზომე ნათურაში გამავალი დენის ძალა (ჩართე ამპერმეტრი წრედში პოლარობის დაცვით და შებრუნებულად. **დააკვირდი:** რა განსხვავებაა ჩვენებებს შორის).



5. გაზომე დენის ძალა წრედის სხვადასხვა ადგილას (გახსენი წრედი, მაგ., A წერტილში, B წერტილში და ჩართე ამპერმეტრი). **გამოიტანე დასკვნა:** ნათურაში გამავალი დენის ძალის გაზომვისას აქვს თუ არა მნიშვნელობა, ნათურის რომელ მხარეს (მარცხნივ თუ მარჯვნივ) ჩართავ წრედში ამპერმეტრს?



6. ცდების ჩასატარებლად შეგიძლია სხვადასხვა ვირტუალური ლაბორატორიაც გამოიყენო: phET-ის ლაბორატორია: <http://bitly.ws/sw87>

Tinkercad-ის ლაბორატორია: <http://bitly.ws/sVes>

უფრო ზუსტი გაზომვებისთვის გაითვალისწინე: პირდაპირი გაზომვისას გამზომ ხელსაწყოზე ანათვალის აღება გარკვეულ უზუსტობასთან (ცდომილებასთან) არის დაკავშირებული. **პირდაპირი გაზომვის საბოლოო შედეგი მოიცავს:**

ა) ანათვალს ხელსაწყოთა სკალიდან ($X_{სკ}$); ბ) გაზომვის აბსოლუტურ ცდომილებას (ΔX).

საბოლოო შედეგი ასე ჩაიწერება: $X = X_{სკ} \pm \Delta X$

გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება (ΔX), თავის მხრივ, ხელსაწყოთა ცდომილებისა (ΔY) და ანათვალის ცდომილების ($\Delta X_{ანათ}$) ჯამია:

$$\Delta X = \Delta Y + \Delta X_{ანათ}$$

ა) ხელსაწყოთა ცდომილება (ΔY) მითითებულია ხელსაწყოთა ტექნიკურ მონაცემებში;

ბ) ანათვალის ცდომილება ($\Delta X_{ანათ}$) ხელსაწყოთა დანაყოფის ფასის ნახევრის ტოლია.

მაგ., სურათ 1.2.7-ზე გამოსახული ამპერმეტრის სკალის მიხედვით, დენის ძალა $I_{სკ} = 0,25$ ა;

1. ვთქვათ, ხელსაწყოთა ცდომილება $\Delta I_A = 0,05$ ა;

2. სკალის დანაყოფის ფასია $0,05$ ა. შესაბამისად, ანათვალის ცდომილება იქნება: $\Delta I_{ანათ} = 0,05$ ა/2 = $0,025$ ა;

3. გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება ასე გამოითვლება:

$$\Delta I = \Delta I_A + \Delta I_{ანათ} = 0,05 \text{ ა} + 0,025 \text{ ა} = 0,075 \text{ ა}.$$

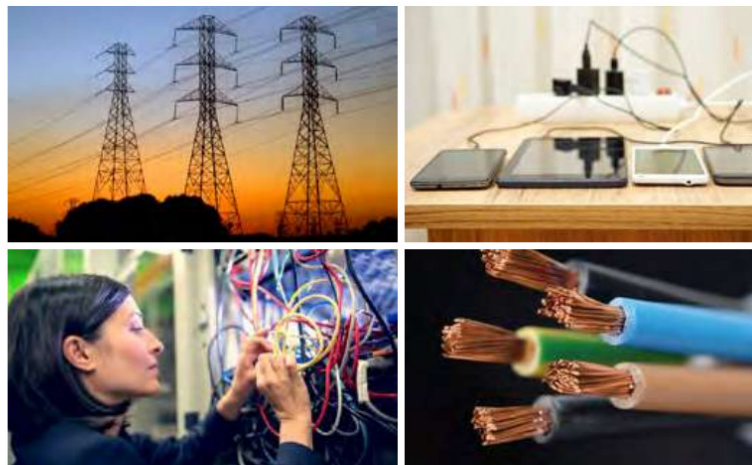
4. გაზომვის საბოლოო შედეგი კი ასე გამოისახება: $I = (0,25 \pm 0,075) \text{ ა}.$



სურ. 1.2.7

თანამედროვე ადამიანის ყოველდღიურებაში ელექტრული დენი და მისი მომხმარებელი მოწყობილობები იმდენად დიდ ადგილს იკავებს, რომ ძნელია, წარმოიდგინო თავი მათ გარეშე... ყველა ტიპის ელექტრომომხმარებელს, რა დანიშნულებაც არ უნდა ჰქონდეს მას, ერთი საერთო დეტალი მაინც აქვს. ეს **შემაერთებელი სადენებია**, რომელთა დახმარებითაც ელექტრომომხმარებლები სხვა მოწყობილობებს (მაგ., დენის წყაროს) უკავშირდება, თავად ელექტრომომხმარებლის სხვადასხვა დეტალზეა შეერთებული და ა.შ.

შემაერთებელი სადენების (გამტარების) უმრავლესობა ლითონისგანაა დამზადებული. ლითონის გამტარები, რომლებიც ზოგჯერ საიზოლაციო (დიელექტრიკის) ფენითა დაფარული და ზოგჯერ კი მის გარეშეა, გვხვდება ყველგან (სურ. 1.3.1): სახლში, ქუჩაში, ტრანსპორტში, სხვადასხვა დაწესებულებაში. თვალი იმდენად შეეჩვია მათ არსებობას, რომ გვავიწყდება კიდევ, ლითონის გამტარების „აბლაბუდით“ დაქსელილ გარემოში რომ ვცხოვრობთ...



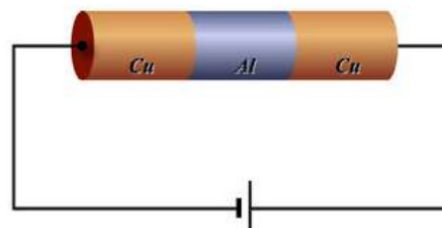
სურ. 1.3.1

1.3.1. ელექტრული დენი ლითონის გამტარში

რატომ იყენებენ ლითონის გამტარებს? რა უპირატესობა აქვს ლითონს სხვა გამტარებთან შედარებით? ლითონები მარტივი ნივთიერებებია, რომლებიც კარგი თბო- და ელექტროგამტარობით ხასიათდება. მათი დნობის ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია, ამიტომ ჩვეულებრივ პირობებში ისინი მყარ მდგომარეობაშია (გამონაკლისი მხოლოდ ვერცხლისწყალია, რომლის დნობის ტემპერატურა $-38,9^{\circ}\text{C}$ -ია).

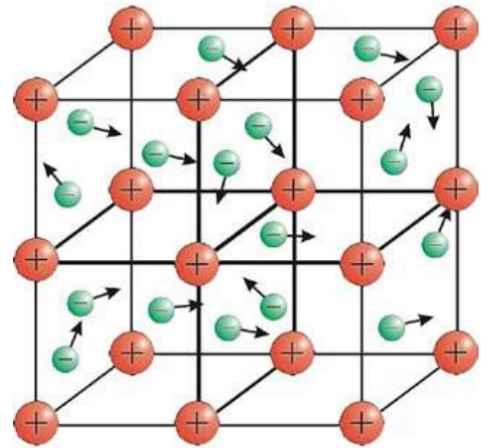
1897 წელს, ელექტრონის აღმოჩენის შემდეგ, დაიბადა ლითონების ელექტროგამტარობის კლასიკური თეორია, რომლის ძირითადი წარმოდგენების მიხედვით, ლითონის გამტარებში მუხტის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია და ლითონების კარგი ელექტროგამტარებლობა მათში თავისუფალი ელექტრონების ძალიან მაღალი კონცენტრაციით აიხსნება. მაგ., ნატრიუმში $n = 2,5 \cdot 10^{28} \text{ მ}^{-3}$; სპილენძში კი $n = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ მ}^{-3}$.

ლითონების ელექტრონული გამტარობა 1901 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა ედუარდ რიკემ ექსპერიმენტულად დაადასტურა: რიკემ იმ მთავარ სადენს, რომლითაც ტრამვაის ელექტროხაზები დენის წყაროს უერთდებოდა, ლითონის სამი ცილინდრი მიუერთა (სურ.1.3.2). განაპირა ორი ცილინდრი სპილენძის იყო, შუაში კი – ალუმინის. ცილინდრებში, რომლებიც ერთმანეთს მჭიდროდ ეხებოდა, ერთი წლის განმავლობაში მუდმივი დენი გადიოდა. ცდის დასასრულს, რიკემ ცილინდრები აწონა და მიკროსკოპის დახმარებით შეხების ადგილი დაწვრილებით გამოიკვლია. აღმოჩნდა, რომ ცილინდრების მასები უცვლელი იყო. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ხნის განმავლობაში ცილინდრებში 3,5 მლნ კულონი მუხტი გავიდა, მეცნიერმა ცილინდრებში დიფუზიის კვალი ვერ აღმოაჩინა: სპილენძში არ აღმოჩნდა ალუმინის ატომები და პირიქით, ალუმინში — სპილენძის. რიკეს ცდამ დაადასტურა, რომ ლითონებში ელექტრული დენი



სურ. 1.3.2

ნის გავლისას ნივთიერება არ გადაიტანება, ანუ ლითონში მუხტის გადამტანები მხოლოდ თავისუფალი ელექტრონებია. ისინი კი ყველა ნივთიერებაში ერთნაირია. ლითონების ელექტროგამტარობის თეორიის თანახმად,

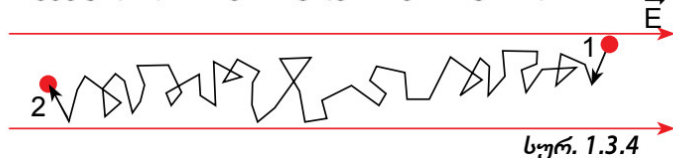


სურ. 1.3.3

1. ლითონებს კრისტალური აგებულება აქვს. კრისტალური მესრის კვანძებში დადებითი მუხტის მქონე იონებია განლაგებული, რომელთაც გადაადგილება არ შეუძლია. ისინი მხოლოდ ოდნავ ირხევა წონასწორობის მდებარეობის გარშემო (სურ.1.3.3).

2. კრისტალურის მესრის კვანძებს შორის თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდება, რომელთა მოძრაობა, იონებთან და ერთმანეთთან მრავალრიცხოვანი „შეჯახებების“ შედეგად, ქაოსურია (უწესრიგოა) (სურ. 1.3.3). **გაიხსენე:** სავალენტო ელექტრონები სუსტადაა დაკავშირებული ბირთვთან, ამიტომ შესაძლებელია, ისინი ბირთვს მოსწყდნენ და ატომთაშორის სივრცეში მიმოიფანტონ. ასეთ შემთხვევაში, ბირთვს მოწყვეტილ ელექტრონებს თავისუფალი ელექტრონები ჰქვია.

3. თუ ლითონის გამტარს ელექტრულ ველში მოვათავსებთ, ველის მხრიდან ელექტრონებზე იმოქმედებს ძალა, რომელიც თავისუფალი ელექტრონების ე. წ. **დრეიფს** გამოიწვევს: ელექტრონების მოძრაობა გარკვეულად მოწესრიგდება. ქაოსურად მოძრავე ელექტრონები უპირატესად მაინც ერთი მიმართულებით გადაადგილდება (სურ. 1.3.4). დრეიფის დროს თითოეული ელექტრონის მოძრაობაზე გავლენას გარე ელექტრული ველი და სხვა ნაწილაკებთან „შეჯახებები“ ახდენს.



სურ. 1.3.4

ელექტრულ ველში ელექტრონების მოძრაობა თვალსაჩინო გახდება, თუ წარმოიდგენ, როგორ მოძრაობს ქინკლების გუნდი ქარის დაბერვისას: გუნდში ქინკლები ქაოსურად ირევიან და ამავე დროს, მთელი გუნდი მაინც ერთი მიმართულებით, ქარის მიმართულებით გადაადგილდება (სწორედ ასეთ მოძრაობას ჰქვია დრეიფი).

ელექტრული დენი ლითონის გამტარში ელექტრული ველის გავლენით თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობაა.

1.3.1

აღიძვრება თუ არა ლითონის ნეიტრალურ გამტარში ელექტრული დენი, თუ გამტარს ერთი მიმართულებით, „მოწესრიგებულად“ ვამოძრავებთ? რატომ?

1.3.2 რა სიჩქარით მოძრაობენ თავისუფალი ელექტრონები დენიან გამტარში?

1.3.2

1. როგორ ფიქრობ, რა სიჩქარით მოძრაობს თავისუფალი ელექტრონები დენიან გამტარში? სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობის დასახელება, ცხადია, გაგიჭირდება, მაგრამ ივარაუდე: როგორია, შენი აზრით, თავისუფალი ელექტრონის სიჩქარე დენიან გამტარში? დიდია ელექტრონების სიჩქარე თუ მცირე?

2. **წარმოიდგინე:** შენი სახლიდან 100 კმ-ით დაშორებული ნათურა შეერთებულია დენის წყაროსთან შენს სახლში (სურ.1.3.5). როცა ჩამრთველს ჩართავ, საუკეთესო შემთხვევაში (თუ არ გაითვალისწინებ გამტარის ზოგიერთ ფიზიკურ მახასიათებელს, რომელიც შეაფერხებს დენის გავლას გამტარში) ნათურა 333,3 მკმმ-ში აინთება!

ნიშნავს თუ არა ეს, რომ ელექტრონი, რომელიც ჩამრთველის ჩართვისას დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთანაა, ნათურას დაახლოებით 300 000 კმ/წმ სიჩქარით უახლოვდება?

3. კითხვაზე პასუხი რომ გაგიადვილდეს, სხვა მაგალითიც განვიხილოთ: ვთქვათ, შენი სახლიდან 100 კმ-ის დაშორებით წყალსაქაჩი მდებარეობს, რომლიდანაც წყალი მოგეწოდება. როცა ტუმბო ამუშავდება, სახლში წყალი ონკანიდან, დაახლოებით, $\approx 66,7$ წმ-ის შემდეგ წამოვა. ნიშნავს თუ არა ეს, რომ წყლის მოლეკულები ტუმბოდან ონკანამდე დაახლოებით 1500 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს? წყლის რომელი პორცია წამოვა ტუმბოს ამუშავებიდან $\approx 66,7$ წმ-ში სახლში (სურ. 1.3.6): რომელიც ჩართვისას ტუმბომ ამოქაჩა წყალსაცავის ავზიდან, თუ ის, რომელიც სახლში, წყალსადენის მილშია?



სურ. 1.3.5



სურ. 1.3.6

იმისათვის, რომ 1-ლ დავალებაში დასმულ კითხვებზე პასუხი გაგიადვილდეს, განვიხილოთ ამოცანა:

ამოცანა 1.3.1

იპოვე თავისუფალი ელექტრონების დრეიფის (მიმართული მოძრაობის) საშუალო სიჩქარე სპილენძის გამტარში, როცა მასში გამავალი დენის ძალაა 1 ა. ცნობილია, რომ სპილენძის გამტარის განივკვეთის ფართობია $S = 1\text{მ}^2$, ხოლო მასში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $n = 8,5 \cdot 10^{28}\text{მ}^{-3}$;

ამოხსნა

1.2.3 ფორმულის თანახმად, თავისუფალი ელექტრონების დრეიფის (მიმართული მოძრაობის) საშუალო სიჩქარე ასე გამოითვლება:

$$v = \frac{I}{q_0 n S}, \quad (1.3.1)$$

სადაც q_0 ელექტრონის მუხტია: $q_0 = e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{კ}$;

ამოცანის მოცემულობის გათვალისწინებით, მიიღებ, რომ

$$v = \frac{I}{enS} \approx 7 \cdot 10^{-5}\text{მ/წმ} = 0,07\text{მმ/წმ}.$$

როგორც ხედავ, თავისუფალი ელექტრონების დრეიფის (მიმართული მოძრაობის) საშუალო სიჩქარე ძალიან მცირეა, რაც იმით აიხსნება, რომ ელექტრონები მოძრაობისას სხვა ნაწილაკებს „შეჯახება“ და ასეთი „შეჯახებების“ შედეგად კარგავს მიმართული მოძრაობის სიჩქარეს.

„შეჯახებების“ შედეგად ელექტრონების მოძრაობა ქაოსურ ხასიათს იღებს: განუწყვეტლივ იცვლის სიჩქარეს, თუმცა „დაჯახებიდან“ „დაჯახებამდე“ ელექტრონი წრფივად მოძრაობს. ამ დროს მისი სიჩქარე ოთახის ტემპერატურაზე, დაახლოებით, $8 \cdot 10^4$ მ/წმ-ს აღწევს, რაც მილიარდჯერ აღემატება დრეიფის სიჩქარეს!

რა სიჩქარით მოძრაობს თავისუფალი ელექტრონები დენიან გამტარში? ელექტრონები სხვადასხვა სახის მოძრაობაში მონაწილეობს:



სურ. 1.3.7

1. ქაოსურ (სითბურ) მოძრაობაში, რომლის დროსაც თითოეული მათგანის ინდივიდუალური სიჩქარის მოდული ძალიან დიდია ($\approx 8 \cdot 10^4$ მ/წმ);

2. დრეიფში, როცა ელექტრონები მიმართულად (მონესრიგებულად) მოძრაობს და ამგვარი მოძრაობის სიჩქარის მოდული ძალიან მცირეა, მილიმეტრის მეასედის რამდენიმე მილიმეტრამდე ნმ-ში).

მაშ, რატომ ინთება 100 კმ-ით დაშორებული ნათურა თითქმის მყისიერად? **წარმოიდგინე** (სურ.1.3.8): დანესებულების კართან იმ ადამიანების გრძელი რიგი დგას, რომლებიც შიგნით შესვლას მოუთმენლად ელიან. რიგში თითოეული ადამიანის ქცევა ინდივიდუალურია: რიგიდან გადის, მერე ისევ რიგში ბრუნდება, მოძრაობს მოუსვენრად ყველა მიმართულებით, მაგრამ წინ, კარისკენ, ძალიან ნელა მიიწევს. თუ რიგის ბოლოში მდგომი ადამიანი წინას უბიძგებს და შემდეგ ყველა ანალოგიურად მოიქცევა, ბიძგი მთელ რიგს გადაეცემა და გაცილებით ადრე მიაღწევს კართან, ვიდრე ის ადამიანი, რომელიც ბიძგის ინიციატორია... ბიძგის გადაცემის სიჩქარე გაცილებით მეტია, ვიდრე ადამიანების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე. ასეა დენიან გამტარშიც.



სურ. 1.3.8

მიზეზი იმისა, თუ რატომ ინთება ნათურა მყისიერად, გამტარში ელექტრული ველის გავრცელების სიჩქარეა. **ელექტრული ველი გამტარში ძალიან დიდი სიჩქარით ვრცელდება, თუმცა არა სინათლის სიჩქარით!** მისი გავრცელების სიჩქარე დაახლოებით 50-90 %-ია სინათლის სიჩქარისა, რომელიც ბუნებაში ყველაზე დიდი სიჩქარეა.

ასე რომ, თუ ნათურას მისგან 100 კმ-ით დაშორებულ დენის წყაროსთან მივაერთებთ, შემაერთებელ გამტარში აღიძვრება ელექტრული ველი, რომლის ზემოქმედებასაც გამტარის ყველა ელექტრონი თითქმის მყისიერად იგრძნობს. დაახლოებით 0,0004 ნმ-ში ყველა მათგანი მიმართულად იწყებს მოძრაობას გამტარის მთელ სიგრძეზე და, მათ შორის, ნათურის ძაფშიც: ნათურა აინთება!

ელექტრული ველის გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებულია იმ გარემოს ფიზიკურ თვისებებსა და გეომეტრიულ ზომებზე, რომელშიც იგი ვრცელდება. თუმცა დრო, რომელშიც ელექტრონები გამტარის მთელ სიგრძეზე ელექტრული ველის მხრიდან ზემოქმედებას „იგრძნობს“, ნებისმიერ შემთხვევაში გაცილებით მცირეა ($\approx 10^{14}$ -ჯერ ნაკლებია) იმ დროსთან შედარებით, რომელიც დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან მყოფ ელექტრონს ნათურამდე მისაღწევად დასჭირდებოდა...

წყლის შემთხვევაშიც ასეა: 1500 მ/წმ სიჩქარით წყალსადენ მილში წყლის წნევის ცვლილება ვრცელდება. წყლის მოლეკულების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე გაცილებით ნაკლებია. ტუმბოს ჩართვის შემდეგ ონკანში მოდის წყლის ის პორცია, რომელიც იქვეა, მილში, და არა ის, რომელიც ჩართვის მომენტში ტუმბომ ამოქაჩა.

ადამიანის სხეული დენის კარგი გამტარია. დენის გავლისას (დენის დარტყმისას) ადამიანის ორგანიზმი სხვადასხვა სახის დაზიანებას, **ელექტროტრავმას** იღებს. სურათ 1.4.1-ზე გამოსახულ დიაგრამაზე ჩანს, თუ რა მოქმედებით ხასიათდება სხვადასხვა სიდიდის **მუდმივი დენი** მოზრდილი ადამიანის სხეულში გავლისას.

ადამიანის სიცოცხლესთან შეუთავსებელია **მუდმივი დენი, რომლის სიდიდე 100 მა-ს (0,1 ა-ს) აღწევს**. 1 მა-ზე ნაკლები დენის ძალა კი უსაფრთხოა.

დაზიანებების სიმძიმე სხეულში გამავალი დენის ძალის გარდა დამოკიდებულია:

ა) **დენის ტიპზე:** იმის მიხედვით, მუდმივია იგი თუ ცვლადი, ერთი და იმავე სიდიდის დენი სხვადასხვა სახის დაზიანებებს იწვევს (ცვლადი დენი მეტად სახიფათოა);

ბ) **დენის მოქმედების ხანგრძლივობაზე;**

გ) **იმ მიმართულებაზე, რომლითაც დენი ადამიანის სხეულში გადის.** ყველაზე მეტად სახიფათოა, თუ დენი ტვინის ან ნერვული სისტემის იმ ცენტრებზე გაივლის, რომლითაც სუნთქვა და გულისცემა კონტროლდება.

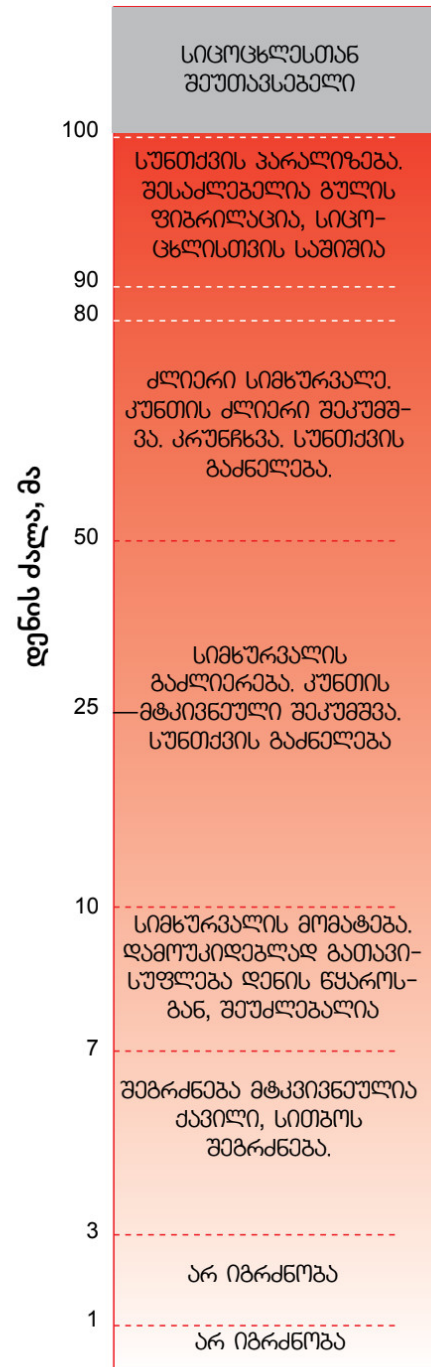
დენის მიმართ განსაკუთრებით მგრძნობიარეა ადამიანის სახე, კისერი, ხელის მტევნის ზედა მხარე. ამ ადგილებში დენის დარტყმა შეიძლება სასიკვდილო აღმოჩნდეს 10 – 15 ვ ძაბვის დროსაც კი, მაშინ, როცა **ძაბვა 36 ვ-მდე უსაფრთხოდ ითვლება**.

გაიხსენე: ელექტროსტატიკური მოვლენების შესწავლისას ვაკვირდებოდით დამუხტული სხეულის (მაგ., ბუშტის) განმუხტვას, რომლის დროსაც ძაბვის მნიშვნელობა 30000 ვ-მდე აღწევს, თუმცა ის ადამიანი სიცოცხლისთვის საშიშროებას არ ქმნიდა...

ასე რომ, **თავის კრიტიკულ (სასიკვდილო) მნიშვნელობას ($I_0 = 0,1$ ა) დენის ძალამ შეიძლება მიაღწიოს როგორც მაღალი, ისე დაბალი ძაბვისას.**

საზოგადოებაში მოარული აზრი, რომ „ძაბვა არ კლავს, დენის ძალა კლავს“, სიმართლეს არ შეესაბამება. ძაბვა (ელექტრული ველი) ელექტრული დენის აღძვრის მიზეზია, თავად დენი კი – შედეგი. ეს იგივეა, რომ ვამტკიცოთ: „მინისძვრა საშიში არ არის, საშიშია ცუნამი, რომელიც მინისძვრის შედეგად წარმოიქმნა...“ რაც ცხადია, არასწორი მტკიცებაა.

რა კავშირია დენის ძალასა და ძაბვას შორის? რა შემთხვევაში მიაღწევს დრამატულ მნიშვნელობას დენის ძალა დიდი ან პატარა ძაბვის დროს? დენის ძალისა და ძაბვის გარდა, კიდევ რა მნიშვნელოვანი ფაქტორი უნდა გავითვალისწინოთ ელექტრულ დენთან შეხების დროს? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებ, მას შემდეგ რაც დენის ძალასა და ძაბვას შორის დამოკიდებულების გამოვიკვლიებთ.



სურ. 1.4.1

1.4.1. პრაქტიკული სამუშაო: ძაბვის გაზომვა ვოლტმეტრით

გამტარში დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულებას, რომელსაც გრაფიკის ან დიაგრამის სახით გამოსახვენ, გამტარის **ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი** ჰქვია. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის დასადგენად, საჭიროა, გამტარში გამავალი დენის ძალა გავზომოთ გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის. მაგრამ მანამდე გავეცნოთ, როგორ უნდა გავზომოთ ძაბვა გამტარის ბოლოებს შორის.

ძაბვას გამტარის ბოლოებს შორის, ან როგორც ხშირად ამბობენ, **წრედის იმ უბნის ბოლოებზე**, რომელზედაც გამტარი (მაგ., ელექტრომომხმარებელია ჩართული) ზომავენ ხელსაწყოთი, რომელსაც **ვოლტმეტრი** ჰქვია. მისი მოქმედების პრინციპი (ამპერმეტრის მსგავსად) დენის მაგნიტურ მოქმედებას ეფუძნება.



სამუშაოსთვის საჭიროა ხელსაწყოები: დენის წყარო (9 V), სადგამიანი ნათურა, შემადგენელი სადენები კლიპებით, ჩამრთველი, ვოლტმეტრი — 

სამუშაოს მსვლელობა:

1. განსაზღვრე ვოლტმეტრის სკალის **დანაყოფის ფასი**;
2. განსაზღვრე ვოლტმეტრის **გაზომვის ზღვარი**;
3. ააწყვე ელექტრული წრედი სურათ 1.4.2-ზე მოცემული სქემის მიხედვით;

გაითვალისწინე: ვოლტმეტრს **პარალელურად** რთავენ **წრედის იმ უბანთან, რომლის ბოლოებს შორის არსებულ ძაბვასაც** ზომავენ (ამგვარი ჩართვის აუცილებლობის მიზეზს § 1.9-ში გავეცნობით). (სურ.1.4.2.): ვოლტმეტრის მომჭერი, რომელიც

ა) „+“ ნიშნითაა აღნიშნული, წრედის უბნის იმ ბოლოს უნდა მიუერთდეს, რომელიც დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან გამომავალ სადენთანაა შეერთებული;

ბ) „-“ ნიშნითაა აღნიშნული, წრედის უბნის იმ ბოლოს უნდა მიუერთდეს, რომელიც დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან გამომავალ სადენთანაა შეერთებული (**შენიშვნა:** აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე გამზომი ხელსაწყოები პოლარობის დაცვას აღარ საჭიროებს);

4. გაზომე ძაბვა (ჩართე ვოლტმეტრი წრედში პოლარობის დაცვით და შებრუნებულად. **დააკვირდი:** რა განსხვავებაა ჩვენებებს შორის):

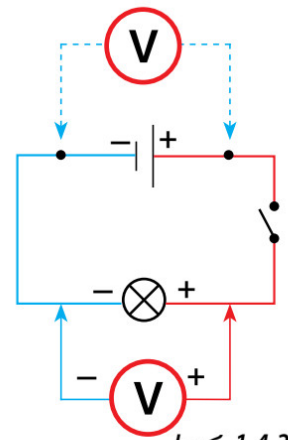
ა) ნათურის მომჭერებს შორის;

ბ) დენის წყაროს მომჭერებს შორის;

გ) ჩამრთველის მომჭერებს შორის.

5. ცდების ჩასატარებლად შეგიძლია სხვადასხვა ვირტუალური ლაბორატორიაც გამოიყენო: **phET-ის ლაბორატორია:** <http://bitly.ws/sw87>

Tinkercad-ის ლაბორატორია: <http://bitly.ws/sVes>



სურ. 1.4.2



უფრო ზუსტი გაზომვებისთვის გაითვალისწინე: პირდაპირი გაზომვისას გამზომ ხელსაწყოზე ანათვალის აღება გარკვეულ უზუსტობასთან (ცდომილებასთან) არის დაკავშირებული (იხ. §.3.2). პირდაპირი გაზომვის საბოლოო შედეგი მოიცავს

ა) ანათვალს ხელსაწყოს სკალიდან ($U_{სკ}$);

ბ) გაზომვის აბსოლუტურ ცდომილებას (ΔU).

1.4.2. პრაქტიკული სამუშაო: დენის ძალასა და ძაბვას შორის დამოკიდებულების გამოკვლევა.



სამუშაოსთვის საჭიროა ხელსაწყოები: დენის წყარო ძაბვის მარეგულირებლით (4 – 12 v), სადგამიანი ნათურა, ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები კლიპსებით.

1. ააწყვე ელექტრული წრედი სურათ 1.4.3-ზე მოცემული სქემის მიხედვით;
2. გაზომე ამპერმეტრით ნათურაში გამავალი დენის ძალა მის ბოლოებზე სხვადასხვა ძაბვის დროს. გადაიხაზე 1-ლი ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეიტანე გაზომვის შედეგები.

3. გამოთვალე შეფარდება: $\frac{I}{U}$.

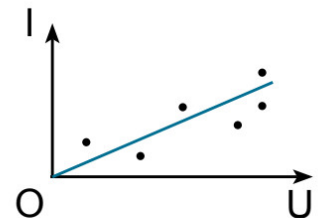
ცხრილი 1.

ცდის №	ძაბვა, U (ვ)	დენის ძალა, I (ა)	I/U
1.			
2.			
3.			

4. ააგე დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკი ცდის მონაცემების მიხედვით;

5. **გაანალიზე** გრაფიკი და **გამოიტანე დასკვნა:** როგორ არის დამოკიდებული წრედის უბანში (ნათურაში) გამავალი დენის ძალა უბნის (ნათურის) ბოლოებს შორის არსებულ ძაბვაზე?

მითითება: გრაფიკის აგებისას გაითვალისწინე, რომ დენის ძალა და ძაბვა გარკვეული ცდომილებით იზომება, ამიტომ მიღებული წერტილები მხოლოდ მიახლოებით წარმოდგენას შეგიქმნის გრაფიკის ფორმასზე: წერტილები, იმ წრფის მახლობლად განლაგდება, რომელიც იდეალურ შემთხვევაში მიიღებოდა (ანუ, თუ გაზომვები ცდომილებების გარეშე ჩატარდებოდა) (სურ. 1.4.4).



სურ. 1.4.4

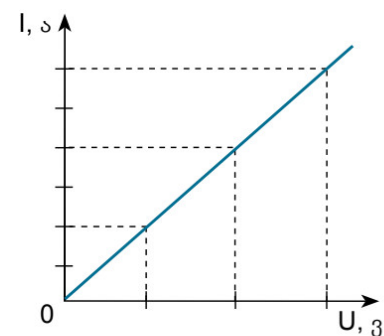
1.4.3. ოპის კანონი წრედის უზენისათვის

წრედის უბანს, რომელიც დენის წყაროს არ შეიცავს, წრედის **ერთგვაროვანი უბანი** ჰქვია.

იმ იდეალურ შემთხვევაში, თუ გაზომვებს ცდომილებების გარეშე ჩავატარებდით, **ვოლტ-ამპერულ მასხასიათებელს წრედის ერთგვაროვანი უზენისთვის** სურათ 1.4.5-ზე გამოსახული გრაფიკის სახე ექნებოდა. გრაფიკიდან (სურ.1.4.5) ჩანს, რომ

წრედის ერთგვაროვან უბანში გამავალი დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია უბნის ბოლოებს შორის არსებული ძაბვისა:

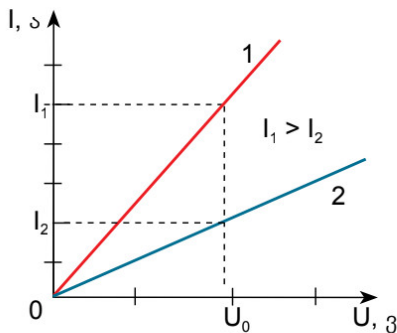
$$I \sim U \quad \text{ანუ,} \\ I = k U, \quad (1.4.1)$$



სურ. 1.4.5

სადაც k პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც დენის ძალასა და ძაბვაზე დამოკიდებული არ არის ($\frac{1}{U} = \text{const}$).

k პროპორციულობის კოეფიციენტი მხოლოდ გამტარზეა დამოკიდებული. ის ერთი და იმავე გამტარის შემთხვევაში მუდმივია, მაგრამ განსხვავებულია სხვადასხვა გამტარისთვის.



სურ. 1.4.6

დააკვირდი სურათ 1.4.6-ს: მასზე ორი გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელია გამოსახული:

1. ერთი და იმავე ძაბვის (U_0) შემთხვევაში, 1-ლ გამტარში გამავალი დენის ძალა (I_1) უფრო მეტია, ვიდრე მეორეში (I_2): $I_1 > I_2$.

ე.ი. 1-ლი გამტარის განიკვეთში უფრო მეტი მუხტი გადის, ვიდრე იმავე დროში – მეორეს განიკვეთში ანუ, 1-ლი გამტარი მეტი **ელექტროგამტარობით** გამოირჩევა!

2. გაიხსენე: x და y ცვლადებს შორის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება $y=kx$ სახის ფუნქციით გამოსახება, რომელშიც პროპორციულობის კოეფიციენტი $k = \text{const}$.

ამასთან, რაც უფრო მეტია k პროპორციულობის კოეფიციენტის მოდული, მით უფრო მეტია კუთხის სიდიდე $y = kx$ ფუნქციის გრაფიკსა და აბსცისათა ღერძის დადებით მიმართულებას შორის.

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ k პროპორციულობის კოეფიციენტი 1-ლი გამტარის შემთხვევაში უფრო მეტია, ვიდრე მეორის შემთხვევაში (სურ. 1.4.6): $k_1 > k_2$.

სწორედ k პროპორციულობის კოეფიციენტი ახასიათებს გამტარის მიერ ელექტრული მუხტის გატარების უნარს და მას **ელექტროგამტარობა** ჰქვია (მისი ერთეულია სიმენსი).

პრაქტიკაში უფრო გავრცელებულია არა **ელექტროგამტარობის**, არამედ მისი შებრუნებული სიდიდის ($\frac{1}{k}$ -ს) გამოყენება. ამ სიდიდეს **ელექტრული წინაღობა** (ან, უბრალოდ, **წინაღობა**) ჰქვია: რაც უფრო მეტია (ნაკლებია) გამტარის ელექტროგამტარობა, მით ნაკლებია (მეტია) გამტარის წინაღობა.

წინაღობა, ხშირად, **R ასოთი აღინიშნება** და მისი გათვალისწინებით 1.4.1 ტოლობა ასე ჩაიწერება:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.4.2)$$

1.4.2 გამოსახულება მათემატიკური ჩანაწერია იმ კანონზომიერებისა, რომელიც 1827 წელს გერმანელმა მეცნიერმა გეორგ ომმა ექსპერიმენტულად აღმოაჩინა (სურ.1.4.7). შემდგომში ამ კანონს მეცნიერის პატივსაცემად **ომის კანონი** ეწოდა. **ომის კანონის** თანახმად,

წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებზე არსებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია უბნის წინაღობისა:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.4.3)$$



სურ. 1.4.7. რაულ დიუფი – გეორგ ომი

დააკვირდი დენის ძალის დამოკიდებულებას ძაბვასა და წინააღობაზე ვირტუალურ ლაბორატორიაში:

phET-ში: <http://bitly.ws/sAv3>

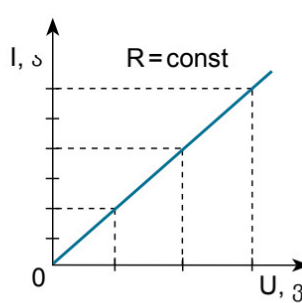
Tinkercad-ში: <http://bitly.ws/sVes>



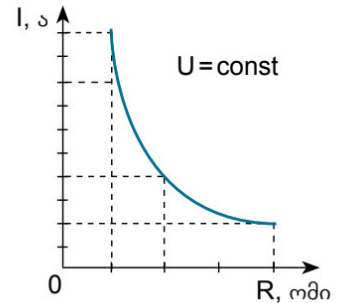
გაითვალისწინე: წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა

ა) უბნის ბოლოებს შორის არსებული ძაბვის პირდაპირპროპორციულია, თუ უბნის წინააღობა $R = \text{const}$ (სურ. 1.4.8);

ბ) უბნის წინააღობის უკუპროპორციულია, თუ უბნის ბოლოებს შორის ძაბვა $U = \text{const}$ (სურ. 1.4.9).



სურ. 1.4.8



სურ. 1.4.9

ომის კანონი წრედის უზნისათვის სამართლიანია ლითონის გამტარებისა და ელექტროლიტების წყალხსნარებისთვის იმ შემთხვევაში, თუ წრედის უბანი ერთგვაროვანია (არ შეიცავს დენის წყაროს).

1.4.4. წინააღობა

წინააღობა გამტარის ძირითადი ელექტრული მახასიათებელია. ომის კანონიდან ჩანს, რომ **გამტარში გამავალი დენის ძალა მოცემული ძაბვის დროს წინააღობაზე დამოკიდებულია:** მცირე წინააღობის დროს დენის ძალა გამტარში დიდია, ხოლო თუ წინააღობა გაიზრდება, მაშინ დენის ძალა შემცირდება.

მაინც რა არის წინააღობა? რატომ აქვს გამტარს წინააღობა? გაიხსენე: ელექტრული დენი გამტარში თავისუფალი მუხტების მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობაა. მიმართული, მოწესრიგებული მოძრაობისას ისინი სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედებს (ეჯახება მათ): მაგ., ლითონში თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდება კრისტალურ მესერში, რომლის კვანძებში დადებითი იონებია განლაგებული. თავისუფალი ელექტრონები დადებით იონებთან ურთიერთქმედებს, რაც მათ მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას ხელს უშლის. ელექტროლიტების ხსნარებში კი დადებითი და უარყოფითი იონების ურთიერთქმედება უშლის ხელს მათ მიმართულ მოძრაობას.

ასე რომ, **ნებისმიერი გამტარი მასში გამავალ დენს აფერხებს**, რადგან მას გარკვეულ წინააღმდეგობას უწევს და, შედეგად, გამტარში გამავალი დენის ძალა მცირდება. ამის მიზეზი თავისუფალი მუხტების სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედებაა.

რა მოხდებოდა, თუ გამტარში გამავალ დენს გამტარის მხრიდან წინააღმდეგობა არ შეხვდებოდა და თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობას არაფერი შეაფერხებდა? მაშინ ისინი ველის გავლენით მოწესრიგებულად იმოძრაებდა ინერციით განუსაზღვრელად დიდხანს, ანუ გამტარში დენი მუდმივად გაივლიდა (იხ. § 1.6).

წინააღობის ერთეული ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) 1 ომია (ომი, Ω). მას სახელი გეორგ ომის პატივსაცემად ეწოდა და, ომის კანონის მიხედვით, დადგინდა:

$$[R]_{\text{SI}} = \frac{[U]_{\text{SI}}}{[I]_{\text{SI}}} = 1 \frac{\text{ვ}}{\text{ა}} = 1 \text{ ომი}$$

1 ომი ისეთი გამტარის წინააღობაა, რომელშიც 1 ამპერი დენი გადის იმ დროს, როცა გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა 1 ვოლტია.

პრაქტიკაში გვხვდება წინააღობის სხვა ერთეულებიც:

1 კილომი (კომი) = 10^3 ომი; 1 მეგაომი (მგომი) = 10^6 ომი.

1.4.1

ომის კანონიდან გამომდინარეობს, რომ გამტარის წინაღობა ასე გამოითვლება:

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

შეიძლება თუ არა, წინაღობის გამოსათვლელი ფორმულის გათვალისწინებით, ვამტკიცოთ, რომ: „გამტარის წინაღობა პირდაპირპროპორციულია გამტარის ბოლოებს შორის არსებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია გამტარში გამავალი დენის ძალის“. პასუხი ახსენი.

1.4.5. ომის კანონის გამოყენება.

ომის კანონი ექსპერიმენტულადაა დადგენილი. ის ფუნდამენტური არ არის და სამართლიანია მხოლოდ გარკვეულ პირობებში. მაგ., კანონი საკმაოდ დიდი სიზუსტით სრულდება ლითონის გამტარებისთვის, ნებისმიერი მუდმივი ძაბვის დროს, თუ გამტარი არ დნება. ელექტროლიტების ხსნარებში (ნადნობებში) კი მაღალი ძაბვის დროს ომის კანონი აღარ სრულდება.

ომის კანონის გამოყენების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი სფეროა ელექტროტექნიკა: ელექტროსქემებთან მუშაობისას ხშირად სჭირდებათ ძაბვის განსაზღვრა რომელიმე დეტალის ბოლოებს შორის, რასაც ვოლტმეტრის დახმარების გარეშეც შეიძლება, თუ იციან დეტალის წინაღობა და მასში გამავალი დენი.

ომის კანონიდან ჩანს, რომ **მოცემული ძაბვის პირობებში დენის ძალა წრედის უბანში მით უფრო მეტია, რაც უფრო ნაკლებია უბნის წინაღობა**. თუ უბნის წინაღობა რაიმე მიზეზით შემცირდება (მაგ., თუ ლითონის სადენების საიზოლაციო ფენა დაირღვევა და ისინი ერთმანეთს შეეხება), უბანში გამავალი დენის ძალა გაიზრდება. შედეგად, ელექტრომონყობილობა მწყობრიდან გამოდის და შეიძლება ხანძარიც გაჩნდეს.

სწორედ ომის კანონია „პასუხისმგებელი“ იმაზე, თუ რა საფრთხეს უქმნის მაღალი ან დაბალი ძაბვა ადამიანს. ადამიანის სხეულს, ისევე როგორც ყველა გამტარს, წინაღობა აქვს, რომელიც დამოკიდებულია გარემო პირობებზე (ჰაერის ტემპერატურაზე, ტენიანობაზე), ადამიანის საერთო მდგომარეობაზე (დაღლილობაზე, ემოციურ ფონზე, კანის ზედაპირის ოფლით დატენიანებაზე, სისხლში ალკოჰოლის შემცველობაზე, და ა. შ.).

მაგ., მშრალ, გაუხეშებულ კანს დიდი წინაღობა აქვს, ნაზი და ტენიანი კანის წინაღობა კი მცირეა. წინაღობას კანის სხვადასხვა დაზიანებაც (ჭრილობა, განაკანრები) ამცირებს. მშრალი, დაუზიანებელი კანის შემთხვევაში ადამიანის სხეულის წინაღობა გაშლილი ხელების თითებს შორის 40 000-დან 100 000 ომამდეა, ხოლო თუ ხელები ოფლითაა დატენიანებული, წინაღობა მათ შორის შეიძლება 800-დან 1000 ომამდეც შემცირდეს.

ასე რომ, ელექტრული დენის დარტყმა ზოგჯერ შეიძლება დაბალი ძაბვის დროსაც კი სახიფათო აღმოჩნდეს: ომის კანონიდან გამომდინარე, თუ ადამიანის სხეულის წინაღობა 700 ომია, მაშინ დენის ძალა სახიფათო ნიშნულს (0,1 ა) 35 ვოლტი ძაბვის დროს აღწევს. ამიტომ მიუხედავად იმისა, რომ ძაბვის დასაშვები მნიშვნელობა 36 ვოლტია, ელექტრიკოსები ასეთი ძაბვის დროსაც დამცავ საიზოლაციო საშუალებებს იყენებს: რეზინის ხელთათმანებითა და ისეთი ინსტრუმენტებით მუშაობენ ძაბვის ზონაში, რომელთაც იზოლირებული სახელური აქვს.

... სპექტაკლის პირველი მოქმედება დამთავრდა. თეატრის მრავალრიცხოვანი პერსონალი სცენაზე გამოიშალა და დეკორაციების გადაღება დაიწყო. მაყურებლის თვალწინ სასახლის ბრწყინვალე დარბაზი ბრძოლის ველად იქცა...

ეს იყო 1914 წლამდე, მანამდე, სანამ ტანსაცმლის საქვეყნოდ ცნობილი დიზაინერი, არქიტექტორი, თეატრის მხატვარი და გამნათებელი, მარიანო ფორტუნი, სცენოგრაფიაში თავის ახალ გამოგონებას დანერგავდა.

... სინათლე თანდათან მიიღევა. სცენა ბნელდება. სცენის მუშები დეკორაციებს კვლავ ამზადებენ მეორე ნაწილისთვის. თუმცა ჩაბნელებული სცენა და დარბაზი მაყურებელს საშუალებას აძლევს, ემოციურად კვლავ სპექტაკლზე დარჩეს... მერე სცენა ისევ თანდათან ნათდება და ზღაპარი ისევ იწყება... ისე, რომ არც დამთავრებულა.

მარიანო ფორტუნი იყო ადამიანი, რომლის ინტერესები მხოლოდ სახელოვნებო დარგებით არ შემოიფარგლებოდა. მიღწევები ფიზიკისა და ქიმიაში მას ისევე მხურვალედ აინტერესებდა, როგორც საკუთარი შედეგის, „დელფოსის“ კაბის გოფირებული დეტალები.

გამოგონება, რომელმაც თეატრის ისტორიაში გარდამტეხი როლი შეასრულა, სცენის განათებას უკავშირდებოდა. ახლა უკვე შეეძლოთ, სცენაზე განათების თანდათანობით ცვლილებით სხვადასხვა ეფექტი შეექმნათ... დაისის სევდა, გარდასული ლანდების ბინდისფერი და მიმქრალი სამყარო, მზის ამოსვლის სიხარული და სინათლით გაკაშკაშებული მაჟორული განწყობა...

მოწყობილობა, რომელიც ფორტუნიმ სცენის განათებაში პირველად გამოიყენა, **რეოსტატი**, რომლის მოქმედების პრინციპს საფუძვლად წრედის უბნისთვის დადგენილი **ომის კანონი** უდევს: ელექტრული დენის ძალა მოცემული ძაბვისას უკუპროპორციულია წინააღობისა. **რეოსტატი არის ხელსაწყო, რომლის წინააღობის ცვლილებაც შესაძლებელია თანდათან** და მას წრედში დენის ძალის რეგულირებისთვის იყენებენ: თუ რეოსტატის წინააღობას გავზრდით, დენის ძალა წრედში შემცირდება (შესაბამისად, შემცირდება წრედში ჩართული ნათურის ნათება), ხოლო თუ მის წინააღობას შევამცირებთ – დენის ძალა წრედში გაიზრდება (ნათურის ნათება მოიმატებს).

1907 წელს მარიანო ფორტუნიმ თავისი ცნობილი სამუშაო სანათი (ე.წ. „ფორტუნის“ სანათი) შექმნა, რომლის განათებულობა რეოსტატის დახმარებით იცვლებოდა (სურ.1.5.1). ფორტუნის სანათები დღესაც დიდი პოპულარობით სარგებლობს, თუმცა სანათებში, რეოსტატების ნაცვლად, მათ თანამედროვე ანალოგებს, ე.წ. **დიმერებს**, იყენებენ. როგორ იცვლება რეოსტატის წინააღობა? რაზეა დამოკიდებული წინააღობა? ამ კითხვებზე პასუხს ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გასცემ.

1.5.1 რაზეა დამოკიდებული წინააღობა?

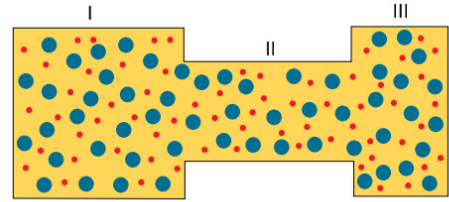
შენ იცი, რომ **წინააღობა გამტარის ძირითადი ელექტრული მახასიათებელია**: ის გამტარის მხრიდან მასში გამავალი დენისადმი წინააღმდეგობის გაწევის უნარს ახასიათებს. იცი მიზეზიც, რა მიზეზითაც გამტარს წინააღობა აქვს.



სურ. 1.5.1. ფორტუნის სანათები.

1.5.1

1. დააკვირდი: სურათ 1.5.2-ზე ერთი და იმავე ლითონის გამტარის სამი განსხვავებული უბნის კრისტალური მესერია სქემატურად გამოსახული (ჩათვალე, რომ წითელი ნაწილაკები თავისუფალი ელექტრონებია, ლურჯი კი – კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებული იონები).

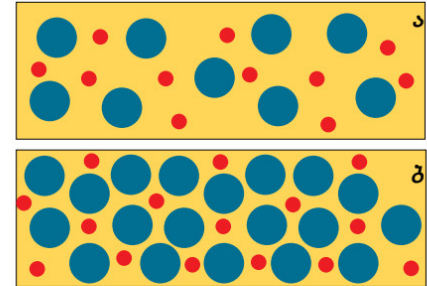


სურ. 1.5.2

როგორ ფიქრობ, გამტარის რომელ უბანს აქვს უფრო მეტი ელექტრული წინაღობა:

ა) I-ს თუ II-ს (ორივე უბნის სიგრძე ერთნაირია)?

ბ) I-ს თუ III-ს (ორივე მათგანის განივკვეთის ფართობი ერთნაირია)? პასუხი დაასაბუთე.



სურ. 1.5.3

გამოთქვი ჰიპოთეზა: არის თუ არა გამტარის წინაღობა დამოკიდებული მის გეომეტრულ ზომებზე (სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობზე) და როგორია ამ დამოკიდებულების ხასიათი?

2. სურათ 1.5.3-ზე ორი განსხვავებული ლითონის კრისტალური მესერია სქემატურად გამოსახული. როგორ ფიქრობ, რომელ გამტარს აქვს მეტი ელექტრული წინაღობა? პასუხი დაასაბუთე.

გამოთქვი ჰიპოთეზა: არის თუ არა გამტარის წინაღობა იმ ნივთიერების გვარობაზე დამოკიდებული, რომლისგანაცაა დამზადებული?

ჰიპოთეზების ჭეშმარიტების შემოწმება ექსპერიმენტულადაც შეგვიძლია, თუმცა ამჯერად სხვა გზას მივყევით: შევეცადოთ, თეორიულად, ლოგიკური მსჯელობით მივიღეთ პასუხამდე კითხვაზე: რაზეა დამოკიდებული გამტარის წინაღობა?

ამოცანა 1.5.1

დაადგინე, როგორ არის დამოკიდებული გამტარის წინაღობა მის:

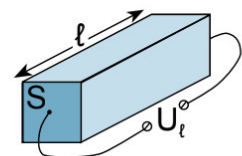
ა) სიგრძეზე; ბ) განივკვეთის ფართობზე.

1.

ა) **დააკვირდი** სურათ 1.5.4-ს: მასზე გამოსახულია გამტარი, რომლის სიგრძეა l , ხოლო განივკვეთის ფართობი – S ;

ბ) გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა U_l -ის ტოლია, ხოლო მასში გამავალი დენის ძალაა I ;

გ) ომის კანონის თანახმად, l სიგრძის გამტარის წინაღობა ასე გამოითვლება:



სურ. 1.5.4

$$R_l = \frac{U_l}{I};$$

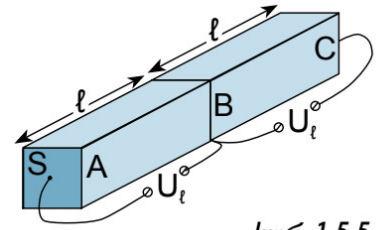
№	გამტარის სიგრძე	გამტარის განივკვეთის ფართობი	ძაბვა გამტარის ბოლოებს შორის	დენის ძალა გამტარში	გამტარის წინაღობა
1	l	S	U	I	R_l

2.

ა) **წარმოიდგინე:** ორი ერთნაირი, l სიგრძისა და S განივკვეთის ფართობის მექონე გამტარი ისეა შეერთებული, რომ ერთი მეორის გაგრძელებაა (სურ.1.5.5). გამტართა ასეთი შეერთებით მიღებული ახალი გამტარის სიგრძეა $2l$, ხოლო განივკვეთის ფართობი – S ;

ბ) რა დაბვა უნდა მოვდოთ 2ℓ სიგრძის გამტარის ბოლოებზე, რომ მასში ისეთივე დენი გადიოდეს, როგორიც 1-ლ შემთხვევაში, ℓ სიგრძის გამტარში?

გაიხსენე: დაბვა რიცხობრივად იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ელექტრული ველი ერთეულოვანი მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს.



სურ. 1.5.5

თუ ℓ სიგრძის გამტარის ბოლოებს შორის U_ℓ დაბვაა საჭირო იმისათვის, რომ მასში I დენი გადიოდეს, მაშინ მეორე ისეთივე გამტარის ბოლოებს შორისაც U_ℓ დაბვა უნდა არსებობდეს (იმისათვის, რომ მასში გამავალი დენის ძალაც I -ს ტოლი იყოს).

გ) ასე რომ, 2ℓ სიგრძის გამტარის ბოლოებზე არსებული დაბვა იმ დაბვების ჯამის ტოლია, რომლებიც ცალკეული ℓ სიგრძის გამტარის ბოლოებს შორისაა:

$$U_{2\ell} = 2 U_\ell$$

დ) 2ℓ გამტარის წინაღობა ასე გამოითვლება: $R_{2\ell} = \frac{U_{2\ell}}{I} = 2 \frac{U_\ell}{I} = 2R_\ell$

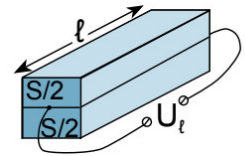
№	გამტარის სიგრძე	გამტარის განივკვეთის ფართობი	დაბვა გამტარის ბოლოებს შორის	დენის ძალა გამტარში	გამტარის წინაღობა
1	ℓ	S	U	I	R_ℓ
2	2ℓ	S	$2U$	I	$2R_\ell$

ანუ, 2ℓ სიგრძის გამტარის წინაღობა ორჯერ გაიზარდა ℓ სიგრძის გამტარის წინაღობასთან შედარებით. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **გამტარის წინაღობა პირდაპირპროპორციულია გამტარის სიგრძისა** (განივკვეთის უცვლელი ფართობის შემთხვევაში):

$$R \sim \ell \quad (1.5.1)$$

3.

ა) **გავაგრძელოთ მსჯელობა:** ვთქვათ, გამტარი ორ ნაწილად გავჭერით სიგრძეზე, ისე, რომ მივიღეთ კომბინაცია ორი ერთნაირი სიგრძის გამტარისა, რომელთაგან თითოეული ნაწილის განივკვეთის ფართობი $S/2$ -ია (სურ.1.5.6).



სურ. 1.5.6

ბ) თუ მოცემული U_ℓ დაბვის დროს, მთლიან გამტარში I დენი გადის, გამოდის, რომ თითოეულ ნაწილში გამავალი დენის ძალაა $I/2$.

გ) რადგან ორივე ნაწილის ბოლოებზე დაბვა ერთნაირია, თითოეული ნაწილის წინაღობა გამოითვლება:

$$R_{S/2} = \frac{U_\ell}{I/2} = 2 \frac{U_\ell}{I} = 2R_\ell$$

№	გამტარის სიგრძე	გამტარის განივკვეთის ფართობი	დაბვა გამტარის ბოლოებს შორის	დენის ძალა გამტარში	გამტარის წინაღობა
1	ℓ	S	U	I	R_ℓ
3	ℓ	$S/2$	U	$I/2$	$2R_\ell$

ანუ, განივკვეთის ფართობის 2-ჯერ შემცირებისას გამტარის წინაღობა ორჯერ გაიზარდა. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **გამტარის წინაღობა უკუპროპორციულია გამტარის განივკვეთის ფართობისა** (უცვლელი სიგრძის შემთხვევაში):

$$R \sim \frac{1}{S} \quad (1.5.2)$$

თუ გავითვალისწინებთ 1.5.1 და 1.5.2 დამოკიდებულებას, მივიღებთ, რომ გამტარის წინაღობა პირდაპირპროპორციულია გამტარის სიგრძისა და უკუპროპორციულია გამტარის განივკვეთის ფართობისა:

$$R \sim \frac{\ell}{S} \quad (1.5.3)$$

1.5.2 გამტარის კუთრი წინაღობა

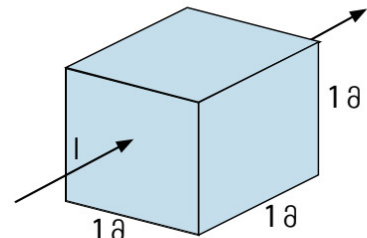
ასე რომ, გამტარის წინაღობა გამოითვლება ფორმულით

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \quad (1.5.4)$$

სადაც ℓ გამტარის სიგრძეა, S განივკვეთის ფართობია, ხოლო ρ პროპორციულობის კოეფიციენტი.

ρ პროპორციულობის კოეფიციენტი გამტარის გეომეტრიულ ზომებზე დამოკიდებული არ არის. ის დამოკიდებულია იმ ნივთიერების (მასალის) გვარობასა და მდგომარეობაზე (ტემპერატურაზე), რომლისგანაც გამტარია დამზადებული. ρ -ს გამტარის კუთრი წინაღობა ჰქვია.

ვთქვათ, გამტარს კუბის ფორმა აქვს, რომლის წიბო 1 მ-ის ტოლია (სურ.1.5.7). თუ კუბში დენი მოპირდაპირე ნახნაგების მართობულად გადის, მისი წინაღობა რიცხობრივად იმ ნივთიერების კუთრი წინაღობას დაემთხვევა, რომლისგანაც კუბი დამზადებული.



სურ. 1.5.7

1.5.4 გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$[\rho]_{SI} = \frac{[R]_{SI}[S]_{SI}}{[\ell]_{SI}} = 1 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მ}^2}{\text{მ}} = 1 \text{ომი} \cdot \text{მ}. \quad \text{ანუ,}$$

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) კუთრი წინაღობის ერთეულია: 1 ომი · მ.

პრაქტიკაში ლითონის გამტარების განივკვეთის ფართობს, მისი სიმცირის გამო, ხშირად მმ^2 -ით გამოსახავენ. შესაბამისად, ასეთ შემთხვევებში უფრო მოსახერხებელია კუთრი წინაღობის სისტემგარეშე ერთეულის, $1 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$ -ის გამოყენება.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $1 \text{ მმ}^2 = 10^{-6} \text{ მ}^2$, მივიღებთ: $1 \text{ ომი} \cdot \text{მმ}^2 / \text{მ} = 10^{-6} \text{ ომი} \cdot \text{მ}$

ნივთიერების კუთრი წინაღობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, რა წინაღობა აქვს ამ ნივთიერებისგან დამზადებულ 1 მ სიგრძისა და 1 მმ^2 განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარს.

სხვადასხვა ნივთიერება განსხვავებული კუთრი წინაღობით ხასიათდება. ცხრილ 1.5-ში მოცემულია ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი წინაღობის მნიშვნელობა 20° C ტემპერატურაზე.

ცხრილი 1.5. ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი წინაღობა 20° C ტემპერატურაზე, ომი · $\text{მმ}^2/\text{მ}$ ან 10^{-6} ომი · მ.

ვერცხლი	0,016	რკინა	0,10	ნიქრომი (Ni, Fe, Cr)	1,1
სპილენძი	0,017	ტყვია	0,21	გრაფიტი	1,3
ოქრო	0,024	ვერცხლისწყალი	0,96	ფაიფური	10^{19}
ალუმინი	0,028	კონსტანტანი (Cu, Ni)	0,50	ებონიტი	10^{20}
ვოლფრამი	0,055	ნიკელინი (Fe, Co, Sb, S)	0,40	ქიმიურად სუფთა წყალი	10^{20}

კარგ გამტარებს მცირე კუთრი წინაღობა და დიდი ელექტროგამტარობა აქვს. დააკვირდი 1-ლი ცხრილის მონაცემებს: ყველაზე მცირე კუთრი წინაღობა ვერცხლს, სპილენძს, ოქროსა და ალუმინს აქვს. შესაბამისად, ეს ოთხი ლითონი საუკეთესო გამტარებად

ითვლება. მათ შორის ვერცხლი გამოირჩევა თავისი ელექტროგამტარობით, თუმცა ის ძალიან ძვირფასი ლითონია და, ძირითადად, საიუველირო ნაკეთობებში გამოიყენება. საყოფაცხოვრებო და სამეწარმეო მიზნებისთვის (მაგ., ელექტროგაყვანილობაში) უპირატესობა სპილენძს ენიჭება. მისი დნობის ტემპერატურა მაღალია და ექსპლოატაციის ხანგრძლივი ვადით გამოირჩევა. ალუმინს წრედებში დაბალი ძაბვის დროს იყენებენ, რადგან მისი დნობის ტემპერატურა თითქმის ორჯერ ნაკლებია სპილენძისაზე და ხანგრძლივ კრიტიკულ დატვირთვას ვერ უძლებს.

ლითონის გამტარებიდან ყველაზე დიდი კუთრი წინაღობა შენადნობებს (მაგ., ნიკელის, რომელიც სპილენძისა და ნიკელის შენადნობია) აქვს. **დიელექტრიკების** (ფაიფურის, ებონიტის) **კუთრი წინაღობა ძალიან დიდია**, შესაბამისად, დიელექტრიკები ცუდი ელექტროგამტარობით ხასიათდება და სწორედ ამ მიზეზით იყენებენ მათ იზოლატორებად.

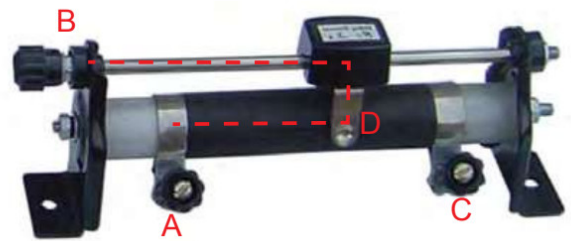
1.5.3. რეოსტატი

რეოსტატის მოქმედება წინააღობის გამტარის სიგრძეზე დამოკიდებულებას ეფუძნება. მისი მთავარი ნაწილი კერამიკის ცეცხლგამძლე ცილინდრზე დახვეული დიდი კუთრი წინააღობის მქონე ლითონის (ნიკელის) სადენია, რომლის ბოლოები **A** და **C** მომჭერებთანაა მიერთებული (სურ. 1.5.8). სადენის ხვეები ერთმანეთისგან იზოლატორის თხელი ფენითაა გამოყოფილი, ამიტომ დენი ხვიაში გადის და არა **AC** წრფის გასწვრივ.

ცილინდრის ზემოთ დამაგრებული ლითონის ჰორიზონტალური ღეროს გასწვრივ **მცოცავი კონტაქტი** სრიალებს. მცოცავი კონტაქტი არა მარტო ღეროს, არამედ ხვეებსაც ეხება.

თუ რეოსტატს წრედში **A** და **B** მომჭერებით ჩავრთავთ (ანუ წრედში ჩართული იქნება რეოსტატის მხოლოდ **AD** უბანი), დენი **A**-დან ხვეების გავლით მცოცავ კონტაქტამდე მივა, ხოლო შემდეგ ღეროსა და **B** მომჭერის გავლით წრედის დანარჩენ უბანში გაივლის (მიმართულება, რომლითაც დენი გადის, წითელი წყვეტილი ხაზითაა აღნიშნული). **შენიშვნა:** რეოსტატი შეიძლება **C** და **B** მომჭერებითაც ჩავრთოთ წრედში.

თუ მცოცავ კონტაქტს მარჯვნივ, **C** წერტილისკენ გადავაადგილებთ, იმ ხვიათა რიცხვი (გამტარის სიგრძე), რომლებშიც დენი გადის, გაიზრდება და შესაბამისად, გაიზრდება რეოსტატის წრედში ჩართული უბნის წინააღობა. შედეგად კი წრედში დენის ძალა შემცირდება.



სურ. 1.5.8

1.5.2

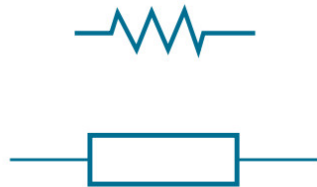
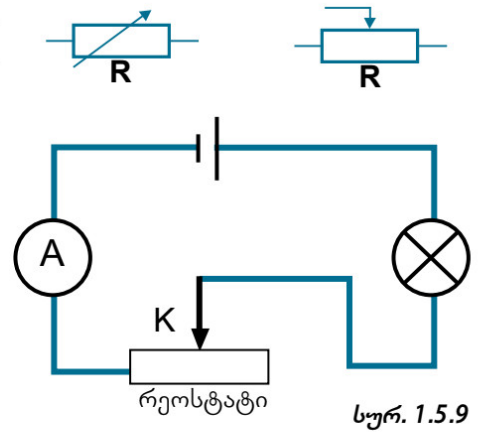
1. როგორ შეიცვლება დენის ძალა წრედში, თუ რეოსტატის (სურ.1.5.8) მცოცავ კონტაქტს, მარცხნივ, **A** წერტილისკენ გადავაადგილებთ?
2. რისი ტოლი იქნება რეოსტატის წრედში ჩართული უბნის წინააღობა, თუ მცოცავ კონტაქტს ზუსტად **A** მომჭერთან დავაყენებთ? **გაითვალისწინე:** რეოსტატის გამოყენებისას აკრძალულია ასე მოქცევა. რატომ?
3. როდის იქნება რეოსტატის წრედში ჩართული უბნის წინააღობა უდიდესი? როგორი იქნება ამ დროს დენის ძალა წრედში?

რეოსტატის დახმარებით ცვლიან ბგერის ხმამაღლობას (აუდიოსისტემებში), განათებულობას (სანათებში, შენობებში), ელექტროძრავას ბრუნვის სიჩქარეს და ა.შ. რეოსტატები განსხვავებული სახისაა იმის მიხედვით, თუ სად გამოიყენება, მაგრამ მოქმედების პრინციპი ყველა სახის რეოსტატში ერთნაირია. სურათ 1.5.9-ზე რეოსტატის პირობითი

აღნიშვნები და მისი წრედში ჩართვის სქემაა გამოსახული (**გაითვალისწინე**: რეოსტატის მომჭერებს პოლარობა (დადებით და უარყოფით პოლუსები) არ აქვს).

3.5.4 რეზისტორი

ელექტრონული სქემების ერთ-ერთი მთავარი ელემენტი **რეზისტორია**, რომელიც წრედში მოცემულ (ნომინალურ) წინააღობას ქმნის. რეზისტორი, რეოსტატის მსგავსად, წრედში დენის ძალის რეგულირებისთვის გამოიყენება. მას ხშირად, უბრალოდ, „წინააღობასაც“ უწოდებენ. რეზისტორის წინააღობა მითითებულია მის კორპუსზე ან რიცხობრივად ან სპეციალური მარკირებით (ფერადი ზოლების სახით) (სურ.3.5.10) (რეზისტორის წინააღობის გამოთვლის წესი ფერადი ზოლების მიხედვით შეგიძლია § 3.5-ის დამატებითი ამოცანებში მოძებნო). რეზისტორის პირობითი აღნიშვნა გამოსახულია სურათ 3.5.11-ზე.



რეზისტორს, როგორც დენის ძალის შემომსაზღვრელს, ხშირად იყენებენ წრედში ე.წ. **შუქდიოდის** ჩართვისას (სურ.3.5.12): თუ შუქდიოდს დენის წყაროს (გალვანურ ელემენტს) პირდაპირ მიუერთებ, ის მწყობრიდან გამოვა, დაიწვება. ყველაზე მარტივი ხერხი, რომ ეს უსიამოვნება თავიდან ავიცილოთ, შუქდიოდის გალვანურ ელემენტთან სწორად შერჩეული რეზისტორის დახმარებით მიერთებაა.

არსებობს **ცვლადი რეზისტორიც** – ეს არის რეზისტორი, რომლის ელექტრული წინააღობა შეიძლება შეიცვალოს (სურ.1.5.13).



უსაფრთხოება უპირველესია!

რა აქვთ საერთო სურათებზე (სურ.1 – 4) გამოსახულ ადამიანებს? ბევრი რამ შეიძლება ჰქონდეთ საერთო მათ, ერთი კი აუცილებლად – მეცნიერების სიყვარული.

კარლ შეელე (1741 – 1786) (სურ.1) შვედი ქიმიკოსი და ფარმაცევტია, რომელმაც ჟანგბადი (როგორც იმ დროს უწოდებდნენ, „ცხელი ჰაერი“), კალიუმის პერმანგანატი, ვოლფრამი, რძემჟავა, ციანმჟავა აღმოაჩინა. მან პირველმა მიიღო ქლორი, გლიცერინი. ის უამრავ ექსპერიმენტს ატარებდა: ხელის მტევნები ტუტეებისა და მჟავებისგან დამწვარი ჰქონდა. აღმოჩენებისგან ბედნიერი სიამოვნებით ყნოსავდა ახალ ნივთიერებებს, უსინჯავდა გემოს (იმ დროს ქიმიკოსები ვალდებულები იყვნენ, ახლად აღმოჩენილი ნივთიერების გემო აღენერათ!).

შეელი მის მიერ აღმოჩენილი ციანმჟავას დაგემოვნებას შეეწირა. დატოვა წერილი, სადაც აღწერილი ჰქონდა, რომ ციანმჟავას მწარე ნუშის გემო დაჰკრავს...

შარლ შმიდტი (1890 – 1957) (სურ. 2) ამერიკელი ზოოლოგი და ჰერპეტოლოგი აფრიკული ბუმსლანგის ნაკბენისგან დაიღუპა. შმიდტი ქვეწარმავლის ქცევას იკვლევდა, რაც მას არაერთხელ გაუკეთებია და საფრთხემაც არ დააყოვნა... შმიდტი მიხვდა, რომ შხამის საწინააღმდეგო შრატის შექმნას ვერ მოასწრებდა და ბოლო წუთამდე დანვრილებით აღწერდა დღიურში, თუ რას განიცდიდა მისი ორგანიზმი შხამის ზემოქმედების სხვადასხვა ეტაპზე...

მარია სკლოდოვსკა – კიური (1867 – 1934) (სურ. 3) ერთადერთი მეცნიერი ქალია, რომელმაც ნობელის პრემია ერთდროულად, ქიმიასა და ფიზიკაში, რადიაციის აღმოჩენისთვის მიიღო. რადიოაქტიურ ნივთიერებებთან მუდმივი შეხების შედეგად მარია კიურის ხელები წყლულებით ჰქონდა დაფარული. მარია კიური გულსაკიდით რადიუმიან ამპულას დაატარებდა... ის იმ უიშვიათესი დავადებით (აპლასტიური ანემიით) გარდაიცვალა, რომელსაც რადიაცია იწვევს...

VIII საუკუნის მეორე ნახევარში, როცა იდუმალებით მოცული ელექტრობის კვლევა არა მარტო მეცნიერების, არამედ უბრალო ადამიანების საოცარ სულისკვეთებად იქცა. ელექტრული მოვლენების კვლევის სულ ორი გზა არსებობდა: ადამიანის სხეულში დენის გატარება და ატმოსფერული ელექტრობაზე დაკვირვება...

კვლევის ამგვარი მეთოდები საოცარ თავგანწირვასა და სიმამაცეს მოითხოვდა, რადგან იმ დროს არ არსებობდა გამზომი ხელსაწყოები, იზოლირებული გამტარები... მეტიც, მეცნიერებმა არც კი იცოდნენ, რა საფრთხე ელოდა მათ.

სწორედ ატმოსფეროს კვლევას შეეწირა **გეორგ ვილჰელმ რიხმანი** (1711 – 1753) (სურ. 4), რომელიც ჭექა-ქუხილის დროს წარმოქმნილი ელექტრული მუხტით ცდილობდა ლეიდენის ქილის დამუხტვას. რიხმანის ტრაგიკული დაღუპვა იმდენად გახმაურდა მთელ მსოფლიოში, რომ რუსეთში დროებით აიკრძალა ელექტრობის კვლევა.

ძალიან გაუმართლა ბენჯამინ ფრანკლინს, რომელიც შვილთან ერთად ატარებდა ძალიან სახიფათო ექსპერიმენტებს, რათა დაემტკიცებინა, რომ „ღრუბლის ელვა ელექტრობაა“... სწორედ მისი ექსპერიმენტები გახდა რიხმანისთვის ერთგვარი შთაგონების წყარო...



სურ. 1



სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4

რა აქვთ საერთო სურათებზე (სურ.1 – 4) გამოსახულ ადამიანებს? ყველა მათგანი იმ დროს და იმ სფეროში მოღვაწეობდა, რომელშიც თავად იყვნენ პირველადმომჩენები და ხშირად გაცნობიერებული არც ჰქონდათ, რა საფრთხეს შეიცავდა მათ მიერ



სურ. 5



ფრთხილად, მაღალი ძაბვა!

სურ. 6

აღმოჩენილი თუ გამოკვლეული მოვლენა: ყველა მათგანის სიცოცხლე ექსპერიმენტების დროს შეწყდა....

სადაც არ უნდა იყო (სამეცნიერო ლაბორატორიაში თუ ნებისმიერ დაწესებულებაში, სახლში, ქუჩაში), იზრუნე, რომ შენი და შენ გარშემო მყოფი ადამიანების სიცოცხლე დაცული იყოს საფრთხეებისგან, რომლებიც შეიძლება სწორედ იქ იყოს ჩასაფრებული, სადაც არ ელი.

საფრთხეები სხვადასხვა სახისაა (სურ. 5), თუმცა ჩვენ ამჯერად მხოლოდ **ელექტრულ საფრთხეზე** ვისაუბრებთ და უსაფრთხოების იმ წესებს გავეცნობით, რომელთა ცოდნა ძალიან მნიშვნელოვანია, თუ ელექტრულ დენთან შეხება გაქვს.

საფრთხეს, რომელიც ელექტრულ დენთან გაუფრთხილებელმა მოქცევამ შეიძლება შეუქმნას ადამიანის სიცოცხლეს, **ელექტრული საფრთხე** ჰქვია.

მე-6-ზე სურათზე გამოსახულია საერთაშორისო ნიშნები, რომლებიც ელექტრული საფრთხის არსებობაზე მიგვანიშნებს. თუმცა ეს საფრთხე შესაძლებელია იმ ადგილებშიც

იმალებოდეს, სადაც არავინ ელის და არც გამაფრთხილებელი ნიშანი ჩანს.

ასე, რომ გამაფრთხილებელი ნიშნის იმედად ყოფნას, სჯობს მუდმივად იფიქრო უსაფრთხოებაზე, ყურადღებით გაეცნო ელექტრულ დენთან უსაფრთხოდ მოქცევის წესებს და მიაწოდო ინფორმაცია ამ წესების შესახებ სხვებსაც (განსაკუთრებით კი პატარა და-ძმას!).

ელექტრული დენის გარეშე წარმოუდგენელია თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება, მაგრამ მის სასარგებლო თვისებებთან ერთად, მუდმივად უნდა გვახსოვდეს, რომ **დენი ძალიან სახიფათოა და მასთან გაუფრთხილებლად მოპყრობა არ შეიძლება!**

დენი განსაკუთრებით იმ ადამიანებისთვისაა საშიში, რომლებმაც არ იციან, უსაფრთხოების რა ზომები მიიღონ დენთან მუშაობისას ან სულაც ყოველდღიურ ცხოვრებაში.

ყურადღებით გაეცანი უსაფრთხოების იმ წესებს, რომელთა დაცვაც საჭიროა დენთან ურთიერთობისას. იფიქრე უსაფრთხოებაზე! დაიცავი ელექტრულ დენთან უსაფრთხოდ მოქცევის წესები! გააფრთხილე სხვებიც!

სასკოლო ლაბორატორიაში...

- არ ჩართო ელექტროენერგიის წყარო და ელექტროხელსაწყოები მასწავლებლის გარეშე!
- ყურადღებით გაეცანი ცდის ინსტრუქციას და გაითვალისწინე გამაფრთხილებელი ნიშნები!

- **გახსოვდეს: ელექტრულ მოვლენებზე დაკვირვებისას**
 - ა) სადემონსტრაციო მაგიდა მშრალი უნდა იყოს!
 - ბ) ხელსაწყოები უნდა მოათავსო რეზინის საფენზე და თავადაც რეზინის ხალიჩაზე დადგე!
 - გ) თუ წყალიც გჭირდება, იყავი განსაკუთრებით ფრთხილად... მაშინაც კი, თუ წყალი გამოხდილია!
- **კატეგორიულად იკრძალება კვების წყაროსთან მიერთებული წრედის**
 - ა) ელემენტების აწყობა, გადანწყობა, შესწორება, დაშლა!
 - ბ) ელექტოხელსაწყოების მონტაჟი, შეკეთება!
- დენის არსებობა წრედში მხოლოდ შესაბამისი ხელსაწყოს გამოყენებით შეამოწმე!
- გაითვალისწინე გამზომი ხელსაწყოების გაზომვის ზღვარი და არ დაუშვა მათი დატვირთვა გადამეტებით!
- სამუშაოს დამთავრებისას, პირველ რიგში, გამორთე კვების წყარო და შემდეგ დაშალე წრედი!
- არ შეეხო კონდენსატორს ძაბვის წყაროდან გამორთვის შემდეგაც კი: ჯერ განმუხტე ის!
- თუ ცდებს ელექტროსტატიკური მანქანის დახმარებით ატარებ, სამუშაოს დამთავრების შემდეგ აუცილებლად განმუხტე მანქანა: შეახე მისი გამტარი ბურთულები ერთმანეთს!
- არ შეაერთო აკუმულატორის ბატარეის მომჭერები ერთმანეთთან... შემაერთებული სადენი სახიფათოდ გაცხელდება!

ელექტროგადამცემი ხაზების ახლოს...

- არასდროს შეეხო ჩამოწყვეტილ ან მიწაზე ჩამოვარდნილ ელექტროგადამცემ ხაზს. ის სასიკვდილო საფრთხეს შეიცავს!
- არ მიხვიდე ახლოს ელექტროგადამცემ ხაზებთან! არ აძვრე ელექტროგადამცემი ხაზების ანძაზე, განათების ბოძზე!
- არ გაუშვა სათამაშო საფრენი აპარატი, ფრანი, ბუშტი ელექტროგადამცემი ხაზების შორიახლოს!
- მეტიც, არ ითამაშო მათთან ახლოს და არ აანთო კოცონი მათ მიმდებარე ტერიტორიაზე!

ყველგან სადაც არ უნდა იყო...

- **კატეგორიულად აკრძალულია:**
 - ქსელში ჩართული ელექტროხელსაწყოს შეკეთება, დაშლა!
 - დაზიანებული ელექტრული ხელსაწყოების გამოყენება!



სურ. 7



სურ. 8



სურ. 9



სურ. 10



სურ. 11



სურ. 12



სურ. 13

■ არასდროს შეეხო ჩართულ ელექტროხელსაწყოს და შემაერთებელ სადენებს სველი ხელით!

გახსოვდეს ელექტული დენი და წყალი ერთად ძალიან საშიშია!.

■ ელექტროხელსაწყოთა გამორთვისას **არ გამოქაჩო შემაერთებელი სადენი**. ხელი მხოლოდ შემაერთებელ ჩანგალს მოჰკიდებ!

■ **არასდროს ჩართო** ხელსაწყო ქსელში, თუ ის ხელში გიჭირავს!

■ **არასდროს შეეხო** დაზიანებულ, გაშიშვლებულ სადენს. ეს სიცოცხლისთვის საშიშია!

■ **არასდროს შეხვიდე** ე.წ. „დენის კიოსკში“ ან სარდაფში, სადაც ელექტროგაყვანილობის კვანძებია!

■ ელექტროდენის როზეტი ის ადგილია, რომელსაც განსაკუთრებული ყურადღებით უნდა მოეკიდო: მასში ნებისმიერი საგნის (ჩანგლის, მაკრატლის, ლურსმნის და ა.შ.) შერჭობა სასტიკად აკრძალულია! ეს უნდა გახსოვდეს და მეტიც, მუდმივად თვალ-ყური უნდა ადევნო პატარებს, რომ საფრთხე თავიდან ააცილო მათ!

■ ელექტროხელსაწყოთი მუშაობისას ან ცდის ჩატარებისას, რომელშიც ელექტრული დენის გამოყენება გინევს, აუცილებელია რეზინის ხელთათმანები. ის დაგიცავს დაზიანებისგან (თუ ცდის აღწერას თან ეს ნიშანი ახლავს, იცოდე, რომ რეზინის ხელთათმანების გამოყენება ცდის ჩატარებისას აუცილებელია!)

■ შემაერთებელი სადენები არ უნდა იყოს გადახლართული;

■ მიაქციე ყურადღება, რომ სადენის ბოლოები იზოლაციით იყოს დაფარული;

■ კატეგორიულად აკრძალულია დამინებისას გათბობის მილების გამოყენება.

■ არ შეიძლება ქსელის გადატვირთვა: ერთდროულად ბევრი ხელსაწყო ჩართვა გამანაწილებელში!

და მაინც... თუ გაუთვალისწინებელი შემთხვევა მოხდა, უნდა იცოდე:

თუ ადამიანს დენმა დაარტყა, ძვირფასია ყოველი წამი: რაც უფრო დიდხანსაა ადამიანი დენის ზემოქმედების ქვეშ, მით ნაკლებია მისი გადარჩენის შანსი. უმეტეს შემთხვევაში დაზარალებულს დამოუკიდებლად არ შეუძლია იმ სადენებისგან ან დეტალებისგან გათავისუფლება, რომლებთან შეხებაშიც მისი პარალიზება გამოიწვია: დენის დარტყმა კუნთების კრუნჩხვით შეკუმშვას იწვევს. ამასთან, შესაძლოა, ცენტრალური ნერვული სისტემის დაზიანება, რასაც გონების დაკარგვა მოჰყვება. ამიტომ სასწრაფოდ გათიშე წრედი ან მშრალი ხის ტოტით მოაშორე დაზარალებულს დენიანი სადენი, ან გადაჭერი სადენი მკვეთრათი, რომელსაც იზოლირებული სახელურები აქვს..

გახსოვდეს: ადამიანი, რომელიც დენიან სადენს ეხება, თავად წარმოადგენს სხვა ადამიანისთვის საშიშროებას, ამიტომ ნებისმიერი სხეული, რომელსაც დაზარალებულთან კონტაქტისას გამოიყენებ, უნდა იყოს იზოლირებული ან უნდა გეცვას რეზინის ხელთათმანები, უნდა იდგე მშრალ იატაკზე, არ უნდა შეეხო დაზარალებულს ორივე ხელით და ა.შ



პროექტი №1: გრაფიტის რეზისტორები

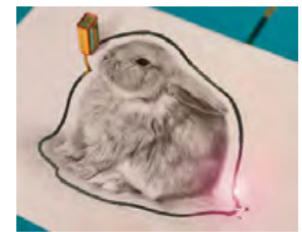
გრაფიტი (სურ.1) – ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებული მასალაა ჩვენს პლანეტაზე. ის შეიძლება ყველგან შეგხვდეს: დანყებული ფანქრიდან და დამთავრებული ბირთვული რეაქტორებით.

გრაფიტი ელექტრული დენის გამტარია და მას ხშირად იყენებენ ელექტრულ წრედებში. უძლებს მაღალ ტემპერატურას: გრაფიტი მასში დენის გავლისას ხურდება, მაგრამ არ იწვება. მისი მაღალი თბოგამტარობა მიზეზია იმისა, რომ გრაფიტს ხშირად იყენებენ ელექტროძრავებში, ელექტრული ბატარეების გულარებად, კონტაქტებისთვის ელექტრომონწყობილობებში და ა.შ.

გრაფიტი რბილი მასალაა, მაგრამ გამოწვისას მაგრდება და მყიფე ხდება. მისი გახურება უჰაერო გარემოში ისეთ მაღალ ტემპერატურამდეა შესაძლებელი, რომელსაც ლითონი ვერ უძლებს და დნება. სწორედ ამიტომ პირველი თაობის ვარვარების ნათურებში გრაფიტის (ნახშირის) ძაფებს იყენებდნენ. გრაფიტი სხვა სხეულზე ხახუნისას მის ზედაპირზე კვალს ტოვებს, ამიტომ მას ფანქრის „გულებად“ იყენებენ. სწორედ ფანქრის „გულებით“ გამოვიკვლევთ ელექტრულ წრედებს და გრაფიტის ღეროებს რეზისტორების როლში გამოვიყენებთ...



სურ. 1



სურ. 2

პროექტის | ნაწილი: გრაფიტის წრედების კვლევა



დავალბა 1. მოიძიე ინფორმაცია გრაფიტის შესახებ. გაარკვიე: როგორია გრაფიტის აგებულება, რა განაპირობებს მის ისეთ ფიზიკურ თვისებას, როგორიცაა ელექტროგამტარობა.

გრაფიტის საშუალებით შენ შეგიძლია ელექტრული წრედები საკუთარი დიზაინით შექმნა და უამრავი სახალისო ცდა ჩაატარო (სურ. 2). **გაეცანი ინფორმაციას:**

<http://bitly.ws/sWVN>

<http://bitly.ws/sWVJ>



დავალბა 2. ჩაატარე ცდა და დააკვირდი რაზეა დამოკიდებული გრაფიტის რეზისტორი ელექტროგამტარობა.



ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t5x7>

<http://bitly.ws/sWVM>

<http://bitly.ws/t5xz>

ცდისთვის დაგჭირდება: ელემენტი (9 V), შუქდიოდი, „უბრალო“ ფანქარი, შემაერთებული სადენები კლიპსებით.



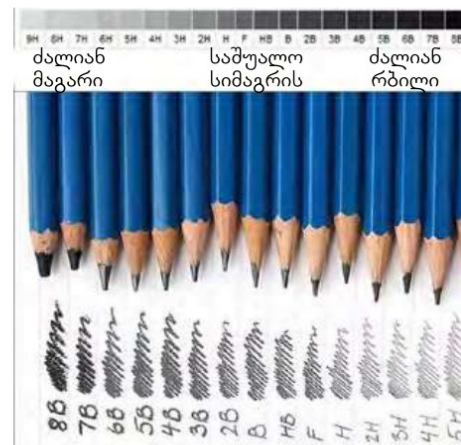
გაითვალისწინე: ფანქრის გრაფიტის „გული“ შეიძლება იყოს **რბილი, მაგარი ან საშუალო სიმადრის**. ფანქრის შერჩევაში მისი მარკირება დაგეხმარება (სურ. 3). ცდისთვის სამივე სახის ფანქარი დაგჭირდება (მაგ., 2B, F, 2H) ;



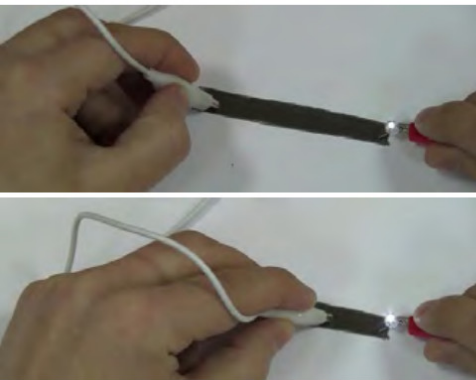
სამუშაოს მსვლელობა:

1. დახაზე მართკუთხედი (50 X 5 მმ) (სურ. 4). გააფერადე მართკუთხედი ფანქრით საკმაოდ სქლად: გადაუსვი ფანქარი მართკუთხედით შემოსაზღვრულ ფართობს რამდენჯერმე;

2. მიუერთე ელემენტის პოლუსებს კლიპსებიანი სადენები: ერთი სადენის თავისუფალი ბოლო მართკუთხედის ერთ



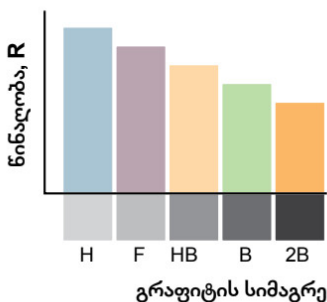
სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5



სურ. 6

კიდევ მოათავსე, ხოლო მეორე სადენის კლიპსში შუქდიოდის მოკლე ფეხი (უარყოფითი ელექტროდი) ჩაამაგრე;

3. შეეხე შუქდიოდის გრძელი ფეხით (დადებითი ელექტროდით) მართკუთხედის რომელიმე წერტილს: აინთო თუ არა შუქდიოდი?

4. ამოძრავე შუქდიოდი მართკუთხედზე და **დააკვირდი**: ზოგჯერ მკვეთრია მისი ნათება, ზოგჯერ კი სუსტი.

5. გაიმეორე ცდა სხვადასხვა სიმაგრის ფანქრისთვის და სხვადასხვა სისქის კონტურისთვის. **დააკვირდი** თითოეულ შემთხვევაში: როგორ არის დამოკიდებული შუქდიოდის ნათება

ა) გრაფიტის სიმაგრეზე;

ბ) კონტურის სისქეზე;

გ) გრაფიტის ზოლის იმ სიგრძეზე, რომელიც წრედშია ჩართული (მანძილზე შუქდიოდის დადებით ელექტროდსა და სადენის კლიპსს შორის).

რომელი გრაფიტია უკეთესი ელექტროგამტარი: რბილი თუ მაგარი? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩაატარე კვლევა, რომლისთვისაც დაგჭირდება **მულტიმეტრი** (სურ.5) – ხელსაწყო, რომელსაც მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმი აქვს: ის შეგიძლია გამოიყენო როგორც ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი და ასევე ომმეტრი.

ომმეტრი წინაღობას ზომავს: მისი დახმარებით შეგიძლია, ნებისმიერი გამტარისა და მათ შორის საკუთარი სხეულის ორ წერტილს შორის წინაღობაც კი გაზომო.

დავალეზა 3. გამოიკვლიე, როგორ არის დამოკიდებული გრაფიტის წინაღობა მის სიმაგრეზე.

დაგჭირდება: ომმეტრი, მექანიკური ფანქრის სხვადასხვა სიმაგრის (2B, F, 2H) გრიფელები (გრაფიტის „გულები“) – 0,5 მმ დიამეტრით.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. გაეცანი ომმეტრის გამოყენების წესს: <http://bitly.ws/t5vD>
2. გაზომე ომმეტრით ერთი და იმავე სიგრძისა და ერთნაირი განივკვეთის მქონე, ოღონდ განსხვავებული სიმაგრის გრიფელების წინაღობა;
3. ააგე დიაგრამა, რომელიც გამოსახავს გრიფელის წინაღობის დამოკიდებულებას მის სიმაგრეზე (სურ.6). **გაითვალისწინე:** მე-6 სურათზე გამოსახული დიაგრამა პირობითია და რეალობას არ შეესაბამება.
4. **გამოიტანე დასკვნა:** რომელი გრიფელია (გრაფიტია) უკეთესი ელექტროგამტარი: რბილი თუ მაგარი?

დავალეზა 4.

1. ჩატარებული კვლევის შედეგის მიხედვით, შეარჩიე გამტარობის თვალსაზრისით ყველაზე „ცუდი“ და ყველაზე „კარგი“ გრიფელი;
2. **გამოთვალე გრაფიტის კუთრი წინაღობა ორივე შემთხვევაში;**
მითითება: გაიხსენე, როგორ გამოითვლება გამტარის წინაღობა, რაზეა ის დამოკიდებული და რა სიდიდეები დაგჭირდება იმისათვის, რომ გრაფიტის კუთრი წინაღობა გამოთვალო.



გაითვალისწინე: მექანიკური ფანქრის გრიფელის დიამეტრი მითითებულია კონტეინერზე, რომელშიცაა მოთავსებული.

დავალეზა 5. შენ უკვე გაქვს ინფორმაცია, როგორ არის დამოკიდებული გრაფიტის წინალობა მის სიმაგრეზე: შეარჩიე ფანქარი, რომლის გრაფიტის „გული“ საუკეთესო გამტარია და დაამზადე ცვლადი რეზისტორი გრაფიტის მიმდევრობით შეერთებული მონაკვეთებისგან (წინალობებისგან) (იხ. § 1.7).

ამისათვის დაგჭირდება: შენ მიერ შერჩეული ფანქარი, ქაღალდის ფურცელი, სახაზავი, ომმეტრი.



გაეცანი ინფორმაციას: <http://bitly.ws/t5xr>

სამუშაოს მსვლელობა:

1. მონიშნე ფურცელზე ერთ წრფეზე განლაგებული და ერთმანეთისგან 1 სმ-ით დაშორებული წერტილები (O, A, B, C, D, E, F, K, M) (სურ. 7).

2. გამოიყენე სახაზავი და შეაერთე წერტილები ფანქრით (შემაერთებელ ხაზს რამდენჯერმე გაუსვი ფანქარი) (სურ. 7);

3. გაზომე ომმეტრის დახმარებით OA, OB.. და ა.შ. OM მონაკვეთის წინალობა;

4. თითოეულ წერტილს (A-ს, B-ს ... M-ს) დაანერე შესაბამისი (OA, OB ... OM) მონაკვეთის წინალობის რიცხვითი მნიშვნელობა;

5. შენ უკვე გაქვს ერთგვარი ცვლადი რეზისტორი, რომელიც მიმდევრობით შეერთებული წინალობების (გრაფიტის მონაკვეთების) ნაკრებს წარმოადგენს. ააგე რეზისტორის წინალობის მონაკვეთების სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკი. დააკვირდი: როგორ არის დამოკიდებული რეზისტორის წინალობა მონაკვეთის სიგრძეზე?



სურ. 7

შენ მიერ შექმნილი ცვლადი რეზისტორი შეგიძლია ნებისმიერ წრედში საჭიროებისამებრ გამოიყენო: მაგ.,

1. ომის კანონის დახმარებით გამოთვალო:

ა) თითოეულ წინალობაში გამავალი დენის ძალა მოცემული ძაბვისას;

ბ) ძაბვა თითოეული წინალობის ბოლოებს შორის, თუ გეცოდინება წინალობაში გამავალი დენის ძალა;

2. გამოიყენო ცნობილი წინალობები დამატებითი წინალობების როლში და ა.შ.

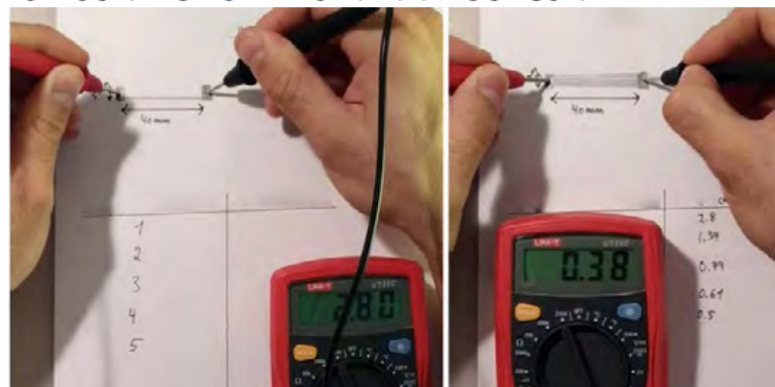
დავალეზა 6. დაამზადე რეზისტორი გრაფიტის პარალელურად შეერთებული მონაკვეთებისგან (წინალობებისგან) (იხ. § 1.8).

ამისათვის დაგჭირდება: შენ მიერ შერჩეული ფანქარი, ქაღალდი ფურცელი, სახაზავი, ომმეტრი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. დახაზე ფურცელზე ერთმანეთისგან 4 სმ მანძილით დაშორებული ორი პატარა მართკუთხედი (5 X 7 მმ) (სურ. 8)

2. დაიხმარე სახაზავი და შეაერთე ფანქრით მართკუთხედის ქვედა ბოლოები (შემაერთებელ ხაზს რამდენჯერმე გაუსვი ფანქარი);



სურ. 8

სურ. 9

3. გაზომე ომმეტრის დახმარებით წინალობა მართკუთხედებს შორის: ომმეტრის გამოყენებით მართკუთხედების ცენტრში მოათავსე;

4. გაავლე მართკუთხედების შემაერთებელი კიდე ერთი მონაკვეთი წინა მონაკვეთის პარალელურად და მასთან ახლოს (სურ. 9). კვლავ გაზომე წინალობა მართკუთხედებს შორის (და ა.შ. გაიმეორე ცდა რამდენჯერმე).

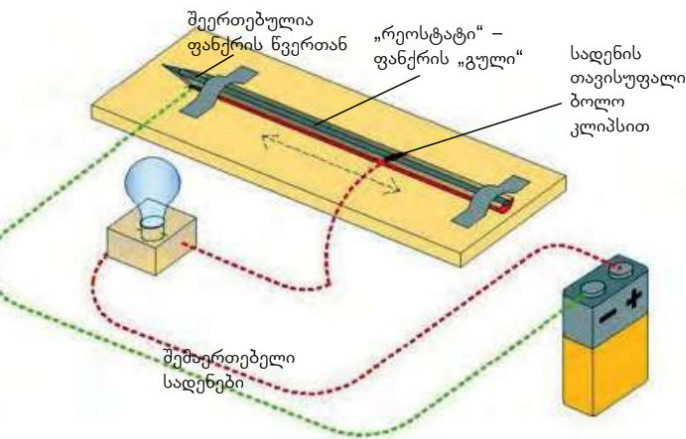
5. **დააკვირდი:** როგორ არის დამოკიდებული რეზისტორის წინალობა პარალელურად ჩართული მონაკვეთების რაოდენობაზე? **ააგე** ამ დამოკიდებულების გრაფიკი.

პროექტის II ნაწილი: რეოსტატი ფანქრისგან

დავალე 7. დაამზადე ფანქრისგან რეოსტატი:

ამისათვის დაგჭირდება: ელემენტი (9 V), შუქდიოდი, შემაერთებელი სადენები კლიპსებით, ნებოვანი ლენტა, ხის ან მუყაოს დაფა, „უბრალო“ ფანქარი, მულტიმეტრი (ომმეტრი, ამპერმეტრი).

გაეცანი ინფორმაციას: <http://bitly.ws/t5xn> <http://bitly.ws/t5xK>



სამუშაოს მსვლელობა:

1. წათაღე ფანქარს ერთი ბოლო;
2. ფრთხილად აათაღე ფანქარს ხის საფარველი სიგრძეზე ისე, რომ გრაფიტი გამოჩნდეს;
3. მოათავსე ფანქარი დაფაზე ხის საფარველით ქვევით და დაამაგრე მისი ბოლოები ნებოვანი ლენტით დაფაზე (სურ. 10);
4. ააწყვე წრედი მე-10 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით;
5. ამოძრავე მცოცავი კონტაქტი (სადენის კლიპსი) გრაფიტის გასწვრივ და **დააკვირდი**, როგორ

იცვლება შუქდიოდის ნათება (ანუ მასში გამავალი დენის ძალა) წრედში ჩართული გრაფიტის სიგრძის მიხედვით;

6. ააგე ფანქრის რეოსტატში გამავალი დენის ძალის წინალობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი მუდმივი ძაბვის დროს;

დავალე 8. დაფიქრდი: როგორ გადააკეთებდი შენ მიერ დამზადებულ რეოსტატს პოტენციომეტრად? **დაამზადე პოტენციომეტრი ფანქრის დახმარებით** და აღწერე მისი მოქმედების პრინციპი.

წარმოადგინე კვლევის შედეგები, რეოსტატის (პოტენციომეტრის) მოდელი და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. სამუშაოს ცალკეული ეტაპის აღწერა და მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომელსაც კვლევისას დააკვირდი (მაგ., რატომ აქვს სხვადასხვა გამტარობის უნარი განსხვავებულ ნივთიერებებს და როგორ აისახება ეს მათ პრაქტიკულ გამოყენებაზე, რა მიზეზით აქვს გამტარის წინალობა და როგორ აისახება გამტარის წინალობა მასში გამავალ დენის ძალაზე მუდმივი ძაბვის დროს);

2. ნივთიერების გამტარობის თვისების დამოკიდებულება მისი შემადგენელი ნაწილაკების გვარობაზე, ნივთიერების სტრუქტურაზე, გამტარის გეომეტრიულ ზომებზე;

3. როგორ არის დამოკიდებული დენის ძალა გამტართა შეერთების სტრუქტურასა და გამტართა წინალობაზე;

თუ რგოლისებურ მაგნიტებს ღერძზე ისე განლაგებ, რომ ისინი ერთმანეთისკენ ერთნაირი პოლუსებით იყოს მიქცეული, მაგნიტები ჰაერში „დაეკიდება“, ილივლივებს, ანუ, როგორც ამბობენ ხოლმე, ერთ მაგნიტი მეორის თავზე ლევიტირებას დაიწყებს (სურ.1.6.1).



სურ. 1.6.1



სურ. 1.6.2

ეს მოვლენა „მაგნიტური ლევიტაციის“ სახელითაა ცნობილი. სწორედ მას ეფუძნება სატრანსპორტო სფეროში ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევა – მაგლევები (ანუ, „მაგნიტური ლევიტაცია“): მაგლევები ლიანდაგების

თავზე მაგნიტურ ველში მოლივლივებენ. ის, ელექტრომაგნიტური ველის გავლენით, თითქმის ხახუნის გარეშე მოძრაობს და რეკორდულ სიჩქარეს ავითარებს, რითაც თვითმფრინავს სერიოზულ კონკურენციას უწევს... მით უფრო, რომ, თვითმფრინავთან შედარებით, ნაკლებ ენერგიას ხარჯავს.

2003 წლის 2 დეკემბერს იაპონიაში, იამანასის პრეფექტურაში, მაგლევის (MLX-01) საცდელი რეისი უბილოტო რეჟიმში განხორციელდა (სურ. 1.6.2): მატარებელი ჰაერში 10 სმ-ით აიწია, უხმაუროდ გასრიალდა და 18,4 კმ-იანი მონაკვეთი 1,9 წთ-ში დაფარა. სიჩქარე (581 კმ/სთ!), რომლითაც მატარებელი მოძრაობდა, გინესის რეკორდების წიგნშია შესული.

2015 წლის 21 აპრილს იმავე საცდელ ტრეკზე, მაგლევმა (L0) ახალი მსოფლიო რეკორდი დაამყარა: 42,8 კმ-იანი მონაკვეთზე მისმა სიჩქარემ 603 კმ/სთ-ს მიაღწია.

მიუხედავად იმისა, რომ მაგლევის ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია სრულიად ახალი სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა (სპეციალური წრფივი ტრეკები), რომელთა მშენებლობა და მომსახურება ძვირადღირებულია, ახლო მომავალში მისი, ყველაზე რეალურ ტრანსპორტად გამოყენება ფანტასტიკური პერსპექტივა სულაც არ არის. პრობლემა, რომელიც მაგლევის კონსტრუირებისას ჩნდება, მძლავრი ზეგამტარული მაგნიტების შექმნაა. რა არის ზეგამტარობა? როდის იჩენს ის თავს? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებ.

1.6.1. წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ცხრილ 1.5-ში მოცემულია ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი წინააღობის მნიშვნელობა 20°C ტემპერატურაზე. ალბათ, უკვე მიხვდი, რომ ეს შემთხვევითი არ არის და წინააღობა ტემპერატურაზე დამოკიდებული. მაგრამ როგორია ეს დამოკიდებულება?

მოდი, ჩავატაროთ ცდა და დავაკვირდეთ, როგორ შეიცვლება ლითონის გამტარის წინააღობა, თუ მისი ტემპერატურა გაიზრდება.

ცდისთვის საჭიროა: დენის წყარო (12 V), ფოლადისა და ალუმინის სპირალი, ამპერმეტრი, ჩამრთველი, ორი შტატივი თათებით, სანთელი.

ცდა I



1. მოათავსე მაგიდაზე ერთმანეთის გვერდით ორი შტატივი ჰორიზონტალური თათებით;

2. ჩაამაგრე ფოლადის სპირალის ბოლოები შტატივების იზოლირებულ თათებში (სურ. 1.6.3);

3. ჩართე წრედში დენის წყარო, ფოლადის სპირალი, ამპერმეტრი და ჩამრთველი ისე, როგორც ეს სურათ 1.6.3-ზეა მითითებული;

4. ჩართე ჩამრთველი და აილე ანათვალ ამპერმეტრზე;

5. გააცხელე სპირალი სანთლის ალზე და დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას: როგორ იცვლება დენის ძალა ტემპერატურის ზრდასთან ერთად?

6. გაიმეორე ცდა. ოღონდ ამჯერად ალუმინის სპირალი გამოიყენე.

7. **გამოიტანე დასკვნა:** როგორ იცვლება ლითონის გამტარის წინაღობა ტემპერატურის მატებასთან ერთად?

8. გაიხსენე, რა არის ლითონის გამტარის წინაღობის არსებობის მიზეზი და **გამოთქვი ვარაუდი:** რით აიხსნება ცდის შედეგი.

თუ t_0 ტემპერატურაზე (როგორც წესი, მიიჩნევენ ხოლმე, რომ $t_0 = 0^\circ\text{C}$) გამტარის წინაღობა R_0 -ია, ხოლო t ტემპერატურაზე – R , მაშინ წინაღობის ფარდობითი ცვლილება, $\frac{R - R_0}{R_0}$, ტემპერატურის ცვლილების პროპორციულია, ანუ

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha \Delta t \quad (1.6.1)$$

α პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც **წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი** ეწოდება. α კოეფიციენტი ნივთიერების წინაღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებას ახასიათებს.

წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი გვიჩვენებს, რისი ტოლია გამტარის წინაღობის ფარდობითი ცვლილება გამტარის 1°C -ით გათბობისას.

ცხრილ 1.6-ში მითითებულია ზოგიერთი ნივთიერების (მასალის) წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი: $[\alpha] = \frac{[\Delta R]}{[R_0]} \cdot \frac{1}{[\Delta t]} = \frac{1_{\text{ომი}}}{1_{\text{ომი}}} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} = 1(^\circ\text{C})^{-1}$

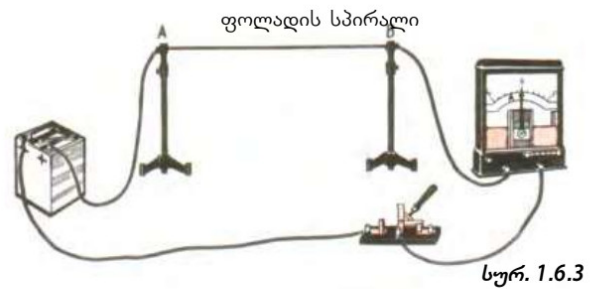
ცხრილი 1.6. წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, α , $(^\circ\text{C})^{-1}$

პლატინა	0,0036	მანგანინი (Cu, Ni, Mn)	0,00002
ვერცხლი	0,0038	კონსტანტანი (Cu, Ni)	0,00003
სპილენძი	0,0039	ნიკელინი (Fe, Co, Sb, S)	0,0001
ოქრო	0,0034	ნიქრომი (Ni, Fe, Cr)	0,0004
ალუმინი	0,0039	ვერცხლისწყალი	0,0009
ვოლფრამი	0,0045	გრაფიტი	- 0,0005
რკინა	0,0065	სილიციუმი	- 0,07

ლითონის გამტარებისთვის $\alpha > 0$ ანუ, ტემპერატურის მომატებისას ლითონების წინაღობა იზრდება (იზრდება ელექტრონების იონებთან „შეჯახებების“ რიცხვი). თუ ტემპერატურის ცვლილება (Δt) მცირეა, α შეიძლება მუდმივად მივიჩნიოთ.

ელექტროლიტების წინაღობა ტემპერატურის მომატებისას კლებულობს (ტემპერატურის მომატებისას ელექტროლიტებში დადებითი და უარყოფითი იონების კონცენტრაცია იზრდება და შედეგად, იზრდება დენის ძალა ელექტროლიტებში).

წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი:



სურ. 1.6.3

ა) სუფთა ლითონებისთვის მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისგან ($\alpha \approx 0,004 (^{\circ}\text{C})^{-1}$;
 ბ) შენადნობებისთვის მნიშვნელოვნად მცირეა სუფთა ლითონებთან შედარებით (გაიხსენე I ცდა. მასში სუფთა ლითონებისგან დამზადებულ სპირალებს ვიყენებდით და არა შენადნობისგან, მაგ., ნიქრომისგან. რატომ?

არსებობს შენადნობები (მაგ., კონსტანტანი, მანგანინი), რომელთა კუთრი წინალობა დიდია და ტემპერატურის ცვლილებისას პრაქტიკულად არ იცვლება (α ძალიან მცირე). გამტარებს ამ შენადნობებისგან ზუსტ გამზომ ხელსაწყოებში (დამატებით წინააღობებად) და ასევე ეტალონური წინააღობების დასამზადებლად იყენებენ.

მიუხედავად იმისა, რომ α კოეფიციენტი ძალიან მცირეა, წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება აუცილებლად გასათვალისწინებელია საზურგელ ხელსაწყოებში. მაგ., ნათურის ვოლფრამის ძაფის წინალობა 10-ჯერ და კიდევ მეტჯერ იზრდება მასში დენის გავლისას. შედეგად, ნათურაში გამავალი დენის ძალა ძაბვის პირდაპირპროპორციულად არ იზრდება და, შესაბამისად, ომის კანონი არ სრულდება. ნათურის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს სურათ 1.6.4-ზე გამოსახული სახე აქვს.

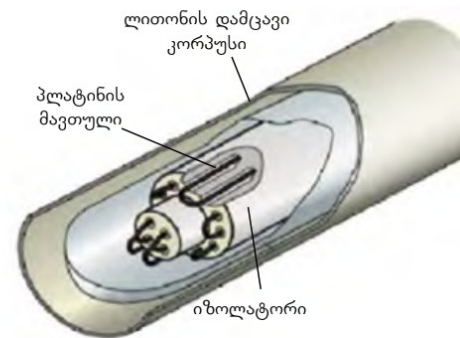


სურ. 1.6.4

ამოცანა 1.6.1

ტემპერატურაზე ლითონთა წინააღობის დამოკიდებულებას **წინააღობის თერმომეტრში** იყენებენ (სურ.1.6.5), რომლის ძირითადი ნაწილი (ე.წ. **მუშა ელემენტი**) პლატინის (სპილენძის, ნიკელის) მავთულია. თერმომეტრს ათავსებენ გარემოში (მაგ., ლუმელში), რომლის ტემპერატურის გაზომვაც სურთ და იღებენ ანათვალს: პლატინის წინააღობას მოცემულ ტემპერატურაზე (R).

განსაზღვრე, რისი ტოლია ლუმელში ტემპერატურა, თუ ლუმელში თერმომეტრის ჩვენებაა $R = 14$ ომი, ხოლო 0°C ტემპერატურაზე – 5 ომი.



სურ. 1.6.5

მოძებნე პლატინის წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი 1.6. ცხრილში. ჩათვალე, რომ წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება 1.6.1 ფორმულით აღინერება და ამოხსენი ამოცანა.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგელო: ლუმელის ტემპერატურაა 500°C .

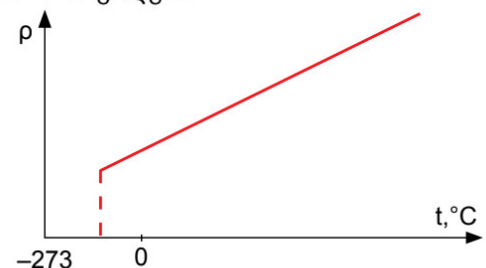
წინააღობის თერმომეტრებით შესაძლებელია 0 -დან 600°C -მდე ტემპერატურის გაზომვა (ცალკეულ შემთხვევებში გაზომვის ზღვარი 1300°C -საც კი აღწევს).

გათბობისას ლითონის გამტარის გეომეტრიული ზომები უმნიშვნელოდ იცვლება. გამტარის წინააღობა, ძირითადად, კუთრი წინააღობის შეცვლის გამო იცვლება. თუ ტო-

ლობა 1.6.1-ში გავითვალისწინებთ, რომ $R = \rho \frac{l}{S}$, მაშინ მივიღებთ:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta t) \quad (1.6.2)$$

თუ α ტემპერატურის ცვლილებისას მცირედ იცვლება ($\alpha \approx \text{const}$), შეიძლება მიახლოებით ჩავთვალოთ, რომ კუთრი წინააღობა ტემპერატურის წრფივი ფუნქციაა და ეს დამოკიდებულება სურათ 1.6.6-ზე გამოსახული გრაფიკით აღინერება.



სურ. 1.6.6

1.6.1

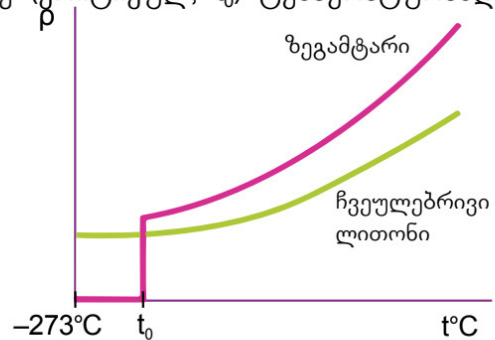
გამოთქვი ვარაუდი, როგორ შეიცვლება ლითონის გამტარის წინააღობა, თუ მის ტემპერატურას ძალიან შევამცირებთ? რატომ?

1.6.2. ზეგამტარობა

XX საუკუნის დასაწყისში ნიდერლანდელმა ფიზიკოსმა ჰეიკე კამერლინგ-ონესმა ჰელიუმის თხევად მდგომარეობაში გადაყვანა შეძლო. მეცნიერი თხევად ჰელიუმში (რომლის დუდილის ტემპერატურა, დაახლოებით, -269°C -ია) სუფთა ლითონებს აცხვებდა და მათ წინააღობას ზომავდა. 1911 წელს კამერლინგ-ონესის კვლევები უდიდესი აღმოჩენით დაგვირგვინდა. მეცნიერმა შეამჩნია, რომ თხევად ჰელიუმში ძალიან დაბალ ტემპერატურამდე ($\approx -269^{\circ}\text{C}$) გაცივებისას, ვერცხლისწყლის წინააღობა ნულამდე ნახტომისებურად დაეცა! შემდგომი კვლევებისას კამერლინგ-ონესმა მსგავსი მოვლენა სხვა ლითონების (თუთიის, ტყვიის) დაახლოებით იმავე (კრიტიკულ, t_0) ტემპერატურამდე გაცივების დროსაც აღმოაჩინა.

დააკვირდი: გრაფიკზე (სურ. 1.6.7) ჩვეულებრივი გამტარისა და ზეგამტარის წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებაა გამოსახული.

ტემპერატურას (t_0), რომელზედაც ლითონის კუთრი წინააღობა ნულის ტოლი ხდება, **კრიტიკული ტემპერატურა** ჰქვია. მოვლენას კი, რომლის დროსაც გამტარი კრიტიკულ ტემპერატურაზე წინააღობას კარგავს, **ზეგამტარობა** უწოდეს.



ზეგამტარობის აღმოჩენისთანავე ჩატარდა ცდები, რომლებიც მის უნიკალურ თვისებას ადასტურებდა: ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე ტყვიის წრიულ გამტარს დენის წყაროსთან აერთებდნენ. მას შემდეგ, რაც დენის წყაროს გამორთავდნენ, აღძრული დენი განუსაზღვრელად დიდხანს უცვლელად, ენერგიის დანაკარგის გარეშე, ცირკულირებდა წრიულ გამტარში! ერთ-ერთი ასეთი ცდა 1959 წელს ჩატარდა. ცდის დაწყებიდან ორწელიწად-ნახევრის განმავლობაში, ექსპერიმენტის დასრულებამდე, დენი წრიულ გამტარში უცვლელი იყო!

კამერლინგ-ონესმა 1913 წელს ნობელის პრემია მიიღო, მსოფლიოს დანარჩენი ფიზიკოსები კი აღმოჩენილი მოვლენის უფრო დეტალურ კვლევას შეუდგნენ იმ იმედით, რომ ნივთიერების გადაყვანა ზეგამტარულ მდგომარეობაში უფრო მაღალ ტემპერატურებზე მოხერხდებოდა. ამ შემთხვევაში კაცობრიობის წინაშე გასაოცარი პერსპექტივა გადაიშლებოდა: ზეგამტარული სადენების საშუალებით შესაძლებელი გახდებოდა ელექტროენერგიის დიდ მანძილზე უდანაკარგოდ გადაცემა!

მაღალტემპერატურული ზეგამტარობა პირველად 1986 წელს გეორგ ბედნორცმა და ალექსანდრ მიულერმა აღმოაჩინეს: მათ შეამჩნიეს, რომ ზოგიერთ კერამიკულ ნაერთში ზეგამტარული თვისებები, კლასიკურ ზეგამტარებთან შედარებით, მაღალ ტემპერატურაზე, -238°C -ზე, იჩენს თავს.

ბედნორცისა და მიულერის აღმოჩენამ (1987 წელს მათ ნობელის პრემია მიენიჭათ) შეძრა მეცნიერული სამყარო. ამ აღმოჩენას აშშ-ს სპეციალური კონგრესიც კი მიეძღვნა. ფიზიკოსები ვარაუდობდნენ, რომ სულ მალე ზეგამტარობას ოთახის ტემპერატურაზე მიაღწევდნენ. ექსპერტები პროგნოზებს აკეთებდნენ მოსალოდნელი ტექნოლოგიური გადატრიალების შესახებ...

ბოლოდროინდელი აღმოჩენა, რომელიც მაღალტემპერატურულ ზეგამტარებს უკავშირდება, როჩესტერის უნივერსიტეტის (აშშ) ფიზიკოსებს ეკუთვნის. 2020 წელს მათ ნახშირბადის, წყალბადისა და გოგირდის ნაერთის ზეგამტარობის მიღწევა $+15^{\circ}\text{C}$ -ზე

შედგეს, თუმცა ამისათვის ნიმუშის კოლოსალური (270 გიგაპასკალი) წნევის ქვეშ მოთავსება დასჭირდა...

მთავარი უპირატესობა მაღალტემპერატურული ზეგამტარებისა ისაა, რომ მათ თხევადი აზოტით (-196°C) აცივებენ, რაც შედარებით იაფი ტექნოლოგიაა, ვიდრე თხევადი ჰელიუმის (-269°C) გამოყენება დაბალი ტემპერატურების მისაღებად. სამწუხაროდ, ჯერჯერობით ვერ ხერხდება ზეგამტარობის მიღწევა ოთახის ტემპერატურაზე და ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს... მიუხედავად ამისა, მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ უახლოეს წლებში ელექტროძრავებსა და გენერატორებში ზეგამტარების ფართომასშტაბიანი გამოყენება დაიწყება. განსაკუთრებით საინტერესო იდეები ამ მხრივ რელსიან ტრანსპორტთანაა (მაგლევთანაა) დაკავშირებული.

... ზეგამტარის ზედაპირზე ჩვეულებრივ მაგნიტს ათავსებენ. როცა ზეგამტარს თხევადი აზოტით კრიტიკულზე დაბალ ტემპერატურამდე აცივებენ და ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადაჰყავთ, მაგნიტი ზეგამტარის ზემოთ „ლივლივს“, ლევიტირებას იწყებს (სურ.1.6.8). სწორედ ამგვარი პრინციპით ლევიტირებს მაგლევები რელსებს ზემოთ (ასეთ დროს ხახუნის ძალა მინიმალურამდეა შემცირებული და შესაბამისად, შესაძლებელია მაღალი სიჩქარეების განვითარება).

ზეგამტართა ეს უმნიშვნელოვანესი თვისება 1933 წელს ვოლტერ მეისნერმა და რობერტ ოჩსენფილდმა აღმოაჩინეს. ის **მეისნერის ეფექტის** სახელითაა ცნობილი: **ნახე ვიდეო** მაისნერის ეფექტზე: <http://bitly.ws/sBGK>



სურ. 1.6.8



1.6.2

კამერლინგ-ონესი ზეგამტარულ წრიულ გამტარში გამზომ ხელსაწყოებს ვერ ჩართავდა, რადგან ეს ენერგიის კარგვას გამოიწვევდა.

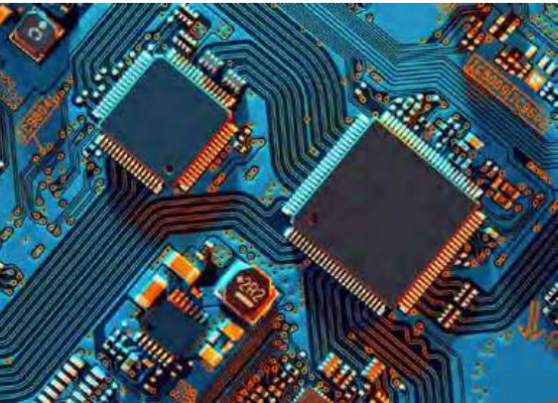
დაფიქრდი: როგორ შეეძლო კამერლინგ-ონესს, წრიულ გამტარში დენის არსებობა დაემტკიცებინა?

სწორედ მაგლევების ზეგამტარული მაგნიტით აღჭურვა შედის მეცნიერთა სამოვლო გეგმებში. ცხადია, ასეთ მატარებლებს დიდი უპირატესობა ექნება სხვებთან შედარებით. სხვა რომ არაფერი ვთქვათ, ისინი ეკონომიურობით იქნება გამორჩეული.

მძლავრი ზეგამტარული მაგნიტები გამოიყენება **მაგნიტურ რეზონანსულ ტომოგრაფიაში (MRT)**, რომლის გარეშეც თანამედროვე სამედიცინო დიაგნოსტიკა წარმოუდგენელია: ექიმებს გაუჭირდებოდათ ადამიანის შინაგანი ორგანოებისა და ქსოვილების შესახებ ინფორმაციის მიღება სკალპელის გარეშე. ზეგამტარული მაგნიტების თხევადი ჰელიუმით გაცივებაა სწორედ ის მიზეზი, რის გამოც ტომოგრაფია დღემდე საკმაოდ ძვირადღირებულ სამედიცინო მომსახურებად ითვლება.

ზეგამტარულ მასალებს იყენებენ ბირთვული კვლევების ცენტრებში ნაწილაკთა ამარქარებლებზე, უზუსტეს გამზომ ხელსაწყოებში (მაგ., თერმომეტრებში, ბარომეტრებში, სკვიდებში, რომლებიც ძალიან სუსტ მაგნიტურ ველებს აღრიცხავს), ზესწრაფ კვანტურ კომპიუტერებში, ტურბოგენერატორებში, ელექტროძრავებში, ენერგიის დიდ მანძილზე გადაცემისას.

ცხადია, ჯერჯერობით ზეგამტარების ფართომასშტაბიანი გამოყენება ვერ ხერხდება იმ ძვირადღირებული ტექნოლოგიის გამო, რომელიც ზეგამტარული ეფექტების მიღებას სჭირდება, მაგრამ დღესდღეობით მიმდინარე სამეცნიერო კვლევები დამაიმედებელ პროგნოზებს გვთავაზობს, რომ ფიზიკოსთა „გრაალის თასი“, ზეგამტარები, სულ ახლო მომავალში კაცობრიობის სამსახურში მთელი დატვირთვით ჩადგება...



სურ. 1

როგორ მოვათავსოთ მინიმალურ ფართობზე მაქსიმალური რაოდენობით ელექტრული კომპონენტები: რეზისტორები, კონდენსატორები, დიოდები, ტრანზისტორები... ეს იყო კითხვა, რომელიც არ ასვენებდა ელექტროინჟინერების მრავალ თაობას და მათი ოცნება იყო: შეექმნათ მიკროსქემები, რომლებიც მინიატურულ კომპონენტებს გააერთიანებდა...

პირველი ინტეგრირებული სქემის (მიკროსქემის, მიკროჩიპის ან უბრალოდ, ჩიპის) შექმნა ფიზიკოსების ჯეკ კილბისა და რობერტ ნოისის დამსახურებაა. მათ 1959 წელს დააპატენტეს თავიანთი გამოგონება. 2000 წელს კი კილბის გამოგონებისთვის ნობელის პრემია მიენიჭა ფიზიკის დარგში.

...მანამდე იყო ბევრი მცდელობა, რომლებსაც პრაქტიკაში განხორციელება არ ეწერა: 1952 წლის 7 მაისს, ვაშინგტონში, ბრიტანელმა ელექტროინჟინერმა **ჯემფრი დამერმა**, საერთაშორისო სიმპოზიუმზე, რომელიც ელექტრონული კომპონენტების განვითარებას ეძღვნებოდა, ინტეგრალური სქემის მოდელი წარმოადგინა: მასზე 4 ელექტრული კომპონენტი (4 ტრანზისტორი!) იყო გაერთიანებული. მის იდეას დამსწრე საზოგადოება გულგრილად შეხვდა. მათ არ ესმოდათ სქემის პრაქტიკული მნიშვნელობა და იდეის განხორციელებისთვის ფინანსების დაბანდება არცერთმა კომპანიამ არ მოინადინა....

დღეს, ინტეგრირებული მიკროსქემები (სურ.1) მაღალტექნოლოგიური მოწყობილობაა, რომელთა 1სმ²-ზე მილიარდობით (!) კომპონენტია ჩართული. მიკროსქემები, რომელთა საწარმოო ფასი საკმაოდ დაბალია, უამრავ ფუნქციას ასრულებს (დენის ძალისა და ძაბვის გენერირება, გარდაქმნა, გაძლიერება) და წარმოუდგენლად მცირე ზომისაა, ვიდრე მათი შორეული ანალოგები. გამოიყენება პრაქტიკულად ყველა ელექტრონულ მოწყობილობაში: კომპიუტერებში, მობილურ ტელეფონებში, საყოფაცხოვრებო ციფრულ ტექნიკაში... ხოდა, ამ იგავმიუწვდომელი ტექნოლოგიების საუკუნეში, როცა ადამიანები თითქოს მიეჩვივნენ მიკროელექტრონიკის ფანტასტიკურ მიღწევებს და აღარაფერი უკვირთ, მათი გაოცება სრულიად გულუბრყვილო აღმოჩენამ შეძლო: ელექტრულმა სქემამ, რომლის კომპონენტები, არც მეტი, არც ნაკლები, ცომისგან მზადდება.

ჯემფრი დამერისგან განსხვავებით, საზოგადოება, რომელიც ცომის წრედების პრეზენტაციას ესწრებოდა, მის ავტორს ფეხზე წამოუდგა და ტაშს დიდხანს უკრავდა (მიუხედავად იმისა, რომ ცომის წრედი ისეთი შთამბეჭდავი ნამდვილად არ არის, როგორიც ინტეგრალური სქემა).

ქალი, რომელმაც მოახერხა და მიკროჩიპების სამყაროში სასწაულებს მიჩვეული ადამიანები ჩვეულებრივი ცომების შესაძლებლობებით აღაფრთოვანა, **ანა მარია ტომასია** (სურ.2) - საინჟინრო სკოლის პროფესორი და სენტ-ტომასის უნივერსიტეტში ბავშვთა აღზრდის ლაბორატორიის ხელმძღვანელი.

ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t4fQ>

გაიგე მეტი: <http://bitly.ws/t4fR>

ანა მარია ტომასია ელემენტთან მიერთებულ ფერად ცომეებში შუქდიოდებს ათავსებს და ისი-



სურ. 2



ნი ანათებს (სურ.3): ცომი გამტარია! თუ ცომები ერთმანეთს შეეხება, შუქდიოდი ჩაქრება: დენი უფრო მარტივ გზას ირჩევს და შუქდიოდის გვერდის ავლით „მოგზაურობს“ წრედში (სურ.4). ეს **მოკლე ჩართვაა!**

ტომასი სხვა ცომსაც იყენებს, რომელიც დენს არ ატარებს... მერე ისევ გამტარ ცომს უბრუნდება: ცომისგან დამზადებულ „მფრინავ თეფში“ შუქდიოდებს და პატარა ძრავაზე მიმაგრებულ პროპელერს მოათავსებს: „მფრინავი თეფში“ ცოცხლდება... „Squishy Circuits“ (რბილი წრედები) ასე დაარქვა მან თავის გამოგონებას, რომელმაც მთელ მსოფლიოში მილიონობით ადამიანის, დიდებისა თუ პატარების, აღტაცება გამოიწვია... ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t6hl>

გამტარი და არაგამტარი ცომები საშუალებას მოგცემს წრედის აწყობის პატარ-პატარა საიდუმლოებებს გაეცნო (სურ.4), მათი სწორი კომბინაციით კი სხვადასხვა „სკულპტურები“ შექმნა (სურ.3), დააკვირდე მოკლე ჩართვის მოვლენას. სცადე! თუმცა მანამდე გამტარი და არაგამტარი ცომის მომზადების რეცეპტს გაეცანი:



სურ. 3



გამტარი ცომის მომზადება

საჭირო ინგრედიენტები: 1/4 ჭიქა მარილი;

- 1 ჭიქა წყალი, 1 1/2 ჭიქა ფქვილი;
- 3 სუფრის კოვზი ლიმონის წვენი;
- 1 სუფრის კოვზი მცენარეული ზეთი;
- საკვებისთვის განკუთვნილი სასურველი ფერის საღებავი.

მომზადების წესი:

1. ნახევარი ჭიქა ფქვილი მოაკელი მთელ პორცისას (ის მოგვიანებით დაგჭირდება). შეურიე ერთმანეთს ყველა ინგრედიენტი (ფქვილი 1 ჭიქა). მოათავსე პატარა ქვაბში და დადგი საშუალო ცეცხლზე;
2. მასა განუწყვეტელი მორევით მიიყვანე შესქელებამდე და გააგრძელე მორევა მანამ, სანამ მასა ქვაბის კედლებს არ მოსცილდება;
3. მზა ცომი ფქვილმოყრილ ზედაპირზე ფრთხილად გადმოილე (ფრთხილად! ცომი ძალიან ცხელია), დააცადე გაგრილება და შეაზილე დარჩენილი 1/2 ჭიქა ფქვილი ისე, რომ მიიღო პლასტიკურობის მქონე მასა;
4. ცომი ხელით დაამუშავე, რომ ერთიანი სტრუქტურა ჰქონდეს და მოათავსე პოლიეთილენის პაკეტში (ასე შენახული ცომი მაცივარში რამდენიმე კვირა სძლებს). გამოყენების წინ ცომი გადაზილე ხელით, რომ დარბილდეს.

არაგამტარი ცომის მომზადება.

საჭირო ინგრედიენტები: 1/2 ჭიქა შაქარი;

- 1/2 ჭიქა გამოხდილი წყალი;
- 1 1/2 ჭიქა ფქვილი;
- 3 სუფრის კოვზი მცენარეული ზეთი;

რჩევა: არაგამტარ ცომს საღებავი არ შეურიო, რათა გამტარი (ფერადი) ცომისგან ადვილად განასხვავო.

მომზადების წესი:

1. ნახევარ ჭიქა ფქვილს კვლავ მოგვიანებით გამოიყენებ. 1 ჭიქა ფქვილი, შაქარი, ზეთი შეურიე ერთმანეთს და მოათავსე ღრმა თასში;
2. დაამატე წყალი ცოტ-ცოტა (1 – 1 სუფრის კოვზის ოდენობით), რათა ცომმა ადვილად შეიწოვოს ის და მანამდე ურიე, სანამ მიღებული მასა ცომისებური არ გახდება და მის ხელით ფორმირებას შეძლებ;
3. ცომის მასა დაამრგვალე, ნელ-ნელა დაამატე მორჩენილი ფქვილიც და მოზილე მანამ, სანამ ცომი პლასტიკურობის მქონე გახდება. მზა ცომი მოათავსე პოლიეთილენის პაკეტში და შეინახე მაცივარში. გამოყენების წინ ცომი გადაზილე ხელით, რომ დარბილდეს.

პროექტის I ნაწილი: სომის წრედები

ახლა უკვე წრედების აწყობასაც შეძლებ (სურ. 3).

დაგჭირდება: გამტარი და არაგამტარი ცომები; ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, 2 – 3 ცალი შუქდიოდი, რეზინის ხელთათმანები, რეზინის საფენი.



სურ. 4

წრედების აწყობისას გაითვალისწინე:

1. ფერადი ცომი გამტარია, თეთრი ცომი კი – არაგამტარი: არ შეურიო ცომები ერთმანეთს;
2. **შუქდიოდს პოლარობა აქვს:** მისი მოკლე „ფეხი“ ყოველთვის დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან (ან მასთან შეერთებული სადენის ბოლოს) უნდა მიაერთო;
3. არ შეაერთო შუქდიოდი პირდაპირ დენის წყაროსთან. ის გათვლილია დაბალ ძაბვაზე (2 – 4 ვ) და გადაიწვება;
4. ყოველთვის იმუშავე რეზინის ხელთათმანებით და ცომის წრედები რეზინის საფეხზე ააწყვე;
5. სამუშაოს დამთავრებისთანავე საპნიანი წყლით გარეცხე შემაერთებული სადენების კლიპსები და კარგად გააშრე. ცომიანი კლიპსები იჟანგება.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ააწყვე წრედები სურათებზე (სურ. 4) გამოსახული სქემების მიხედვით.
2. **დააკვირდი:** მოკლე ჩართვის მოვლენას და ახსენი, რატომ არ ინთება მოკლე ჩართვისას შუქდიოდი?
3. ააწყვე სხვადასხვა „სკულპტურა“ (სურ.3) და ახსენი, რა დანიშნულება აქვს მათში არაგამტარ ცომს.

ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t4gm>



დავალება 1.



მარილიანი ცომი დენს ატარებს, შაქრიანი კი – არა, რადგან მარილი წყალში იონებად იშლება, შაქარი კი – არა. ამ მოვლენის არსს § 2.1-ის გაცნობის შემდეგ უკეთ ჩასწვდები (ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/uSrM>). მანამდე კი:

მოიფიქრე გამტარი ცომის „საავტორო“ რეცეპტი. კიდევ რა საკვებ პროდუქტებს გამოიყენებდი მის დასამზადებლად და ახსენი რატომ?

(დავალების შესრულებაში ქიმიის გაკვეთილებზე მიღებული ცოდნაც დაგეხმარება)



დავალება 2. რეზისტორის წინააღობის გამოთვლა.

დაჭირდება: გამტარი ცომი, ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, მულტიმეტრი.



სამუშაოს მსვლელობა:

1. დაამზადე გამტარი ცომისგან განსხვავებული რეზისტორები:

ა) მიეცი ცომს მილისებური ფორმა: ეცადე „მილის“ სისქე ერთგვაროვანი იყოს. დაჭერი „მილი“ სხვადასხვა სიგრძის მონაკვეთებად ანუ, მიიღებ **სხვადასხვა სიგრძისა და ერთნაირი განივკვეთის ფართობის მქონე** რეზისტორებს;

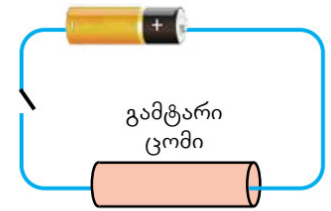
გ) დაამზადე ორი სხვადასხვა სისქის (განივკვეთის ფართობის) მილი. დაჭერი ორივე მილი ერთნაირი სიგრძის მონაკვეთებად ანუ, მიიღებ **ერთნაირი სიგრძისა და სხვადასხვა განივკვეთის ფართობის მქონე** რეზისტორებს;

2. მიუერთე დენის წყაროს ცომის რეზისტორი სადენების დახმარებით (სურ.5);

3. გაზომე მულტიმეტრით

ა) რეზისტორის ბოლოებს შორის ძაბვა;

ბ) რეზისტორში გამავალი დენის ძალა;



სურ. 5

4. გამოთვალე ცომის რეზისტორის წინააღობა. გადაამოწმე ომმეტრით (იმ შემთხვევაში, თუ გამოთვლისა და გაზომვის შედეგები განსხვავებულია, იმსჯელე განსხვავების სავარაუდო მიზეზებზე);

5. ჩაატარე ცდა განსხვავებული სიგრძისა და განივკვეთის ფართობის მქონე რეზისტორებისთვის. გამოთვლის შედეგები შეიტანე ცხრილში;

6. ცხრილის მონაცემების მიხედვით, ააგე ცომის

ა) რეზისტორში გამავალი დენის ძალის რეზისტორის წინააღობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი მუდმივი ძაბვის პირობებში;

ბ) რეზისტორის წინააღობის რეზისტორის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკი (სხვადასხვა სიგრძისა და ერთნაირი განივკვეთის ფართობის რეზისტორებისთვის);

გ) რეზისტორის წინააღობის რეზისტორის განივკვეთის ფართობზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ერთნაირი სიგრძისა და განსხვავებული განივკვეთის ფართობის რეზისტორებისთვის).



დავალეზა 3. დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების შესწავლა.

დაგჭირდება: გამტარი ცომის რეზისტორი, ელემენტები AA, 6 ცალი (1,5 ვ), ელემენტების ჩასადები 6 ადგილიანი კონტეინერი (სურ. 6), შემაერთებული სადენები, მულტიმეტრი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. მიუერთე დენის წყაროს (1 ცალ ელემენტს, 1,5 ვ) ცომის რეზისტორი სადენების დახმარებით;

2. გაზომე მულტიმეტრით

ა) დენის ძალა ცომის რეზისტორში;

ბ) ძაბვა რეზისტორის ბოლოებს შორის;



სურ. 6

3. გაიმეორე ცდა კიდევ 5 ჯერ: შეაერთე მიმდევრობით ჯერ 2 ელემენტი, შემდეგ 3 და ა.შ. ბოლო ცდა 6 ცალი მიმდევრობით შეერთებული ელემენტის დახმარებით ჩაატარე.

4. გაზომვის შედეგები შეიტანე ცხრილში და ააგე ცომში გამავალი დენის ძალის ცომის ბოლოებს შორის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკი მუდმივი წინააღობის პირობებში.



დავალეზა 4. მიმდევრობითი და პარალელური შეერთების კვლევა (იხ. § 1.7, § 1.8).

დაგჭირდება: გამტარი ცომი რეზისტორები (4 ცალი), ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, მულტიმეტრი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ააწყვე წრედი:

ა) მიმდევრობით შეერთებული ცომის ორი რეზისტორისგან;

ბ) პარალელურად შეერთებული ცომის ორი რეზისტორისგან;

2. თითოეულ შემთხვევაში გამოიკვლიე:



სურ. 7

- ა) დენის ძალების განაწილება რეზისტორებში;
- ბ) ძაბვის განაწილება რეზისტორების ბოლოებზე;
- გ) რის ტოლია ორი რეზისტორისგან შედგენილი უბნის წინალობა (პარალელური და მიმდევრობითი შეერთებისას);

დავალეზა 5. წინალობა პარალელური და მიმდევრობითი შეერთებისას.



დაგჭირდება: გამტარი ცომი, ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, რეზინის ხელთათმანები, 3-4 ცალი შუქდიოდი.



სამუშაოს მსვლელობა (იხ. § 1.7, § 1.8):

1. ააწყვე სურათებზე (სურ. 7 ბ) გამოსახული წრედები. **დააკვირდი:** როგორ იცვლება შუქდიოდების ნათება თუ მათ გამტარი ცომის

ა) მიმდევრობითი შეერთებულ გუნდებს შორის ჩართავ (თანდათან გაზარდე გუნდების რაოდენობა);

ბ) ორ გუნდას შორის ჩართავ (სურ. 7 გ) (თანდათან გაზარდე შუქდიოდების რაოდენობა);

2. ახსენი ცდის შედეგები და გამოიტანე დასკვნა:

ა) როგორ იცვლება წრედის წინალობა მიმდევრობითი შეერთებისას? პარალელური შეერთებისას?

გ) ნათურების (ელექტრომომხმარებლების) როგორი შეერთებაა გამოყენებული საყოფაცხოვრებო ქსელში?

პროექტის II ნაწილი: ამოცანები სომეხით

ყოველთვის გაითვალისწინე: შუქდიოდის პირდაპირი შეერთება დენის წყაროსთან ან წრედში ჩართვა მისი ტექნიკური მონაცემების გარეშე არ შეიძლება. შუქდიოდი გათვლილია გარკვეულ ძაბვაზე და დამატებითი რეზისტორის გარეშე გადაინვება (დამატებითი რეზისტორი შუქდიოდთან მიმდევრობით ირთვება).

დააკვირდი გვ.112-ზე ცხრილს (სურ. 1.6): მასზე ჩანს, რომ სტანდარტული შუქდიოდები (5 მმ) 20 მა დენის ძალაზეა გათვლილი და თითოეული ფერის შუქდიოდისთვის მითითებულია მაქსიმალური დასაშვები ძაბვა, რომელზედაც ის არ იწვება.



დავალეზა 6. დამატებითი წინალობა

დაგჭირდება: გამტარი ცომი, ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, მულტიმეტრი, შუქდიოდი.



სამუშაოს მსვლელობა:

1. **გამოთვალე:** რა წინალობის უნდა იყოს ცომის რეზისტორი, რომ 9 ვ ძაბვის წრედში მასთან ერთად მიმდევრობით ჩართული შუქდიოდი არ გადაინვას (შუქდიოდის ფერი სურვილისამებრ აარჩიე და იხ. შუქდიოდის მონაცემები მე-8 სურათზე)

2. მას შემდეგ რაც დამატებით წინალობას გამოთვლი, დაამზადე ცომისგან შესა-

ბამისი წინალობის მქონე რეზისტორი და ააწყვე წრედი: მიუერთე დენის წყაროს პოლუსებს მიმდევრობით შეერთებული ცომის რეზისტორი და შუქდიოდი;

თუ შუქდიოდი აინთო და არ გადაინვა, ეს იმას ნიშნავს, რომ დავალებას წარმატებით გაართვი თავი!

დავალება 7. უიტსტონის ხიდი.

დაგჭირდება: გამტარი ცომი, ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, მულტიმეტრი, შუქდიოდი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. განსაზღვრე შუქდიოდის წინალობა

- ცხრილის მონაცემების მიხედვით (გვ.112, სურ. 1.6);
- შენ მიერ აწყობილ წრედში ძაბვისა და დენის ძალის გაზომვით (იხ. დავალება 2)
- ომმეტრით;
- უიტსტონის „ხიდის“ მეთოდით** (მეთოდი აღწერილია § 1.9-ში). ააწყვე წრედი მე-8 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით.

2. შეადარე შუქდიოდის სხვადასხვა მეთოდით განსაზღვრული წინალობა და იმსჯელე განსხვავების სავარაუდო მიზეზებზე.

დავალება 8. გამტარი ცომის კუთრი წინალობის გამოთვლა.

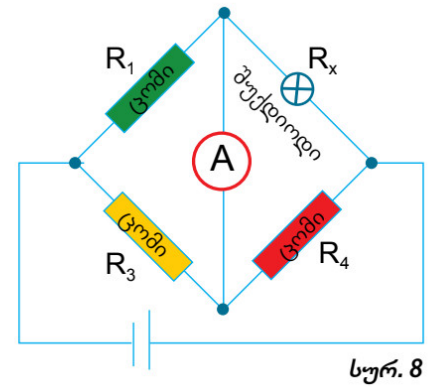
დაგჭირდება: გამტარი ცომი, ელემენტი (9 ვ), შემაერთებული სადენები, მულტიმეტრი, წვენი სასრუტი ჩხირი (2 ცალი, განსხვავებული დიამეტრით, არა უმეტეს 3 – 5 მმ-ისა), ხის ან ლითონის წვრილი ჩხირი.

მიკრომეტრი (სურ. 9) – ხელსაწყო, რომელსაც ძალიან პატარა წრფივი ზომების გასაზომად იყენებენ და აქვს მცირე ცდომილება (არის ციფრული მიკრომეტრებიც).

სამუშაოს მსვლელობა:

- დაჭერი **სხვადასხვა დიამეტრის მქონე** სასრუტი ჩხირები 5 და 8 სმ სიგრძის მონაკვეთებად – მილაკებად;
- გაეცანი მიკრომეტრის გამოყენების წესს. ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t4hT>
- გაზომე თითოეული მილაკის დიამეტრი და გამოთვალე მათი განივკვეთის ფართობი;
- ამოავსე ორივე მილაკი გამტარი ცომით: დაიხმარე წვრილი ჩხირი;
- განსაზღვრე თითოეული მილაკის წინალობა ომმეტრით (ჩათვალე, რომ მისი ჩვენება ზუსტია);
- გამოთვალე ცომის კუთრი წინალობა** წინალობის გამოსათვლელი ფორმულის დახმარებით. შეადარე ორივე მილაკისთვის გამოთვლილი კუთრი წინალობები (იმსჯელე განსხვავების სავარაუდო მიზეზებზე).
- შეაფასე** გაზომვის აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება (იხ. ცდომილებების გამოთვლის წესი: ამოცანა 1.14.2 და ასევე ცხრილი დანართში: ცდომილებების გამოთვლა).

წარმოადგინე შენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები ცხრილებისა და გრაფიკების სახით.





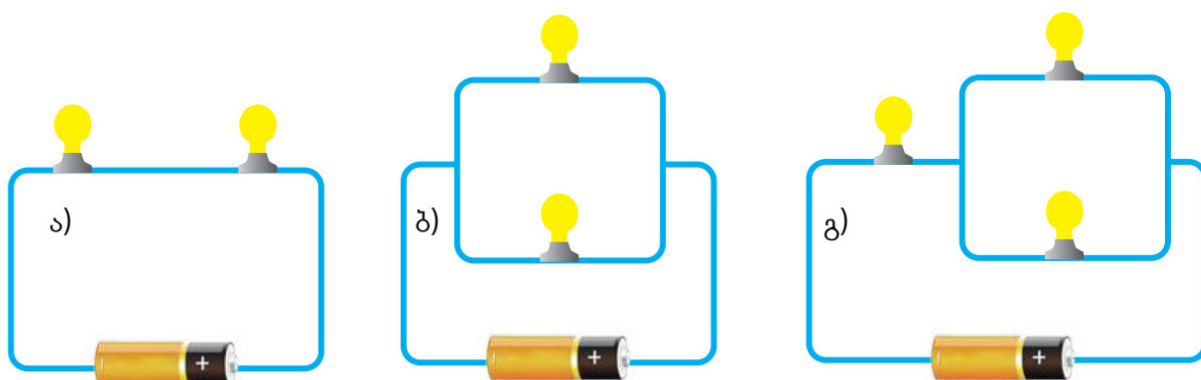
სურ. 1.7.1

ახალი წელი ყველაზე ლამაზი და ბრჭყვიალა დღესასწაულია. ყველა ცდილობს, სასიამოვნო განწყობა იმ ულამაზესი კომპოზიციებითაც გაიძლიეროს, რომელსაც განათება ქმნის (სურ. 1.7.1). შენ თვალწინ თითქოს ზღაპრული სამყარო ცოცხლდება, რაც სწორედ ათასობით ნათურის დამსახურებაა...

ერთმანეთთან მიერთებული ნათურები გირლიანდებს, წრეებს, კვადრატებს და კიდევ უამრავ, ენით აუწერელი სილამაზის ფიგურას ქმნის, რომლებიც, ხშირად საკმაოდ რთული ელექტრული სქემის მიხედვითაა შექმნილი, თუმცა ყველა სქემის საფუძველი მაინც მიმდევრობითი და პარალელური შეერთებაა.

ელექტრული წრედები, რომლებსაც პრაქტიკაში იყენებენ, სხვადასხვა ხერხით შეერთებული ელექტრომომხმარებლებისა და დენის წყაროების ერთობლიობაა.

ჩვენ შედარებით მარტივ შემთხვევებს განვიხილავთ, როცა გარე წრედში რეზისტორების (ელექტრომომხმარებლების) მიმდევრობითი (სურ. 1.7.2 ა), პარალელური (სურ. 1.7.2 ბ) ან მათი შერეული შეერთებაა (სურ. 1.7.3 გ) გამოყენებული.



სურ. 1.7.2

1.7.1. პრაქტიკული სამუშაო: გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება



შენ იცი, რომ ზოგიერთ ელექტრომონყობილობას (მაგ., დენის წყაროს, ზოგჯერ კი ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრს) ორი პოლუსი აქვს: დადებითი და უარყოფითი.

ორი პოლუსი აქვს შუქდიოდსაც (სურ. 1.7.3): მისი მოკლე „ფეხი“ უარყოფითი პოლუსია (კათოდი), გრძელი კი – დადებითი (ანოდი). ასეთი მონყობილობების დენის წყაროსთან მიერთებისას ყოველთვის უნდა გავითვალისწინოთ, რომ მისი დადებითი პოლუსი დენის წყაროს დადებით პოლუსს უერთდება, ხოლო უარყოფითი – უარყოფითს.

ხშირად, გამტარებს (ელექტრომომხმარებლებს) პოლუსები არ აქვს: მაგ., რეოსტატს, ჩვეულებრივ (ვარვარა) ნათურას, ჩამრთველს, რეზისტორებს.

იმისათვის, რომ უფრო გასაგები გახდეს, რას ნიშნავს გამტარების მიმდევრობითი ან პარალელური შეერთება, პირობითად, გამტარების (რომლებსაც პოლუსები არ აქვს) ბოლოები (მომჭერები) ავლნიშნით ციფრებით: „1“-ით და „2“-ით.

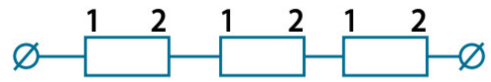


სურ. 1.7.3

გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას (სურ. 1.7.4)

მათ ერთიმეორის მიყოლებით შემაერთებული სადენით ისე აერთებენ, რომ ერთი გამტარის ბოლო მეორის დასაწყისთანაა შეერთებული, მეორის ბოლო – მესამის დასაწყისთან და ა.შ. ანუ, ყოველი მომდევნო გამტარის 1-ლი მომჭერი, წინა გამტარის მე-2 მომჭერთანაა შეერთებული.

დააკვირდი სურათ 1.7.4-ს: გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას მათ შემაერთებელ სადენებს განშტოებები არ აქვს.



სურ. 1.7.4

1.7.1

1. ააწყვე ორი (ან რამდენიმე) მიმდევრობითი შეერთებული ნათურისგან ელექტრული წრედი (სურ. 1.7.5). შეგიძლია ვირტუალური ლაბორატორიაც გამოიყენო: <http://bitly.ws/sw87> <http://bitly.ws/sVes>

2. ჩართე ჩამრთველი. მოხსენი ერთ-ერთი ნათურა და დააკვირდი დანარჩენებს: ანათებს თუ არა ისინი ისევ?

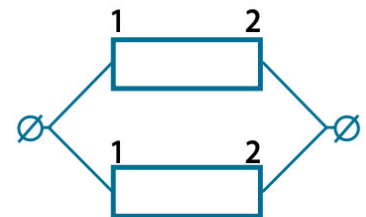
3. **დაფიქრდი და გამოიტანე დასკვნა:** გამტართა მიმდევრობითი შეერთებას ფართოდ იყენებენ პრაქტიკაში. როგორ ფიქრობ, სწორი გადაწყვეტილებაა თუ არა მათი მიმდევრობითი შეერთება იმ დროს, როცა ელექტრომომხმარებლების ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ჩართვა ან გამორთვაა საჭირო? რატომ?



სურ. 1.7.5

გამტართა პარალელური შეერთებისას (სურ. 1.7.6) გამტარებს შემაერთებული სადენებით ისე აერთებენ, რომ ერთი გამტარის 1-ლი მომჭერი მეორე გამტარის იმავე, „1“-ით აღნიშნულ მომჭერს უერთდება. ასევე ერთმანეთთანაა შეერთებული გამტარების „2“-ით აღნიშნული მომჭერებიც.

დააკვირდი სურათ 1.7.6-ს: გამტარების პარალელური შეერთებისას დენის წყაროს პოლუსებიდან გამომავალი შემაერთებული სადენები განშტოვდება.



სურ. 1.7.6

1.7.2

1. ააწყვე ორი პარალელურად შეერთებული ნათურისგან ელექტრული წრედი (სურ. 1.7.7). შეგიძლია, ვირტუალური ლაბორატორიაც გამოიყენო: <http://bitly.ws/sw87> <http://bitly.ws/sVes>

2. ჩართე ჩამრთველი. მოხსენი ერთ-ერთი ნათურა და დააკვირდი მეორეს: ანათებს თუ არა მეორე ნათურა?

3. **როგორ ფიქრობ,** ნათურების შეერთების რომელი ტიპია (მიმდევრობითი თუ პარალელური) გამოყენებული ჩვეულებრივი განათების დროს (ბინებში, სკოლებში და ა. შ.)? რატომ ფიქრობ ასე?

მოდი, ჩავატაროთ კვლევა და ექსპერიმენტულად გამოვიკვლიოთ ის კანონზომიერებები, რომლებიც მიმდევრობითი შეერთებულ გამტარებში დენის ძალისა და ძაბვების განაწილებას აღწერს.



სურ. 1.7.7

1.7.2. პრაქტიკული სამუშაო: ელექტრული წრედის კვლევა გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას.



შენიშვნა: კვლევის ჩატარება „შეგიძლია „Golabz“-ის ელექტრონულ პლატფორმაზეც. სცადე. ძალიან მარტივი და საინტერესო შესაძლებლობაა: <https://graasp.eu/s/be9a4u>

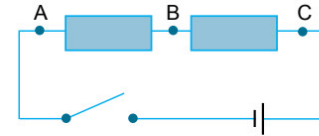
სამუშაოსთვის საჭიროა: დენის წყარო (12 V), წინაღობების (რეზისტორების) ნაკრები (5-30 ომი), ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი (ან მულტიმეტრი), შემაერთებელი სადენები, ჩამრთველი.

ცდების ჩატარება შეგიძლია როგორც რეალურ, ისე ვირტუალურ ლაბორატორიაში: <http://bitly.ws/sw87> <http://bitly.ws/sVes>



ცდა I

1. ააწყვე მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორისგან ელექტრული წრედი სურათ 1.7.8-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.



სურ. 1.7.8

2. გაზომე

- თითოეულ რეზისტორში გამავალი დენის ძალა (I_{AB} , I_{BC});
- დენის წყაროდან გამომავალ სადენში (მაგ., A ან C წერტილში) დენის ძალა ანუ **მთელი დენის ძალა (I)** წრედის AC უბანში ($I = I_{AC}$);
- თითოეული რეზისტორის ბოლოებს შორის ძაბვა (U_{AB} , U_{BC});
- ძაბვა A და C წერტილებს შორის ანუ, **საერთო ძაბვა (U)** წრედის AC უბნის ბოლოებს შორის ($U = U_{AC}$).

3. გადაიხაზე 1-ლი ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეიტანე გაზომვის შედეგები.

4. შეცვალე რეზისტორები განსხვავებული წინააღობების რეზისტორებით და გაიმეორე გაზომვები. შეავსე ცხრილი.

5. გაანალიზე 1-ლი ცხრილის მონაცემები. **შეადარე:** წრედის

- AC უბანში გამავალი მთელი დენის ძალა თითოეულ რეზისტორში გამავალ დენის ძალას;
- AC უბნის ბოლოებზე საერთო ძაბვა თითოეული რეზისტორის ბოლოებზე ძაბვათა ჯამს.

გამოიტანე დასკვნები და შეავსე ცხრილის შესაბამისი გრაფა: დაწერე დასკვნის სახით ა და ბ კითხვებზე პასუხი.

№	R_{AB} (ომი)	R_{BC} (ომი)	I_{AB} (ა)	I_{BC} (ა)	$I_{AC} = I$ (ა)	U_{AB} (ვ)	U_{BC} (ვ)	$U_{AC} = U$ (ვ)	დასკვნები: ცხრილი 1
1									1. მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში გამავალი დენის ძალა წრედში მთელი დენის ძალის.....
2									2. გამტართა მიმდევრობით შეერთებისას საერთო ძაბვა წრედში გამტართა ბოლოებზე არსებულ ძაბვათა ტოლია ანუ $U_{AC} = U_{AB} \dots U_{BC}$

6. გამოიყენე ომის კანონი და გამოთვალე AC უბნის **საერთო წინააღობა (R)**:

$$R = R_{AC} = \frac{U_{AC}}{I_{AC}}$$

გაითვალისწინე: საერთო (სრული, მთელი) წინააღობა ისეთი რეზისტორის წინააღობაა, რომლითაც შეგვიძლია მოცემული რეზისტორების ჩანაცვლება ისე, რომ წრედში დენის ძალა არ შეიცვლოს.

7. შეადარე R -ს ორივე რეზისტორის წინააღობათა ჯამი: რას ამჩნევ?

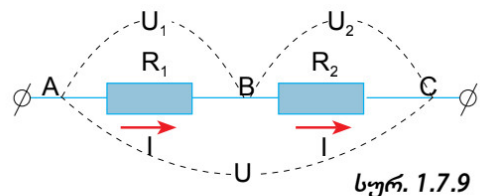
გამოიტანე დასკვნა: როგორ გამოითვლება გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას წრედის უბნის საერთო წინააღობა?

8. გამოიყენე 1-ლი ცხრილის მონაცემები. შეადარე ერთმანეთს: $\frac{U_{AB}}{U_{BC}}$ და $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$.

გამოიტანე დასკვნა: რა დამოკიდებულებაა რეზისტორების წინააღობასა და მათ ბოლოებს შორის არსებულ ძაბვას შორის?

1.7.3. კანონზომიერებები გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას

წრედში გამტართა მიმდევრობით შეერთებისას ექსპერიმენტულად მიღებული კანონზომიერებები ასე ჩამოყალიბდება – გამტარების მიმდევრობით შეერთებისას (სურ. 1.7.9):



1. დენის ძალა გამტარებში ერთნაირია: $I_1 = I_2 = I$

დამტკიცება. 1-ლი კანონზომიერება მუხტის

შენახვის კანონიდან გამომდინარეობს: მიმდევრობით შეერთებული გამტარების ნებისმიერ განივკვეთში ერთსა და იმავე დროში გამავალი მუხტი ერთნაირი (მუხტი არსად გროვდება):

$$q_1 = q_2 = q \Rightarrow \frac{q_1}{\Delta t} = \frac{q_2}{\Delta t} = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow I_1 = I_2 = I$$

2. საერთო ძაბვა წრედში გამტართა ბოლოებს შორის არსებულ ძაბვათა ჯამის ტოლია:

$$U = U_1 + U_2$$

დამტკიცება: მე-2 კანონზომიერება შემდეგი ტოლობებიდან გამომდინარეობს:

$$U_1 = \varphi_A - \varphi_B; \quad U_2 = \varphi_B - \varphi_C$$

$$\text{ე.ი. } U = \varphi_A - \varphi_C = (\varphi_A - \varphi_B) + (\varphi_B - \varphi_C) = U_1 + U_2$$

3. გამტარების ბოლოებზე ძაბვა გამტართა წინააღობების პირდაპირპროპორციულად

გადანაწილდება: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

დამტკიცება: ომის კანონის თანახმად, $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$; $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$

1-ლი კანონზომიერების თანახმად $I_1 = I_2$ ე.ი. $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

4. გამტართა საერთო წინააღობა ცალკეულ გამტართა წინააღობების ჯამის ტოლია:

$$R = R_1 + R_2$$

დამტკიცება: ომის კანონის თანახმად, $U_1 = I_1 R_1$; $U_2 = I_2 R_2$; $U = IR$

მე-2 კანონზომიერების თანახმად, $IR = I_1 R_1 + I_2 R_2$

რადგან $I_1 = I_2 = I$, მივიღებთ, რომ $R = R_1 + R_2$

დააკვირდი: გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას წრედის საერთო წინააღობა მეტია ცალკეულ გამტართა წინააღობებზე. გაითვალისწინე:

1. მიჩნეულია, რომ მიმყვანი სადენების წინააღობა ნულის ტოლია, ამპერმეტრის წინააღობა უსასრულოდ მცირე და ხოლო ვოლტმეტრისა – უსასრულოდ დიდია (იხ. გვ.71,72)

2. ოთხივე კანონზომიერება სამართლიანია მიმდევრობით შეერთებული ნებისმიერი რაოდენობის გამტარებისთვის;

3. თუ მიმდევრობით შეერთებული გამტარების წინააღობები ერთნაირია და R_0 -ის ტოლია, გამტართა საერთო წინააღობა $R = nR_0$, სადაც n მიმდევრობით შეერთებულ გამტართა რიცხვია.



სურ. 1.8.1

მაღალი ძაბვის ხაზებთან შეხება საშიშია, რადგან ეს შეიძლება დრამატულად დამთავრდეს როგორც ადამიანებისთვის, ისე ცხოველებისა და ფრინველებისთვისაც... თუმცა, ალბათ, ხშირად შეგინიშნავს ასეთი სურათი (სურ. 1.8.1): ჩიტები მშვიდად სხედან ელექტროგადამცემ ხაზებზე, რომლებსაც საიზოლაციო საფარველი არ აქვს, და საფრთხე არ ემუქრებათ. როგორ ფიქრობ, რით აიხსნება ეს? რა შემთხვევაში არ არის ჩიტებისთვის სახიფათო ელექტროგადამცემი ხაზები?

ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებ. მანამდე კი ჩაატარე კვლევა და ექსპერიმენტულად გამოიკვლიე ის კანონზომიერებები, რომლებიც პარალელურად შეერთებულ გამტარებში დენის ძალისა და ძაბვების განაწილებას აღწერს.

1.8.1. პრაქტიკული სამუშაო: ელექტრული წრედის კვლევა გამტარების კარაქლუბური შეერთებისას



სამუშაოსთვის საჭიროა: დენის წყარო (12 V), რეზისტორების ნაკრები (5-30 ომი), ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი (ან მულტიმეტრი), შემაერთებული სადენები, ჩამრთველი. ცდების ჩატარება შეგიძლია როგორც რეალურ, ისე ვირტუალურ ლაბორატორიაში: <http://bitly.ws/sw87> <http://bitly.ws/sVes>



სამუშაოს მსვლელობა:

1. ააწყვე პარალელურად შეერთებული ორი რეზისტორისგან ელექტრული წრედი (სურ. 1.8.2).

2. გაზომე

ა) თითოეულ რეზისტორში გამავალი დენის ძალა (I_{AB} , I_{CD});

ბ) დენის წყაროდან გამომავალ განუშტოებელ სადენში (მაგ., E ან F წერტილში) დენის ძალა ანუ, მთელი დენის ძალა (I) წრედის EF უბანში ($I = I_{EF}$);

გ) თითოეული რეზისტორის ბოლოებს შორის ძაბვა (U_{AB} , U_{CD});

დ) ძაბვა E და F წერტილებს შორის ანუ, საერთო ძაბვა წრედის EF უბნის ბოლოებს შორის ($U = U_{EF}$).

3. გადაიხაზე 1-ლი ცხრილი სამუშაო რეულში და შეიტანე გაზომვის შედეგები.

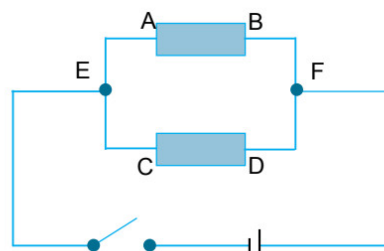
4. შეცვალე რეზისტორები განსხვავებული წინააღობების რეზისტორებით და გაიმეორე გაზომვები. შეავსე ცხრილი.

5. გაანალიზე 1-ლი ცხრილის მონაცემები. შეადარე: წრედის

ა) EF უბანში მთელი დენის ძალა თითოეულ რეზისტორში გამავალ დენის ძალების ჯამს;

ბ) EF უბნის ბოლოებზე საერთო ძაბვა თითოეული რეზისტორის ბოლოებს შორის ძაბვას.

გამოიტანე დასკვნები და შეავსე ცხრილის შესაბამისი გრაფა: დაწერე დასკვნის სახით ა და ბ კითხვებზე პასუხი.



სურ. 1.8.2

№	R_{AB} (ომი)	R_{CD} (ომი)	I_{AB} (ა)	I_{CD} (ა)	$I_{EF} = I$ (ა)	U_{AB} (ვ)	U_{CD} (ვ)	$U_{EF} = U$ (ვ)	დასკვნები:
1									1. პარალელურად შეერთებული გამტარების ბოლოებს შორის ძაბვა უბნის ბოლოებს შორის ძაბვის.....
2									2. გამტართა პარალელურად შეერთებისას წრედში მთელი დენის ძალა თითოეულ გამტარში გამავალი დენის ძალების ანუ $I_{EF} = I_{AB} \dots I_{CD}$

ცხრილი 1

6. გამოიყენე ომის კანონი და გამოთვალე EF უბნის საერთო წინაღობა (R):

$$R = R_{EF} = \frac{U_{EF}}{I_{EF}}$$

7. შეადარე რეზისტორების წინააღობათა შებრუნებული სიდიდეების ჯამი ($\frac{1}{R_{AB}} + \frac{1}{R_{CD}}$) საერთო წინააღობის შებრუნებულ სიდიდეს ($\frac{1}{R_{\text{თ}}$): რას ამჩნევ?

გამოიტანე დასკვნა: როგორ გამოითვლება გამტართა პარალელური შეერთებისას წრედის უბნის საერთო წინააღობა?

8. გამოიყენე 1-ლი ცხრილის მონაცემები. შეადარე ერთმანეთს: $\frac{I_{AB}}{I_{CD}}$ და $\frac{R_{CD}}{R_{AB}}$

გამოიტანე დასკვნა: რა დამოკიდებულებაა რეზისტორების წინააღობებსა და მათში გამავალ დენის ძალებს შორის?

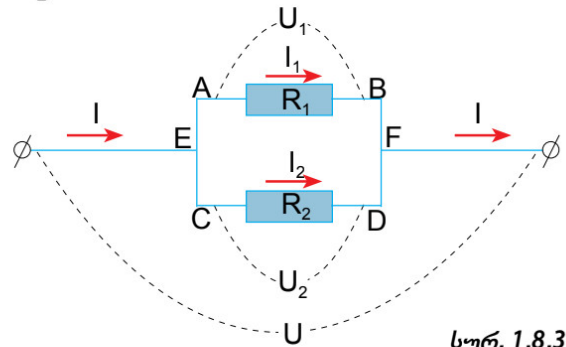
1.8.2. კანონზომიერებები გამტართა პარალელური შეერთებისას

წრედში გამტართა პარალელური შეერთებისას ექსპერიმენტულად მიღებული კანონზომიერებები ასე ჩამოყალიბდება – გამტართა პარალელური შეერთებისას (სურ. 1.8.3):

1. ძაბვა გამტარების ბოლოებზე ერთნაირია:

$$U = U_1 = U_2$$

დამტკიცება: პარალელურად შეერთებული ყველა გამტარი წრედის ერთი და იმავე წერტილებს (E და F-ს) შორისაა ჩართული. შესაბამისად, $\varphi_A = \varphi_C = \varphi_E$ და $\varphi_B = \varphi_D = \varphi_F$.
ეს კი იმას ნიშნავს, რომ $U = U_1 = U_2$.



სურ. 1.8.3

2. დენის ძალა მთელ წრედში ცალკეულ გამტარში გამავალი დენის ძალის ჯამის ტოლია: $I = I_1 + I_2$

დამტკიცება. მე-2 კანონზომიერება მუხტის შენახვის კანონიდან გამომდინარეობს: წრედის იმ წერტილში (E), რომელშიც წრედის უბანი განშტოვდება, Δt დროის განმავლობაში გასული მუხტი (q) პარალელურად შეერთებული გამტარების ნებისმიერ განივკვეთში იმავე დროში გამავალი მუხტების ჯამის ტოლია:

$$q = q_1 + q_2 \Rightarrow \frac{q}{\Delta t} = \frac{q_1}{\Delta t} + \frac{q_2}{\Delta t} \Rightarrow I = I_1 + I_2$$

3. დენის ძალა გამტარებში წინააღობების უკუპროპორციულად განაწილდება:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

დამტკიცება: ომის კანონის თანახმად, $U_1 = I_1 R_1$; $U_2 = I_2 R_2$;

1-ლი კანონზომიერების თანახმად $U_1 = U_2$ ე.ი. $I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

4. გამტართა საერთო წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

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

დამტკიცება: ომის კანონის თანახმად, $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$; $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$; $I = \frac{U}{R}$

მე-2 კანონზომიერების თანახმად, $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$.

რადგან $U_1 = U_2 = U$, მივიღებთ, რომ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

დააკვირდი: გამტართა პარალელური შეერთებისას წრედის საერთო წინაღობა ნაკლებია ცალკეულ გამტართა წინაღობებზე (გაიხსენე, როგორ იცვლება გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას წრედის საერთო წინაღობა). გაითვალისწინე:

1. მიჩნეულია, რომ მიმყვანი სადენების წინაღობა ნულის ტოლია, ამპერმეტრის წინაღობა უსასრულოდ მცირე და ხოლო ვოლტმეტრისა - უსასრულოდ დიდია (იხ. გვ.71,72);

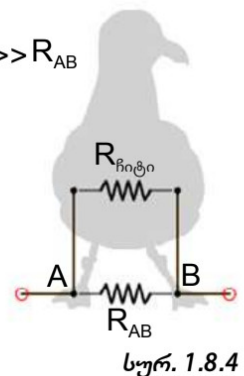
2. ოთხივე კანონზომიერება სამართლიანია პარალელურად შეერთებული ნებისმიერი როდენობის გამტარებისთვის;

3. მე-4 კანონზომიერებიდან ჩანს, რომ იმ კერძო შემთხვევაში, როცა პარალელურად შეერთებული გამტარების წინაღობები ერთნაირია (სურ. 4) და R_0 -ის ტოლია, გამტართა საერთო წინაღობა ასე გამოითვლება: $R = \frac{R_0}{n}$, სადაც n პარალელურად შეერთებულ გამტართა რიცხვია.

4. მე-4 კანონზომიერებიდან ჩანს, რომ იმ კერძო შემთხვევაში, როცა პარალელურად შეერთებულია ორი გამტარი, R_1 და R_2 წინაღობებით, გამტართა

საერთო წინაღობა ასე გამოითვლება: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

$$R_{\text{ჩიტი}} \gg R_{AB}$$



დააკვირდი მე-3 კანონზომიერებას: დენის ძალა პარალელურად შეერთებულ გამტარებში წინაღობის უკუპროპორციულად განაწილდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ დენი „ირჩევს“ იმ გამტარს, რომლის წინაღობაც უფრო ნაკლებია: ჩიტი ელექტროგადამცემი ხაზის AB მონაკვეთთან პარალელურადაა „ჩართული“ (სურ. 1.8.4). ელექტროგადამცემი ხაზები, როგორც წესი, საუკეთესო (სპილენძის ან ალუმინის) გამტარებია. ჩიტის სხეულის წინაღობა გაცილებით დიდია, ვიდრე ხაზის იმ უბნისა, რომლის ბოლოებსაც ჩიტი პარალელურად უერთდება. შესაბამისად, ჩიტის ფეხებს შორის გამტარში (AB) გამავალი დენის ძალა გაცილებით აღემატება მის სხეულში გამავალ დენის ძალას, რომელიც იმდენად უმნიშვნელოა, რომ ჩიტისთვის საფრთხეს არ წარმოადგენს.

იმ შემთხვევაში თუ ჩიტის ფრთა სხვა გადამცემ ხაზს ან მიწას (ხაზების საყრდენი ბოძების ლითონის დეტალებს) შეეხება, მისთვის ეს საბედისწეროდ დამთავრდება. ასეთი შემთხვევები ძალიან ხშირია და, ძირითადად, დიდი ზომის ჩიტები ხდებიან ელექტრული დენის მსხვერპლნი, რადგან მათი ზომებიდან გამომდინარე, ხშირად სხვა ხაზსა და მიწას ეხებიან. თანამედროვე უსაფრთხოების სტანდარტების მიხედვით, ხაზებს ერთმანეთისგან საკმაოდ დიდი მანძილით აშორებენ და ასევე სპეციალურ დამცავებს ამონტაჟებენ, რათა მაქსიმალურად აარიდონ ჩიტებს საფრთხე (სურ. 1.8.5).



სურ. 1.8.5

1.8.1

იმსჯელე: რა უპირატესობა აქვს გამტართა პარალელურ შეერთებას მიმდევრობითთან შედარებით?

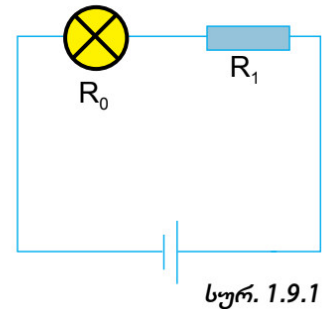
ფიზიკა ამოცანებში: დენის ძალა, ძაბვა და წინააღობა ელექტრული წრედის უბანზე

ელექტრული წრედები, რომელთაც პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ, გამტარების, სხვადასხვანაირი ხერხით შეერთებული მოწყობილობების ერთობლიობაა. ომის კანონის დახმარებით, შეიძლება გამოვთვალოთ დენის ძალა და ძაბვა წრედის ნებისმიერ უბანზე. ამისათვის დაგვჭირდება წრედის იმ უბნის წინააღობის გამოთვლა, რომელშიც გამტარების მიმდევრობითი, პარალელური და ან შერეული შეერთებაა გამოყენებული.



ამოცანა 1.9.1

$R_0 = 240$ ომი წინააღობის ელექტრული ნათურა გათვალისწინებულია $U_0 = 120$ ვ ძაბვაზე. რა სიგრძის ნიქრომის გამტარი უნდა ჩავრთოთ ნათურასთან მიმდევრობით, რომ ნათურის ჩართვა შესაძლებელი იყოს $U = 220$ ვ ძაბვის ქსელში? ცნობილია, რომ ნიქრომის გამტარის განიკვეთის ფართობი $S = 0,55$ მმ²-ია და ნიქრომის კუთრი წინააღობაა $\rho_{\text{ნიქრ}} = \rho = 1,1$ ომი · მმ²/მ.



სურ. 1.9.1

ამოხსნა:

- სურათ 1.9.1-ზე გამოსახულია წრედის სქემა, რომლის გარე უბანი მიმდევრობით შეერთებული ნათურისა და ნიქრომის გამტარისგან შედგება;
- ძაბვა ნიქრომის მავთულის ბოლოებს შორის ტოლია: $U_1 = U - U_0 = 100$ ვ.
- მიმდევრობით შეერთებული გამტარების ბოლოებზე ძაბვა წინააღობების პირდაპირპროპორციულად გადანაწილდება: $\frac{U_0}{U_1} = \frac{R_0}{R_1}$, საიდანაც მივიღებთ, რომ $R_1 = 200$ ომი.
- გაიხსენე, როგორ გამოითვლება გამტარის წინააღობა მისი გეომეტრიული ზომებისა და ნივთიერების გვარობის გათვალისწინებით. დაწერე ნიქრომის გამტარის წინააღობის (R_1) გამოსათვლელი ფორმულა და გამოსახე ფორმულიდან ნიქრომის გამტარის სიგრძე (l);
- შეიტანე ფიზიკურ სიდიდეთა ცნობილი მნიშვნელობები და გამოთვალე. ნიქრომის გამტარის სიგრძე.

შეამოწმე პასუხი. უნდა მიგელოთ: $l = 100$ მ.

ამოცანა 1.9.2



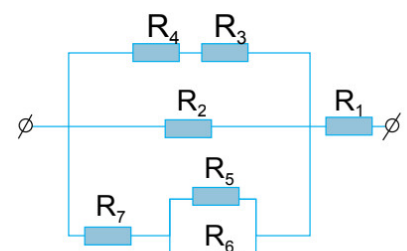
გამოთვალე სურათ 1.9.1-ზე გამოსახული გარე წრედის საერთო წინააღობა, თუ ცნობილია, რომ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 10$ ომს.

სურათ 1.9.2-ზე გამოსახულია გარე წრედის რთული უბანი, რომელზედაც ერთდროულადაა გამოყენებული წინააღობების განსხვავებული შეერთება. უბნის საერთო (სრული, მთელი) წინააღობის გამოსათვლელად საჭიროა:

- მოვძებნოთ წრედში რეზისტორები, რომლებიც ერთმანეთთან მხოლოდ მიმდევრობით ან მხოლოდ პარალელურადაა შეერთებული.

დააკვირდი: სურათ 1.9.2-ზე გამოსახულ სქემაზე მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორებია R_3 და

R_4 , ხოლო პარალელურად შეერთებული რეზისტორები – R_5 და R_6 .



სურ. 1.9.2

2. შევადგინოთ ახალი, II სქემა (სურ. 1.9.3):

ა) R_3 და R_4 მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორები ერთი ეკვივალენტური $R_{3,4}$ რეზისტორით შევცვალოთ, რომლის წინააღობა იქნება: $R_{3,4} = R_3 + R_4 = 20$ ომი.

ბ) R_5 და R_6 პარალელურად შეერთებული რეზისტორები ეკვივალენტური $R_{5,6}$ რეზისტორით შევცვალოთ, რომლის წინააღობა იქნება:

$$R_{5,6} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = 5 \text{ ომი}$$

II სქემას მოცემული სქემის ეკვივალენტური სქემა ჰქვია.

3. II სქემა III ეკვივალენტური სქემით შევცვალოთ:

ა) $R_{3,4}$ და R_2 პარალელურად შეერთებული რეზისტორები ერთი ეკვივალენტური $R_{2,3,4}$ რეზისტორითაა შეცვლილი, რომლის წინააღობაა:

$$R_{2,3,4} = \frac{R_2 \cdot R_{3,4}}{R_2 + R_{3,4}} = \frac{20}{3} \text{ ომი}$$

ბ) $R_{5,6}$ და R_7 მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორები ერთი ეკვივალენტური $R_{5,6,7}$ რეზისტორითაა შეცვლილი, რომლის წინააღობაა: $R_{5,6,7} = R_{5,6} + R_7 = 15$ ომი

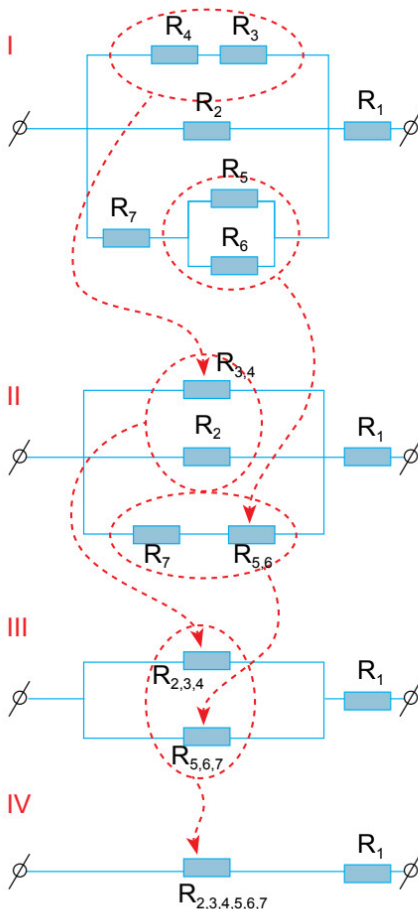
4. III სქემა IV ეკვივალენტური სქემით შევცვალოთ:

ა) $R_{2,3,4}$ და $R_{5,6,7}$ პარალელურად შეერთებული რეზისტორები ერთი ეკვივალენტური $R_{2,3,4,5,6,7}$ რეზისტორითაა შეცვლილი, რომლის წინააღობაა:

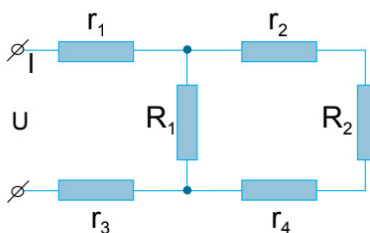
$$R_{2,3,4,5,6,7} = \frac{R_{2,3,4} \cdot R_{5,6,7}}{R_{2,3,4} + R_{5,6,7}} = \frac{60}{13} \text{ ომი}$$

5. IV სქემის მიხედვით კი გარე წრედის საერთო წინააღობა ასე გამოითვლება:

$$R = R_{2,3,4,5,6,7} + R_1 = \frac{190}{13} \text{ ომი}$$



სურ. 1.9.3



სურ. 1.9.4

ამოცანა 1.9.3

სურათ 1.9.4-ზე გამოსახულ სქემაზე $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1,5$ ომს, $R_1 = R_2 = 36$ ომს, ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე კი $U = 12$ ვ. იპოვე გარე წრედის საერთო წინააღობა და ძაბვა r_1 წინააღობის ბოლოებზე.

ამოხსნა:



1. გარე წრედის სრული წინააღობის გამოსათვლელად გავამარტივოთ მოცემული სქემა (სურ. 1.9.4). შევცვალოთ ის ეკვივალენტური II სქემით (სურ.1.9.5): r_2 , R_2 და r_4 მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორები შევცვალოთ მათი ეკვივალენტური R' წინააღობით, რომელიც ასე გამოითვლება: $R' = r_2 + R_2 + r_4 = 39$ ომი.

2. შევცვალოთ II სქემა III ეკვივალენტური სქემით (სურ.1.9.5):

R_1 და R' პარალელურად შეერთებული რეზისტორების ნაცვლად სქემაში მათი ეკვივალენტური R'' რეზისტორი გამოვიყენოთ, რომლის წინააღობა ასე გამოით-

ვლება: $R'' = \frac{R_1 \cdot R'}{R_1 + R'} = 18,72$ ომი

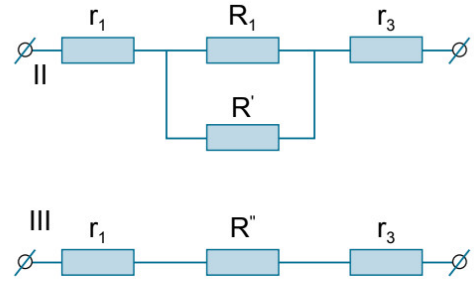
3. III სქემის მიხედვით კი გარე წრედის სრული წინააღობა ასე გამოითვლება:

$$R = r_1 + R'' + r_3 = 21,72 \text{ ომი}$$

4. მთელი დენის ძალა გარე წრედში (ანუ დენის ძალა წრედის განუშტოებელ ნაწილში):

$$I = \frac{U}{R} \approx 0,55 \text{ ა}$$

5. ძაბვა r_1 რეზისტორის ბოლოებს შორის (ანუ, როგორც ხშირად ამბობენ, ძაბვის ვარდნა r_1 რეზისტორზე) ასე გამოითვლება: $U_1 = I r_1 \approx 0,83 \text{ ვ}$

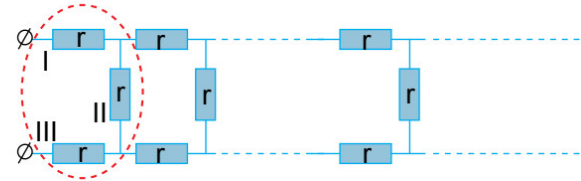


სურ. 1.9.5

ამოცანა 1.9.4 უსასრულო წრედი



გარე წრედი, რომლის სქემაცაა გამოსახული სურათ 1.9.6-ზე, სამი ერთნაირი r წინააღობისგან შედგენილი უბნების უსასრულო რაოდენობას მოიცავს. გამოთვალე გარე წრედის საერთო R_0 წინააღობა.



სურ. 1.9.6

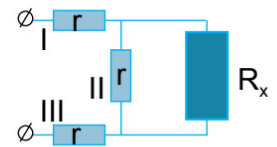
ამოხსნა:

1. **გაითვალისწინე:** გარე წრედი I, II და III წინააღობებისგან შედგენილი უბნების უსასრულო რაოდენობას შეიცავს (სურ.1.9.6). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ უსასრულო გარე წრედის საერთო წინააღობა პრაქტიკულად არ შეიცვლება, თუ უბნების უსასრულო რაოდენობას კიდევ ერთ უბანს დავუმატებთ ან გამოვაკლებთ;

2. მთლიან წრედს გამოვაკლოთ I, II და III წინააღობებისგან შედგენილი პირველი, წყვეტილით მონიშნული, უბანი და დანარჩენი, უსასრულო რაოდენობის, უბნების მთელი წინააღობა R_x -ით აღვნიშნოთ: R_x პრაქტიკულად მთლიანი წრედის სრული წინააღობის ტოლია $R_0 \approx R_x$.

3. სურათ 1.9.6-ზე გამოსახული სქემა შევცვალოთ მისი ეკვივალენტური სქემით (სურ. 1.9.7).

4. დააკვირდი სურათ 1.9.7-ს: II წინააღობა და R_x ერთმანეთთან პარალელურად მიერთებული წინააღობებია, ხოლო I და III წინააღობები მათთან მიმდევრობითაა შეერთებული. ანუ, მთლიანი უსასრულო წრედის საერთო წინააღობა ასე გამოითვლება:



სურ. 1.9.7

$$R_0 = R_x = 2r + \frac{r \cdot R_x}{r + R_x} \quad (1) \text{ ანუ, } R_x^2 - 2r R_x - 2r^2 = 0 \quad (2)$$

მე-2 კვადრატული განტოლების ამოხსნით მივიღებთ, რომ $R_x = r \pm r\sqrt{3}$

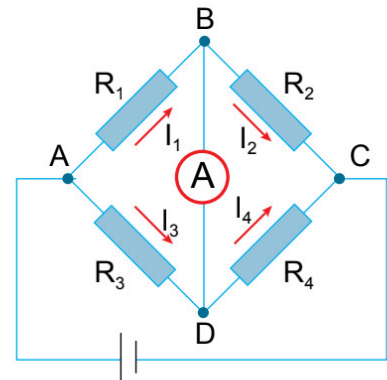
(1)-ის თანახმად კი $R_x > 2r$, ამიტომ განტოლების ამონახსნი ამოცანის მოცემულ პირობებში ასე გამოისახება: $R_0 = R_x = r + r\sqrt{3}$

უიტსტონის ხიდი

უიტსტონის ხიდი (იგივე, წინააღობის ხიდი, უიტსტონის ბოგირი) ელექტრული მოწყობილობაა (სქემაა), რომლის დახმარებითაც წრედში უცნობი წინააღობის განსაზღვრა შესაძლებელია. ე.წ. **ხიდის მეთოდით** წინააღობის გაზომვა პირველად 1933 წელს ბრიტანელმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა, სამუელ ჰანტერ კრისტიმ შესთავაზა სამეცნიერო საზოგადოებას. თუმცა მისი ნაშრომი გარკვეული დროით ჩრდილში აღმოჩნდა,

რადგან სქემის პრაქტიკული გამოყენება ვერ მოხერხდა. 10 წლის შემდეგ ბრიტანელმა გამომგონებელმა ჩარლზ უიტსტონმა სქემა განავითარა და თავისი ვერსია წარმოადგინა (აღსანიშნავია, რომ მას კრისტის საავტორო უფლებები არ დაურღვევია და მისი უდავო დამსახურება ხმამაღლა აღნიშნა). უიტსტონი წრედებში ელექტრული წინააღობის როლს, წინააღობების სხვადასხვა კომბინაციის გამოყენებით იკვლევდა და მუშაობის პროცესში ბევრ მივიწყებულ იდეას ახალი სიცოცხლე შესძინა. უიტსტონის სახელს უკავშირდება რეოსტატის პოპულარიზაცია, რომელიც გერმანელი ფიზიკოსის, იოჰან კრისტიან პოგენდორფის (1796 – 1877) მიერ შექმნილი ხელსაწყოა.

დააკვირდი სურათ 1.9.8-ზე: მასზე უიტსტონის ხიდის სქემაა გამოსახული. წრედში რეზისტორები არც მიმდევრობითაა შეერთებული და არც პარალელურად: რადგან R_1 და R_2 რეზისტორებს შორის განშტოებაა, არ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ისინი მიმდევრობითაა შეერთებული. R_1 და R_3 რეზისტორები, ისევე, როგორც R_2 და R_4 რეზისტორები, არ შეიძლება პარალელურად შეერთებულად ჩაითვალოს, რადგან B და D წერტილები ერთმანეთს სხვა ელექტრომომხმარებელით უკავშირდება.



სურ. 1.9.8

ამოცანა 1.9.5



დამტკიცე, რომ, თუ სურათ 1.9.8-ზე გამოსახულ წრედში ჩართულ ამპერმეტრში დენი არ გადის, მაშინ მართებულია ტოლობა:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

(1.9.1)

დამტკიცება:

1. აღვნიშნოთ A, B, C და D წერტილების პოტენციალები, შესაბამისად, φ_A , φ_B , φ_C , φ_D -თი.

2. რადგან ამპერმეტრში დენი არ გადის, $\varphi_B = \varphi_D$, ამიტომ B და D წერტილებში დენი არ განშტოვდება, ე. ი. BC-ში იგივე დენი გაივლის, რაც AB-ში ($I_1 = I_2$), ხოლო DC-ში იგივე დენი გაივლის, რაც AD-ში ($I_3 = I_4$);

3. წრედის უბნისათვის ომის კანონის თანახმად:

$$\varphi_A - \varphi_B = I_1 R_1 \quad (1) \quad \varphi_B - \varphi_C = I_2 R_2 \quad (2)$$

$$\varphi_A - \varphi_D = I_3 R_3 \quad (3) \quad \varphi_D - \varphi_C = I_4 R_4 \quad (4)$$

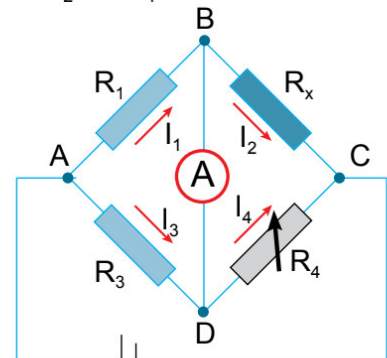
4. იმის გათვალისწინებით, რომ $\varphi_B = \varphi_D$, მივიღებთ:

$$a) \text{ 1-ლიდან და მე-3-დან: } I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad (5)$$

$$b) \text{ მე-2-დან და მე-4-დან: } I_2 R_2 = I_4 R_4 \quad (6)$$

5. თუ მე-5 ტოლობას მე-6-ზე გავყოფთ, მივიღებთ: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$

ვთქვთ, „ხიდის“ სქემაში (სურ.1.9.9) ოთხიდან ორი რეზისტორის წინააღობა მოცემულია (R_1 და R_3), ერთ-ერთი რეზისტორის წინააღობა ($R_2 = R_x$) უცნობია, ხოლო მეოთხე რეზისტორის ნაცვლად რეოსტატია ჩართული. რეოსტატის წინააღობის თანდათანობით ცვლილებით, შეიძლება მივაღწიოთ იმას, რომ ამპერმეტრის ჩვენება 0-ს გაუტოლდეს. თუ გვეცოდინება რეოსტატის წრედში ჩართული უბნის წინააღობა, 1.9.1 ტოლობის დახმარებით, უცნობი წინააღობის გამოთვლას შევძლებთ: $R_x = R_4 \frac{R_1}{R_3}$.



სურ. 1.9.9

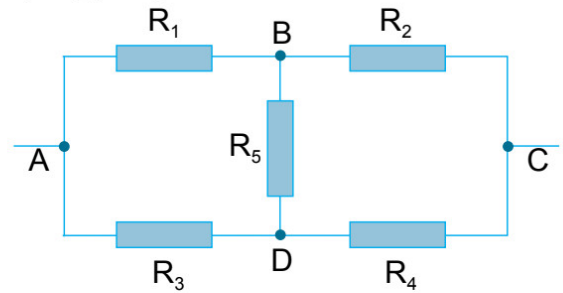
**ამოცანა 1.9.6.**

გამოთვალე სურათ 1.9.10-ზე გამოსახული წრედის სრული წინააღობა, თუ ცნობილია, რომ $R_1 = R_3 = 2$ ომს, $R_2 = R_4 = 6$ ომს, ხოლო $R_5 = 4$ ომს.

მითითება: გამოიყენე ამოცანა 1.9.5-ში დამტკიცებული დებულება და გაარკვიე, გადის თუ არა დენი წრედის BD შტოში. თუ არ გადის მაშინ ამოცანა ძალიან მარტივდება.

შეამოწმე პასუხი.

უნდა მიგელო: $R = 4$ ომი.



სურ. 1.9.10

ამპერმეტრის შუნტირება

შენ იცი, რომ წრედის უბანზე დენის ძალის გასაზომად ამპერმეტრს მასთან მიმდევრობით აერთებენ. ნებისმიერ ხელსაწყოს, და მათ შორის ამპერმეტრსაც, წინააღობა აქვს, ამიტომ წრედის რომელიმე უბანთან ამპერმეტრის მიმდევრობით ჩართვისას წრედის უბნის წინააღობა იზრდება და უცვლელი ძაბვის შემთხვევაში უბანში გამავალი დენის ძალა იკლებს.

გახსოვდეს: იმისათვის, რომ გასაზომ დენის ძალაზე ამპერმეტრმა მნიშვნელოვანი გავლენა არ იქონიოს, ამპერმეტრის წინააღობა ძალიან მცირეა.

არასდროს სცადო განათების ქსელში დენის ძალის ამპერმეტრით გაზომვა! რადგან ამპერმეტრის როზეტთან მიმდევრობით მიერთებისას ხელსაწყოს მცირე წინააღობის გამო მასში გამავალი დენი იმდენად დიდი იქნება, რომ ამპერმეტრი დაიწვება (რასაც შეიძლება უფრო დრამატული შედეგებიც მოჰყვეს!).

თითოეულ ამპერმეტრს **გაზომვის ზედა ზღვარი** აქვს: ის გათვლილია დენის ძალის გარკვეულ მაქსიმალურ (დასაშვებ) მნიშვნელობაზე (I_0), რომლის გაზომვაც მოცემული ამპერმეტრითაა შესაძლებელი. თუმცა ყოველთვის შესაძლებელია, გავაფართოვოთ ხელსაწყო გაზომვის შესაძლებლობა, ანუ გავზომოთ მოცემული ამპერმეტრით დენის ძალის იმაზე მეტი მნიშვნელობა, ვიდრე დასაშვებია. ამ მიზნით მიმართავენ **ამპერმეტრის შუნტირებას**: ამპერმეტრს პარალელურად უერთებენ რეზისტორს, ანუ შუნტს.



სურ. 1.9.11

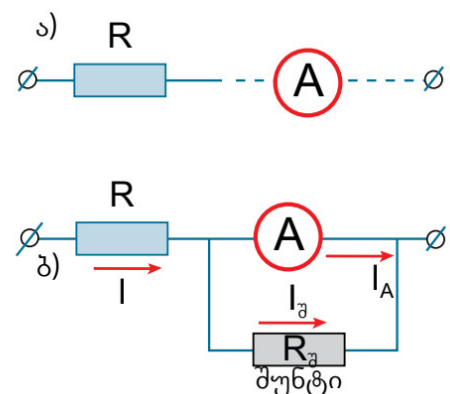
ამოცანა 1.9.7

განსაზღვრე შუნტის წინააღობა ($R_{\text{ш}}$), რომელიც უნდა მივუერთოთ ამპერმეტრს პარალელურად იმისათვის, რომ ამპერმეტრით დასაშვებზე n -ჯერ უფრო მეტი დენის ძალის გაზომვა შევძლოთ. ცნობილია, რომ ამპერმეტრი მაქსიმალური I_0 მნიშვნელობის დენის ძალის გასაზომადაა გათვლილი და მისი წინააღობა R_A -ს ტოლია.

1. ამპერმეტრმა (სურ. 1.9.12, ა) უნდა გაზომოს R წინააღობაში გამავალი დენის ძალა (I), რომელიც n -ჯერ აღემატება მისი გაზომვის ზღვარს:

$$I = n I_0 \quad (1)$$

2. ამპერმეტრის მომჭერებს შორის პარალელურად რთავენ შუნტს (სურ. 1.9.12, ბ). გასაზომი დენის ძალის (I -ს) ნაწილი (I_A) – ამპერმეტრში, ნაწილი ($I_{\text{ш}}$) კი მასთან პარალელურად მიერთებულ შუნტში გაივლის.



სურ. 1.9.12

შუნტის წინააღმდეგობა (R_g), ისეა გათვლილი, რომ ამპერმეტრში გამავალი დენის ძალა (I_A) მისი გაზომვის ზღვარს (I_0 -ს) არ უნდა აღემატებოდეს ($I_A = I_0$):

$$I = I_A + I_g = I_0 + I_g \quad (2)$$

3. 1-ლის გათვალისწინებით, მე-2-დან მივიღებთ, რომ $nI_0 = I_0 + I_g$ ანუ, შუნტში გამავალი დენის ძალა ასე გამოითვლება: $I_g = I_0(n - 1)$ (3)

4. დენის ძალა პარალელურად შეერთებულ გამტარებში წინააღმდეგობის უკუპროპორციულად გადანაწილდება, ანუ $\frac{I_g}{I_A} = \frac{R_A}{R_g}$ (4)

5. მე-3-ის გათვალისწინებით, მე-4 ტოლობიდან მივიღებთ, რომ შუნტის წინააღმდეგობა ასე გამოითვლება:

$$R_g = \frac{R_A}{n - 1} \quad (1.9.2)$$

ასე რომ, თუ ამპერმეტრის გაზომვის მაქსიმალური ზღვარია 1 ა და გვჭირდება 10 ა დენის ძალის გაზომვა ($n = 10$), მაშინ შუნტის წინააღმდეგობა ამპერმეტრის წინააღმდეგობაზე 9-ჯერ ნაკლები უნდა იყოს.

დაშუნტვისას:

ა) ამპერმეტრის დანაყოფის ფასი n -ჯერ იზრდება: მისი ისრის ერთ დანაყოფზე გადანახსნას n -ჯერ მეტი დენის ძალა შეესაბამება;

ბ) ამპერმეტრის მგრძნობელობა n -ჯერ მცირდება: მისი ისარი n -ჯერ ნაკლები კუთხით გადაიხრება, ვიდრე შუნტის გარეშე.

ლაბორატორიული წინააღმდეგობა ვოლტმეტრზე

შენ იცი, რომ წრედის უბნის ბოლოებს შორის ძაბვის გასაზომად ვოლტმეტრს უბნის პარალელურად რთავენ. ძაბვა ვოლტმეტრის მომჭერებზე იგივე იქნება, რაც უბნის ბოლოებს შორის.

ვთქვათ, ვოლტმეტრის წინააღმდეგობაა R_v , მაშინ უბნის წინააღმდეგობა იქნება არა R , არამედ $R' = \frac{R \cdot R_v}{R + R_v} < R$, ანუ წრედის რომელიმე უბანთან ვოლტმეტრის

პარალელურად ჩართვით წრედის უბნის წინააღმდეგობა მცირდება. მოცემული დენის ძალის შემთხვევაში წრედის უბანზე გასაზომი ძაბვა შემცირდება. იმისათვის, რომ გასაზომ ძაბვაზე ვოლტმეტრმა მნიშვნელოვანი გავლენა არ მოახდინოს,

ვოლტმეტრის წინააღმდეგობა გაცილებით მეტი უნდა იყოს წრედის იმ უბნის წინააღმდეგობაზე, რომლის ბოლოებზეც ძაბვა იზომება (ვოლტმეტრში დენი თითქმის არ გაივლის).

თითოეულ ვოლტმეტრს გაზომვის ზედა ზღვარი აქვს: ის გათვლილია ძაბვის გარკვეულ მაქსიმალურ (დასაშვებ) მნიშვნელობაზე (U_0), რომლის გაზომვაც მოცემული ვოლტმეტრითაა შესაძლებელი. ყოველთვის შესაძლებელია, გავაფართოვოთ ვოლტმეტრის გაზომვის შესაძლებლობა, გავზომოთ მოცემული ვოლტმეტრით ძაბვის იმაზე მეტი მნიშვნელობა, ვიდრე დასაშვებია. ამ მიზნით ვოლტმეტრთან მიმდევრობით დამატებით რეზისტორს რთავენ.

ამოცანა 1.9.8



განსაზღვრე დამატებითი წინააღმდეგობა (R_x), რომელიც უნდა მივუერთოთ ვოლტმეტრს მიმდევრობით იმისათვის, რომ ვოლტმეტრით დასაშვებზე n -ჯერ უფრო მეტი ძაბვის გაზომვა შევძლოთ. ცნობილია, რომ ვოლტმეტრი მაქსიმალური U_0 მნიშვნელობის ძაბვის გასაზომადაა გათვლილი და მისი წინააღმდეგობა R_v -ს ტოლია.

1. ვოლტმეტრმა (სურ. 1.9.14, ა) უნდა გაზომოს ძაბვა R წინააღმდეგობის ბოლოებს



სურ. 1.9.13

შორის (U), რომელიც n -ჯერ აღემატება მის გაზომვის ზღვარს:

$$U = n U_0 \quad (1)$$

2. ვოლტმეტრის მიმდევრობით უერთებენ დამატებით წინაღობას (სურ. 1.9.14, ბ). გასაზომი ძაბვის (U -ს) ნაწილი (U_V) – ვოლტმეტრის, ნაწილი ($U_{\text{დ}}$) კი მასთან მიმდევრობით მიერთებული დამატებითი წინაღობის ბოლოებს შორის იქნება მოდებული. დამატებითი წინაღობა ($R_{\text{დ}}$), ისეა გათვლილი, რომ ვოლტმეტრის ბოლოებს შორის ძაბვა (U_V) მისი გაზომვის ზღვარს (U_0 -ს) არ უნდა აღემატებოდეს ($U_V = U_0$):

$$U = U_V + U_{\text{დ}} = U_0 + U_{\text{დ}} \quad (2)$$

3. 1-ლის გათვალისწინებით, მე-2-დან მივიღებთ, რომ $nU_0 = U_0 + U_{\text{დ}}$ ანუ, ძაბვა დამატებითი წინაღობის ბოლოებს შორის ასე გამოითვლება:

$$U_{\text{დ}} = U_0 (n - 1) \quad (3)$$

4. ძაბვა მიმდევრობით შეერთებული გამტარების ბოლოებზე წინაღობების პირდაპირპროპორციულად გადანაწილდება, ანუ $\frac{U_{\text{დ}}}{U_V} = \frac{R_{\text{დ}}}{R_V}$ (4)

5. მე-3-ის გათვალისწინებით, მე-4 ტოლობიდან მივიღებთ, რომ დამატებითი წინაღობა ასე გამოითვლება: $R_{\text{დ}} = R_V (n - 1)$ (1.9.3)

ასე, რომ თუ ვოლტმეტრის გაზომვის მაქსიმალური ზღვარია 1 ვ და გვჭირდება 10 ვ ძაბვის გაზომვა ($n = 10$), მაშინ დამატებითი წინაღობა ვოლტმეტრისაზე 9-ჯერ მეტი უნდა იყოს. **დამატებითი წინაღობის მიერთებისას**

ა) ვოლტმეტრის დანაყოფის ფასი n -ჯერ იზრდება: მისი ისრის ერთ დანაყოფზე გადახრას n -ჯერ მეტი ძაბვა შეესაბამება;

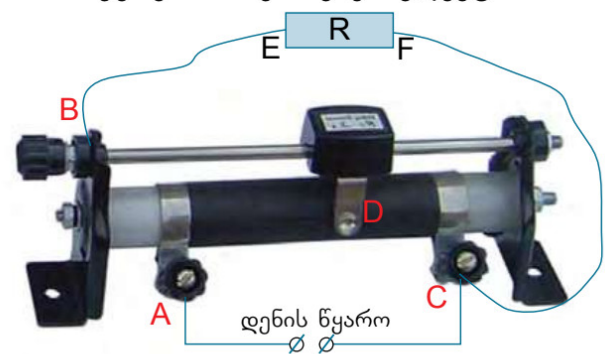
ბ) ვოლტმეტრის მგრძნობელობა n -ჯერ მცირდება: მისი ისარი n -ჯერ ნაკლები კუთხით გადაიხრება, ვიდრე დამატებითი წინაღობის გარეშე.

პოტენსიომეტრი – ძაბვის გაყოფი

დენის წყარო მასთან მიერთებული ელექტრომომხმარებლის (R წინაღობის) ბოლოებს შორის გარკვეულ ძაბვას (U) ქმნის, რომელიც შეიძლება იმაზე მეტი აღმოჩნდეს, ვიდრე ელექტრომომხმარებლის ნორმალური მუშაობისთვისაა დასაშვები.

ასეთ შემთხვევაში საჭიროა, შევამციროთ ძაბვა ელექტრომომხმარებლის მომჭერებს შორის, რასაც რეოსტატის დახმარებით შევძლებთ, თუ მას წრედში ისეთი სქემით ჩავრთავთ, როგორიც, სურათ 1.9.15-ზეა გამოსახული: რეოსტატის ხვიის ბოლოებს (რეოსტატის A და C მომჭერებს) დენის წყაროს მომჭერებთან აერთებენ. ელექტრომომხმარებლის E და F მომჭერებს რეოსტატის ხვიის ერთ ბოლოს (მაგ., C მომჭერს) და მცოცავ კონტაქტს (B ანუ იგივე D ნერტილს) უერთებენ.

ელექტრომომხმარებლის (R წინაღობის) წრედში ამგვარი ჩართვისას, მის ბოლოებს შორის ძაბვა (U_{EF}) უფრო ნაკლებია, ვიდრე დენის წყაროს მიერ რეოსტატის A და C მომჭერებს შორის ძაბვა (U_{AC}): $U_{EF} < U_{AC}$,



სურ. 1.9.15

რაც იმას ნიშნავს, რომ ამგვარად ჩართული რეოსტატის დახმარებით U_{AC} ძაბვის გაყოფა შეეძლება: ელექტრომომხმარებლის ბოლოებს შორის U_{AC} ძაბვის მხოლოდ ნაწილია მოდებული (რეოსტატის მიმდევრობით შეერთებულ AD და DC უბნებზე ძაბვები წინააღმდეგობის პროპორციულად გადანაწილდება).

თუ რეოსტატის მცოცავი კონტაქტს A წერტილში დავაყენებთ, ძაბვა ელექტრომომხმარებლის ბოლოებს (U_{EF}) შორის რეოსტატის A და C წერტილებს შორის მაქსიმალურ ძაბვას გაუტოლდება ($U_{EF} = U_{AC}$).

მცოცავი კონტაქტის C -სკენ გადაადგილებისას ელექტრომომხმარებელს მაქსიმალური ძაბვის მხოლოდ ნაწილი მიეწოდება. როცა მცოცავი კონტაქტი C წერტილშია, ძაბვა ელექტრომომხმარებლის ბოლოებზე 0-ის ტოლია.

ასე რომ, ელექტრომომხმარებლის ბოლოებს შორის ძაბვა შეგვიძლია, სურვილისამებრ, თანდათან ვცვალოთ მაქსიმალური მნიშვნელობიდან 0-მდე.

რეოსტატს, რომელიც აღწერილი სქემითაა წრედში ჩართული, **ძაბვის გამყოფს** ან **პოტენციომეტრს** უწოდებენ. სწორედ პოტენციომეტრი (ე.წ. დიმერი) არეგულირებს განათებულობას სანათებში. მას იყენებენ ბგერის ხმამაღლობის დასარეგულირებლად, ელექტროძრავის ბრუნვის სიჩქარის შესაცვლელად და ა.შ.

ამოცანა 1.9.9



ელექტრომომხმარებელი, რომლის წინააღმდეგობაა

$R = 150$ ომი, ჩართულია $U = 220$ ვ ძაბვის წყაროს ქსელში (სურ.1.9.16, ა).

ელექტრომომხმარებელთან მიერთებულია პოტენციომეტრი (AC), რომლის მაქსიმალური წინააღმდეგობაა $R_3 = 600$ ომი. რისი ტოლი იქნება ძაბვა ელექტრომომხმარებელზე იმ დროს, როცა პოტენციომეტრის მცოცავი კონტაქტი ხვების შუაში, D წერტილშია.

ამოხსნა

1. თუ AC პოტენციომეტრის მცოცავი კონტაქტი ხვების შუაში, D წერტილშია, პოტენციომეტრის AD და CD უბნების წინააღმდეგობები ტოლია:

$$R_{AD} = R_{CD} = \frac{R_3}{2} = 300 \text{ ომი} \quad (1)$$

2. დააკვირდი ეკვივალენტური სქემას (სურ.1.9.16, ბ).

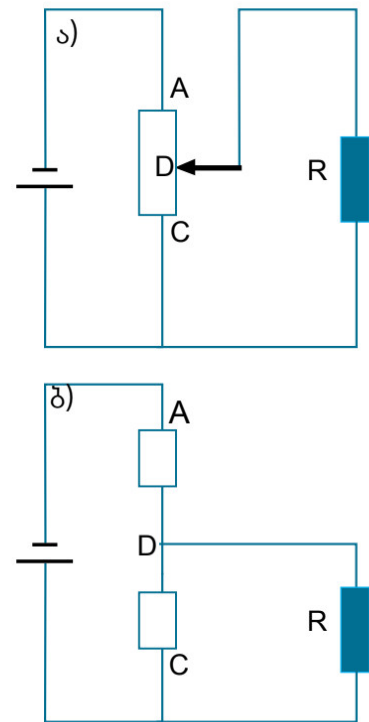
ელექტრომომხმარებელი (R), პოტენციომეტრის CD უბანთან პარალელურადაა ჩართული ($U_R = U_{CD} = U_1$) და მათი საერთო წინააღმდეგობა (R_1) ასე გამოითვლება:

$$R_1 = \frac{R \cdot R_{CD}}{R + R_{CD}} = \frac{R \cdot R_3}{2R + R_3} = 100 \text{ ომი} \quad (2)$$

3. ეკვივალენტური სქემიდან (სურ.1.9.16, ბ) ჩანს, რომ პოტენციომეტრის AD უბანი და R_1 წინააღმდეგობა ერთმანეთთან მიმდევრობითაა შეერთებული. ძაბვები მათ ბოლოებზე წინააღმდეგობის პირდაპირპროპორციულად გადანაწილდება:

$$\frac{R_{AD}}{R_1} = \frac{U_{AD}}{U_1} \text{ ანუ, } \frac{R_{AD}}{R_1} = \frac{U_{AD}}{U_R} = 3 \text{ და } U_{AD} = 3U_R \quad (3);$$

4. იმის გათვალისწინებით, რომ $U_{AC} = U = U_{AD} + U_{DC} = U_{AD} + U_R$ და $U_{AD} = 3U_R$ მივიღებთ, რომ $4U_R = 220$ ვ, ანუ ძაბვა ელექტრომომხმარებლის ბოლოებს შორის მთლიანი ძაბვის (U-ს) მეოთხედს შეადგენს: $U_R = 55$ ვ.



სურ. 1.9.16

ხშირად გინახავს, ალბათ, თანამედროვე საყოფაცხოვრებო ტექნიკის (მაცივრის, სარეცხი მანქანის, ტელევიზორის, მტვერსასრუტის და ა.შ.) შესაფუთ ყუთებზე ეტიკეტი, რომელზედაც ფერადი დიაგრამაა გამოსახული (სურ. 1.10.1). დიაგრამის თითოეული ფერი დიდი ლათინური ასოთია აღნიშნული.



სურ. 1.10.1

დიაგრამა მოწყობილობის ენერგოეფექტურობის კლასს მიანიშნებს. ენერგოეფექტურობა გვიჩვენებს, რამდენად ეკონომიურია მოწყობილობა: რამდენად ნაკლებ ელექტროენერგიას მოიხმარს ის და, შესაბამისად, რამდენად ნაკლები თანხის გადახდა მოგვინევს თვის ბოლოს. რაც უფრო მაღალია მოწყობილობის ენერგოეფექტურობა, მით უფრო ნაკლებ ელექტროენერგიას მოიხმარს ის.

სხვადასხვა მოწყობილობების ენერგოეფექტურობას განსხვავებული კრიტერიუმებით ადგენენ: მაგ., სარეცხი მანქანის ენერგოეფექტურობის დასადგენად ითვლიან, რამდენ ელექტროენერგიას ხარჯავს ის 1კგ თეთრეულის გასარეცხად, ტელევიზორებში ამ მაჩვენებელს ეკრანის ზომების მიხედვით განსაზღვრავენ და ა.შ.

ეტიკეტზე ენერგოეფექტურობის შვიდ კლასს გამოსახავენ. „A“ ყველაზე ეკონომიურ მოწყობილობას აღნიშნავს, „G“ მოწყობილობის არაეკონომიურობას და მის დაბალ ენერგოეფექტურობას ნიშნავს (ასეთ შემთხვევაში, სჯობს, სხვა, ალტერნატიული არჩევანი გააკეთოთ). ენერგოეფექტურობის კლასებს პროცენტებში გამოსახულ ენერგოეფექტურობის ინდექსითაც ახასიათებენ (რომელიც ერთგვარი მარგი ქმედების კოეფიციენტი). ის გვიჩვენებს, მოხმარებული ელექტროენერგიის რა ნაწილს გარდაქმნის მოწყობილობა სასარგებლო მუშაობად და, შესაბამისად, ენერგიის რა ნაწილი იკარგება...

როგორ გამოვთვალოთ ელექტრომომხმარებლის მიერ მოხმარებული ელექტრული ენერგია? როგორ შევაფასოთ მისი ენერგოეფექტურობა? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებ.

1.10.1 ელექტრული დენის მუშაობა

შენ იცი, რომ ელექტრულ წრედში ენერგიის გარდაქმნა მიმდინარეობს. წრედის გარე უბანზე ელექტრული ველის ენერგია სხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნება: ელექტრულ ძრავებში – მექანიკურ ენერგიად, ვარვარების ნათურაში – სითბოსა და სინათლის ენერგიად, ელექტრულ გამათბობლებში – შინაგან (სითბურ) ენერგიად, რომელიც სითბოცვლის გზით გარემომცველ სხეულებს გადაეცემა, ელექტროლიტებში – ქიმიური რეაქციების ენერგიად.

ყველა იმ შემთხვევაში, როცა ერთი სახის ენერგია სხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნება, სრულდება მუშაობა, რომელიც გარდაქმნილი ენერგიის ტოლია ($\Delta W = A$). ასე რომ, **ელექტრული ენერგიის სხვა სახის ენერგიად გარდაქმნისას ელექტრული ველი მუშაობას ასრულებს**. გამტარში თავისუფალი მუხტების მიმართული მოძრაობისას ელექტრული ველი ასრულებს მუშაობას, რომელსაც **ელექტრული დენის მუშაობა** უწოდებენ.

როგორ გამოითვლება ელექტრული დენის მუშაობა? განვიხილოთ წრედის ერთგვაროვანი უბანი. ვთქვათ, უბნის ბოლოებს შორის ძაბვაა U და უბნის ნებისმიერ განივკვეთში Δt დროის განმავლობაში q მუხტი გადის.

ელექტრული ველი მუხტის გადაადგილებისას შეასრულებს მუშაობას, რომელიც ასე გამოითვლება:

$$A = U q \quad (1.10.1)$$

რადგან $q = I \Delta t$, მივიღებთ, რომ **ელექტრული დენის მუშაობა წრედის ერთგვაროვან უბანზე გამოითვლება ფორმულით:**

$$A = I U \Delta t \quad (1.10.2)$$

რომელშიც

I წრედის ერთგვაროვან უბანში გამავალი დენის ძალაა;

U წრედის უბნის ბოლოებს შორის ძაბვაა;

Δt დროის ის შუალედი, რომლის განმავლობაშიც დენი მუშაობას ასრულებს.

დენის მუშაობა ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) ჯოულებით იზომება:

1.10.2 ფორმულის თანახმად: $1 \text{ ჯ} = 1 \text{ ა} \cdot 1 \text{ ვ} \cdot 1 \text{ წმ}$ ანუ, თუ გამტარში 1 ა დენი გადის, როცა მის ბოლოებს შორის 1 ვ ძაბვაა, მაშინ 1 წმ -ში დენი 1 ჯოულ მუშაობას ასრულებს.

ომის კანონიდან გამომდინარეობს, რომ

$1. I = \frac{U}{R}$; 1.10.2 ფორმულის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ **ელექტრული დენის მუშაობა ასე გამოითვლება:**

$$A = \frac{U^2}{R} \Delta t \quad (1.10.3)$$

2. $U = IR$; 1.10.2 ფორმულის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ **ელექტრული დენის მუშაობა ასე გამოითვლება:**

$$A = I^2 R \Delta t \quad (1.10.4)$$

1.10.1

1.10.2, 1.10.3 და 1.10.4 ეკვივალენტური ფორმულებია და გამოიყენება ამოცანის მოცემული პირობების შესაბამისად. დაფიქრდი: რომელი ფორმულის გამოყენებაა მოსახერხებელი დენის მუშაობის გამოსათვლელად:

1. გამტართა მიმდევრობით შეერთებისას? რატომ?
2. გამტართა პარალელურად შეერთებისას? რატომ?

1.10.2. ელექტრული დენის სიმძლავრე

ელექტრული დენის მუშაობა ველის მხრიდან ამ მუშაობის შესრულებაზე დახარჯული (ან სხვა სახის ენერგიად გარდაქმნილი) ელექტრული ენერგიის ტოლია ($\Delta W = A$). სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, **დენის მუშაობა გვიჩვენებს ელექტრომომხმარებლის მიერ მოხმარებულ/დახარჯულ ელექტრული ენერგიის რაოდენობას.**

ყველა ელექტრომომხმარებელი გათვლილია დროის ერთეულში განსაზღვრული ენერგიის მოხმარებაზე: ელექტრულ დენს არა მარტო შესრულებული მუშაობის სიდიდით ახასიათებენ, არამედ **დენის სიმძლავრითაც.**

დენის სიმძლავრე არის სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს, რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული დენი დროის ერთეულში (რა რაოდენობის ელექტრულ ენერგიას მოიხმარს/ ხარჯავს ელექტრომომხმარებელი).

დენის სიმძლავრე P ასოთი აღინიშნება და გამოითვლება ფორმულით:

$$P = \frac{A}{\Delta t} \quad (1.10.5)$$

რომელშიც A დენის მიერ Δt დროში შესრულებული მუშაობაა.

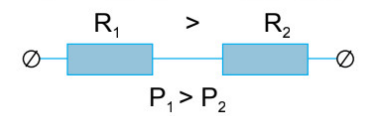
დენის მუშაობის გამოსათვლელი 1.10.2, 1.10.3 და 1.10.4 ფორმულების გათვალისწინებით, მივიღებთ დენის სიმძლავრის გამოსათვლელი ეკვივალენტურ ფორმულებს:

$$P = IU \quad (1.10.6); \quad P = \frac{U^2}{R} \quad (1.10.7); \quad P = I^2 R \quad (1.10.8).$$

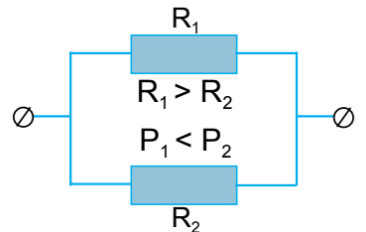
1.10.6, 1.10.7 და 1.10.8 ეკვივალენტური ფორმულებია და მათი გამოყენება მოცემული ამოცანის პირობებში თანაბრად შესაძლებელია. თუმცა ამოცანის პირობიდან გამომდინარე, შესაძლებელია, რომელიმე ერთის გამოყენება უფრო მოსახერხებელი იყოს. ასე მაგ.:

1. რეზისტორთა მიმდევრობითი შეერთებისას ($I_1 = I_2$), $P = I^2 R$ ფორმულიდან უფრო თვალსაჩინოდ ჩანს, რომ მეტი სიმძლავრე იმ რეზისტორზე გამოიყოფა, რომლის წინააღობაც მეტია (სურ. 1.10.2);

2. რეზისტორთა პარალელური შეერთებისას ($U_1 = U_2$), $P = \frac{U^2}{R}$ ფორმულიდან უფრო თვალსაჩინოდ ჩანს, რომ მეტი სიმძლავრე იმ რეზისტორზე გამოიყოფა, რომლის წინააღობაც ნაკლებია (სურ. 1.10.3);



სურ. 1.10.2



სურ. 1.10.3

1.10.6, 1.10.7 და 1.10.8 ფორმულები რეზისტორში გამავალ დენის ძალას, რეზისტორის ბოლოებს შორის ძაბვასა და რეზისტორზე გამოყოფილ სიმძლავრეს ერთმანეთთან აკავშირებს. ეს ურთიერთკავშირი სურათ 1.10.4-ზეა გამოსახული.

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) სიმძლავრის ერთეული 1 ვატი (ვტ, W).

1.10.6 ფორმულის თანახმად: $1 \text{ ვტ} = 1 \text{ ა} \cdot 1 \text{ ვ}$

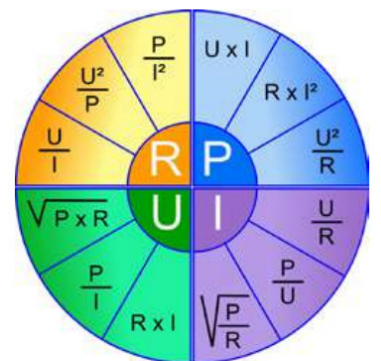
1 ვატი მცირე სიმძლავრეა. ხშირად, პრაქტიკაში სიმძლავრის უფრო დიდი, ვატის ჯერადი ერთეულები გამოიყენება:

1 ჰექტოვატი (ჰვტ) = 10^2 ვტ; 1 კილოვატი (კვტ) = 10^3 ვტ
1 მეგავატი (მგვტ) = 10^6 ვტ; 1 გიგავატი (გვტ) = 10^9 ვტ

ელექტრომომხმარებლების უმრავლესობას კორპუსზე მითითებული აქვს სიმძლავრე და რეკომენდებული ძაბვა (ძაბვა, რომელზედაც მითითებული სიმძლავრე აქვს), რომელიც მის ნორმალურ მუშაობას უზრუნველყოფს.

მაგ., ზოგიერთ ნათურას კოლბაზე აწერია 60 ვტ, 220 ვ, ზოგსაც – 100 ვტ, 220 ვ. (სურ. 1.10.5) ეს ნარწერა ნიშნავს, რომ 220 ვოლტი ძაბვის ქსელში ჩართული:

- ა) I ნათურა 1-წმ-ში 60 ჯ ელექტროენერგიას მოიხმარს;
- ბ) II ნათურა 1-წმ-ში 100 ჯ ელექტროენერგიას მოიხმარს.



სურ. 1.10.4



სურ. 1.10.5

სამოცანა 1.10.1

გამოთვალე 60 და 100-ვატიანი ნათურების წინაღობა (R_1 და R_2), თუ ორივე ნათურისთვის რეკომენდებული ძაბვა 220 ვ-ია.

მითითება: გამოიყენე 1.10.7 ფორმულა.

თუ ყველაფერი სწორად გააკეთე, უნდა მიგელო: $R_1 \approx 807$ ომი, $R_2 = 484$ ომი.

ასე რომ, ერთსა და იმავე ძაბვაზე გათვლილი სხვადასხვა სიმძლავრის ელექტრომომხმარებლების განსხვავებულობის „საიდუმლო“ მათ წინააღობაშია: დიდი სიმძლავრის ელექტრომომხმარებელს ნაკლები წინააღობა აქვს, პატარა სიმძლავრისას კი – დიდი წინააღობა.

სამოცანა 1.10.2

საცხოვრებელ ბინებში ელექტრული სადენები მაქსიმალური 10 ა დენისთვისაა გათვლილი. ჩათვალე, რომ სადენების ბოლოებს შორის ძაბვა 220 ვ-ის ტოლია და გამოთვალე:

1. სადენის სიმძლავრე (P);

2. სადენის მიერ მოხმარებული ელექტრული ენერგია 1 საათის განმავლობაში (ΔW).

თუ ყველაფერი სწორად გააკეთე, უნდა მიგელო:

$P = 2200$ ვტ = 2,2 კვტ; $\Delta W = A = P \Delta t = 7\,920\,000$ ჯ.

თუ 100-ვატიანი ნათურა 1 საათის განმავლობაშია ანთებული, ის მოიხმარს 360 000 ჯ ელექტროენერგიას. როგორც ხედავ, ჯოული ($1 \text{ ჯ} = 1 \text{ ვტ} \cdot \text{წმ}$) საკმაოდ პატარა ერთეულია, ამიტომ მოხმარებული/დახარჯული (თან არაერთი საათის განმავლობაში!) ელექტროენერგიის გაზომვა ჯოულებით საკმაოდ მოუხერხებელია (ეს იგივეა, რომ ქალაქებს შორის მანძილი მილიმეტრებით გავზომოთ).

პრაქტიკაში დახარჯულ ელექტროენერგიას უფრო დიდი ერთეულით, კვტ·სთ-ით, გამოსახვენ: 1 კვტ·სთ არის მუშაობა, რომელსაც 1 კვტ სიმძლავრის დენი 1 სთ-ში ასრულებს; ან

1 კვტ·სთ არის ელექტრომომხმარებლის მიერ 1 სთ-ის განმავლობაში დახარჯული/მოხმარებული ელექტროენერგია, როცა მასში 1 კვტ სიმძლავრის დენი გადის.

ე. ი. $1 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ} = 10^3 \text{ ვტ} \cdot 3600 \text{ წმ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ ჯ}$

დააკვირდი: 1 კვტ·სთ 1 ჯოულს 3 600 000-ჯერ აღემატება!



სურ. 3.10.6

ელექტრომომხმარებლის მიერ მოხმარებულ/დახარჯულ ელექტროენერგიას **ელექტრომრიცხველით** (სურ. 1.10.6) აღრიცხავენ: დენის გავლისას მრიცხველში ალუმინის მსუბუქი დისკო თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვას იწყებს. დისკოს ბრუნვის სიჩქარე მრიცხველში გამავალი დენის ძალისა და ქსელში არსებული ძაბვის პროპორციულია. მოცემულ დროში დისკოს ბრუნვათა რიცხვის მიხედვით, შეგვიძლია, ამ დროში დენის მიერ შესრულებული მუშაობა (მოხმარებული ელექტროენერგია) კვტ·სთ-ებით განვსაზღვროთ.



პროექტი №3: „მონყენილი ყვავილი“ ანუ, დავზოგოთ ელექტროენერგია სახლში

ბრიტანელი დიზაინერის, კარლ სმიტის, კეთილშობილური განზრახვა, ადამიანებს ელექტრული ენერგიის დაზოგვისკენ მოუწოდოს, საფუძვლად დაედო მის მიერ შექმნილი „მონყენილი ყვავილის“ კონცეფციას (სურ. 1). „მონყენილი ყვავილი“ ინტერიერის სამშენის არ გეგნოთ. მისი გარეგნული მომხიბვლელობის მიღმა საკმაოდ სერიოზული მისია იმალება. „მონყენილი ყვავილი“ ერთგვარი ინდიკატორია, რომელიც ბინაში ელექტროენერგიის დანახარჯის რაოდენობაზე რეაგირებს. ყვავილის გვირგვინის ფურცლები ფერს სწორედ ამ დანახარჯის მიხედვით იცვლის და თუ ელექტროენერგიის ხარჯი კრიტიკულ ზღვარს გადასცდება, ყვავილი „მოიწყენს“ და „დაჭკნება“. ასე რომ, ასეთ შემთხვევაში ან უნდა შეზღუდოთ ელექტროენერგიის მოხმარება, ან მოემზადო, რომ შენი ოჯახის ბიუჯეტი შემცირდება (მოძებნე მეტი ინფორმაცია მისამართზე: <http://bitly.ws/sLhZ>



სურ. 1



ყვავილის იდეა კარგია (თუმცა „არ ახალია“...), მაგრამ საწინააღმდეგოა ის სერიულად გამოვა და ყველასთვის ხელმისაწვდომი გახდება, მანამდე ფიზიკა დაგვეხმარება, აღმოვაჩინოთ ყველაზე არაეკონომიური ელექტრული მოწყობილობები სახლში და ვიპოვოთ მარტივი გზები ელექტროენერგიის დასაზოგად.

პროექტის | ნაწილი: ელექტრომომხმარებლების სიმძლავრისა და მათ მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის განსაზღვრა

დავალბა 1.

1. დაათვალიერე ელექტრომრიცხველი და გაარკვიე, როგორ აღირიცხება მისი დახმარებით დახარჯული ელექტროენერგია;
2. გამოთვალე ბინაში ერთი დღის განმავლობაში დახარჯული ელექტროენერგიის სიდიდე და მისი ღირებულება;
3. შეეცადე, მომდევნო დღეს შეამცირო ელექტროენერგიის დანახარჯი: გამორთე ქსელიდან ყველა ის ელექტრომომხმარებელი, რომელთა გამოყენება მოცემულ მომენტში აუცილებელი არ არის (მაგ., თუნდაც რამდენიმე ნათურა, კომპიუტერი, რომელიც ზოგჯერ, მთელი დღის განმავლობაში მომლოდინე რეჟიმშია ჩართული, ტელევიზორი). დღის ბოლოს გამოთვალე ელექტროენერგიის დანახარჯი და მისი საფასური;
4. შეაფასე მთელი თვის განმავლობაში ამგვარად დაზოგილი ელექტროენერგიის ღირებულება და დაფიქრდი, როგორ აისახება ამგვარი ყოველდღიური ექსპერიმენტები შენი ოჯახის ბიუჯეტზე;

როგორ აღმოვაჩინოთ „ვამპირი“ ელექტრომომხმარებლები სახლში? ცხადია, ელექტრომომხმარებლის სიმძლავრე (რომელიც, როგორც წესი, მითითებულია მოწყობილობის ტექნიკურ პასპორტში) პირდაპირი მაჩვენებელია იმისა, თუ რამდენად ენერგოეფექტურია მოცემული მოწყობილობა... მაგრამ როგორ მოვიქცეთ იმ შემთხვევაში, თუ მოწყობილობის ელექტრული სიმძლავრე არ ვიცით და არც მის ტექნიკურ აღწერილობაშია მითითებული?

დავალეზა 2.

ელექტრომრიცხველის დახმარებით შეგიძლია, არა მარტო ცალკეული ელექტრომომხმარებლის მიერ დახარჯული ელექტროენერგია განსაზღვრო, არამედ მისი სიმძლავრეც გამოთვალო.

1. მოიფიქრე და დაგეგმე ექსპერიმენტი, როგორ იზოვი ელექტრომომხმარებლის სიმძლავრეს მრიცხველის დახმარებით.

მითითება: გამოიყენე სიმძლავრის გამოსათვლელი ფორმულა:

$$P = \frac{A}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta t}.$$

2. განსაზღვრე ელექტრომრიცხველის დახმარებით ელექტრომომხმარებლის (მაგ., მაცივრის ან ტელევიზორის) სიმძლავრე და შეადარე ტექნიკურ მონაცემებში მითითებულ სიმძლავრეს.

ვთქვათ, ელექტრომრიცხველი არ გვაქვს და ელექტრომომხმარებლის სიმძლავრე არც მის ტექნიკურ პასპორტშია მითითებული. როგორ ვიპოვით მის სიმძლავრეს? **სიმძლავრის განსაზღვრა შეგიძლია ვატმეტრით** (სურ. 2).

ვატმეტრი სიმძლავრის გამზომი ხელსაწყოა, რომელიც დენის წყაროსა და ელექტრომომხმარებელს შორის ერთგვარი „ხიდივით“ ირთვება და მონყობილობის სიმძლავრეს პირდაპირი გაზომვით განსაზღვრავ.

დავალეზა 3. გაეცანი ვატმეტრის მოხმარების წესს.

გაზომე ელექტრომომხმარებლის (მაგ., მაცივრის ან ტელევიზორის) სიმძლავრე და შეადარე ტექნიკურ მონაცემებში მითითებულ სიმძლავრეს.

მითითებულ მისამართებზე შეგიძლია დამატებით ინფორმაციას გაეცნო, თუ როგორ გამოვთვალოთ ელექტროენერგიის დანახარჯი:

<http://bitly.ws/sLit>

<http://bitly.ws/sLiu>

**დავალეზა 4.**

1. განსაზღვრე სახლში არსებული ელექტრომომხმარებლების სიმძლავრე (ან მოძებნე მათ ტექნიკურ აღწერილობაში);

2. გამოთვალე მათ მიერ **1 თვის განმავლობაში დახარჯული** ელექტროენერგია იმის გათვალისწინებით, თუ რამდენ საათს მუშაობს თითოეული მათგანი ყოველდღიურად;

3. წარმოადგინე პოსტერის სახით (სურ. 3) შენ მიერ გამოკვლეული ელექტრომომხმარებლები, შესაბამისი დანახარჯებით 1 თვის განმავლობაში;

4. გამოავლინე ყველა „ხარბი“ ელექტრომომხმარებელი სახლში და დაფიქრდი, რომელიმე მათგანის „მომსახურებაზე“ უარს ხომ არ იტყობი?

ცხადია, ძნელია, უარი თქვა თანამედროვე ტექნოლოგიის მიღწევებზე და ელექტროტექნიკის გამოყენება შეზღუდო იმ მიზნით, რომ ელექტრული ენერგია დაზოგო. თუმცა აუცილებლად უნდა იცოდე, რომ **ელექტრული ენერგიის დაზოგვა არა მხოლოდ ცალკეული ოჯახების, არამედ ქვეყნის კეთილდღეობაზეც აისახება:** ელექტრული ენერგიის დაზოგვამ შეიძლება თავიდან აგვაშოროს კიდევ ერთი ჰიდრო ან თბოელექტროსადგურის მშენებლობა. ეს არა მარტო ქვეყნის ბიუჯეტს დაზოგავს, არამედ თავიდან აგვარიდებს ისეთ შეუქცევად პროცესებს, რომლებიც გარემოზე არასასურველ გავლენას ახდენს: კაშხლით დაგუბებული მდინარის წყალი ხელოვნური „ზღვა“, რომელიც ძირფესვიანად ცვლის ბუნებას, გამოუსწორებელ ზიანს აყენებს მას. წყლით იტბორება მინდვრები, ტყეები, დასახლებული ადგილები, ილუპება ცხოველები, მცენარეთა სამყარო, იფიტება ნიადაგი. თბოელექტროსადგურები სერიოზულ საფრთხეს უქმნის დედამიწის ატმოსფეროს, ჰიდროსფეროს, ბიოსფეროს და დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობას ემუქრება.



სურ. 2

რამდენ ელექტროენერგიას მოიხმარს საოჯახო ტექნიკა 1 თვეში (კვტ · სთ)



სურ. 3

თბოელექტროსადგურის საკვამლე მილით ატმოსფეროში სანვავის წვის პროდუქტი, ნახშირორჟანგი, გამოიფრქვევა. ნახშირორჟანგი კი ატმოსფეროში ქმნის ფენას, რომელიც მზის გამოსხივების მიმართ გამჭვირვალეა, მაგრამ დედამიწიდან არეკლილ სითბოს კოსმოსურ სივრცეში არ ატარებს. იქმნება სათბურის ეფექტი: დედამიწიდან არეკლილი სითბური ენერგია დედამიწის მახლობლად გროვდება და შედეგად, ჰაერის ტემპერატურა იზრდება. თუმცა, აღსანიშნავია, რომ, თავისთავად, ამგვარი ელექტროსადგურების არსებობა ქვეყნის ენერგოდამოუკიდებლობისათვის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია, მით უფრო მანამ, სანამ ნაკლებსაზიანო ელექტროსადგურები გვექმნება.

ასე რომ, თითოეული ჩვენგანის მოქალაქეობრივი ვალია, დროულად გავიაზროთ ის მოვლენები, რომლებიც შეიძლება ჰქსების მშენებლობას მოჰყვეს და შეძლებისდაგვარად ვიზრუნოთ ელექტროენერგიის ეკონომიურად ხარჯვაზე.

გავეცნოთ რამდენიმე მარტივ წესს, თუ როგორ შეიძლება ჩვენი მოქალაქეობრივი ვალი აღვასრულოთ და დავზოგოთ ელექტროენერგია ისე, რომ ელექტროტექნიკაზე უარი არ ვთქვათ. როგორ ვიზრუნოთ, შეძლებისდაგვარად, ელექტროენერგიის ეკონომიურად ხარჯვაზე:

- ახლავე შეამოწმე ონკანი, მოშლილი ხომ არ არის და წყალი ხომ არ წვეთავს... ასე არა მარტო სასმელი წყლის მარაგს (რომელიც ასევე სასიცოცხლო ნებისმიერი ქვეყნისთვის) დაზოგავ, არამედ ელექტროენერგიასაც: წყალი ხომ, ხშირად, ელექტროტუმბოების საშუალებით მიეწოდება ბინებში...
- ელექტრული ენერგია ბინის გასათბობადაც იხარჯება. დაფიქრდი, რა ზომებს მიმართავ ბინის თბოიზოლაციისთვის – იმისათვის, რომ დაზოგო სითბო, რომლის დიდი ნაწილი ხშირად კარ-ფანჯრიდან „გვეპარება“ და ჰაერში იფანტება?
- შეიძინე ენერგოეფექტური საოჯახო ტექნიკა;
- გამორთე ტელევიზორი, კომპიუტერი ქსელიდან. არ დატოვოთ მომლოდინე რეჟიმში;
- ჩააქრე ნათურები იქ, სადაც არ გჭირდება..

და ა.შ. წესი შეიძლება ძალიან ბევრი იყოს... ზოგი პირდაპირ და ზოგიც არაპირდაპირ უკავშირდებოდეს ელექტრული ენერგიის დაზოგვას, მაგრამ მთავარი წესები არაა, ყველა წესს ვერც ჩამოთვლი. მთავარია, იფიქრო იმაზე, რა მოხდება, როცა მაცივრის კარს ღიას დიდხანს დატოვებ ან მაცივარში ცხელ სადილს შეინახავ... ან გაჯეტების დამტენ სადენებს ქსელში ჩართულს დატოვებ...

დავალბა 5. მოიფიქრე 10 „ოქროს“ წესი: „როგორ დავზოგოთ ელექტრული ენერგია“ და პოსტერის სახით წარმოადგინე.

წარმოადგინე შენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები და წესების ჩამონათვალი პოსტერის სახით.



სურ. 1.11.1

1879 წლის 31 დეკემბერს ამერიკელი გამომგონებლისა და მეწარმის, თომას ედისონის, სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრმა სამი ათასამდე მოწვეულ სტუმარს გრანდიოზული სანახაობა შესთავაზა.

სტუმრები, რომელთა უმრავლესობას მთავრობის წევრები, საქმიანი ადამიანები და ჟურნალისტები წარმოადგენდნენ, არნახული ილუმინაციის მომსწრენი გახდნენ: ცენტრის კუთვნილ ტერიტორიას 700 ელექტრული ნათურა ანათებდა. ნათურები იყო ყველგან: ბილიკების გასწვრივ ჩამწკრივებულ ბოძებზე, ოთახებში, სახელოსნოებსა და ლაბორატორიებში... ღონისძიების დაწყების დროც ძალიან გონივრულად იყო შერჩეული: საღამოს ბინდში მენლო-პარკის (ნიუ ჯერსი, აშშ) მოკრძალებული და არაფრით გამორჩეული დასახლება საახალწლო ნაძვის ხესავით ბრწყინავდა... ემოციების ზღვა ბოხოქრობდა ირგვლივ.

ეს არ იყო მხოლოდ სანახაობისთვის განკუთვნილი საღამო. ედისონმა საზოგადოებას თავის მიერ შექმნილი, მსოფლიოში პირველი სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის მრავალწლიანი მუშაობის შედეგი წარუდგინა: ელექტრული ნათურა – მოწყობილობა (სურ. 1.11.1), რომელშიც სინათლე **დენის სითბური მოქმედების** შედეგად წარმოიქმნება. ნათურის ე.წ. **ვარვარების ძაფი** მასში დენის გავლისას ხურდება, ვარვარდება და ანათებს...

ნათურა თომას ედისონს არ გამოუგონია! ის არც პირველი იყო და არც უკანასკნელი, ვინც ნათურის გამოგონებასა და მისი შემდგომი განვითარების ისტორიაში გარკვეული როლი შეასრულა. ედისონამდე 20-მდე გამოგონება მაინც არსებობდა, რომლებიც დენის სითბური მოქმედების შედეგად წარმოქმნილ ნათებას უკავშირდებოდა. ერთი, რაც ნამდვილად ედისონის (უფრო სწორად კი, მის მიერ შექმნილი სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის მრავალრიცხოვანი თანამშრომლების) დამსახურებაა, არის ის, რომ ყოფაცხოვრებაში ნათურის ფართოდ გამოყენება შესაძლებელი გახდა: ედისონის ნათურა, თავისი წინამორბედებისგან განსხვავებით, ხანგრძლივად, 40 საათის განმავლობაში, ანათებდა (ძველი ნათურების მუშაობის ხანგრძლივობა რამდენიმე წუთით შემოიფარგლებოდა), რის გამოც ის ძალზე მოთხოვნად და კომერციულად მომგებიან პროდუქტად იქცა. ედისონის გუნდმა შეძლო ის, რაც მიუწვდომელი იყო ადრეულ ეტაპებზე ნათურის შექმნაზე მომუშავე მეცნიერებისთვის:

1. მიაგნო ეფექტურ მასალას ვარვარების ძაფის დასამზადებლად: 6000-მდე მასალა გამოსცადეს იმისათვის, რომ ისეთი ძაფი შეექმნათ, რომელიც მაღალ ტემპერატურას უძლებს, არ იშლება და დიდხანს ძლებს. პლატინა, კაუჩუკი, ნავთურის მინაზე გამოლექილი მჭვარტილიც კი გამოიყენეს ძაფის დასამზადებლად, თუმცა მისი ნათების გახანგრძლივება ვერ ხერხდებოდა. საბოლოოდ კი ნახშირის ძაფზე შეჩერდნენ, რომელიც, მოგვიანებით, ბამბუკის ძაფით ჩანაცვლეს.

2. შექმნა მაღალი ვაკუუმი ნათურის მინის კოლბაში, ადრინდელ ნათურებთან შედარებით: ნათურის ვარვარების ძაფი მოთავსებულია კოლბაში, საიდანაც ჰაერია ამოტუმბული, რათა ჟანგბადის ზეგავლენა ძაფზე მინიმუმამდე შემცირდეს და ნათურის მუშაობის დრო გახანგრძლივდეს.

1.11.1. ვარვარების ნათურა

1910 წლიდან ნათურის ვარვარების ძაფის მასალა ვოლფრამით ჩაანაცვლეს და დღემდე, თანამედროვე ნათურებშიც, ვოლფრამი (ძალიან იშვიათად კი – ოსმიუმიც) გამოიყენება. **ვოლფრამი** ძნელად დნობადი და, ამასთან, შედარებით იაფი ლითონია. მისი დნობის ტემპერატურა 3410°C -ს აღწევს.

ნათურის (სურ. 1.10.2) ვარვარების ძაფი (სახურებელი ელემენტი) მასში დენის გავლისას თბება და როცა მისი ტემპერატურა 3000°C -მდე მიაღწევს, გავარვარებული ძაფი კაშკაშა სინათლით ანათებს.

მაღალ ტემპერატურაზე ვოლფრამი სწრაფად **იჟანგება**. ამის გამო ვარვარების ძაფს მინის **ჰერმეტიკულ კოლბაში** ათავსებენ, საიდანაც ჰაერი ამოტუმბული (შეამჩნევდი ალბათ: ზოგჯერ, როცა ნათურის ჰერმეტიკულობა ირღვევა, კოლბის კედლებზე თეთრი ნადები ჩნდება, რაც ვოლფრამის დაჟანგვაზე მიანიშნებს).

ძველი თაობის ნათურებში (ზოგჯერ – თანამედროვე პატარა ნათურებშიც) მხოლოდ ვაკუუმს იყენებდნენ, რათა ძაფი ჟანგბადისგან დაცვათ და ნათურის მუშაობის ვადა გაეხანგრძლივებინათ (გაიხსენე დენდერას „ნათურა“: რამდენად შესაძლებელია, ძველ ეგვიპტელებს ჰქონოდათ ნათურისთვის საჭირო ვაკუუმ-ტუმბო, რომლის შექმნაზე მეცნიერთა არაერთი თაობა მუშაობდა... რომ არაფერი ვთქვათ მინის დამუშავების ტექნოლოგიაზე, დენის წყაროსა და მიმცვანი სადენების აუცილებლობაზე, ვარვარების ძაფის მასალასა და სწორად შერჩეულ წინააღმდეგობაზე... და კიდევ უამრავ დეტალზე, რომელთა გათვალისწინება მნიშვნელოვანია ნათურის შექმნისა და მისი შემდგომი მუშაობისთვის).

თანამედროვე ნათურებში კოლბას ინერტული აირით (არგონით და, იშვიათად, კრიპტონით, ქსენონით) ავსებენ, რომლის წნევა კოლბის შიგნით 70 კპა-ია. ეს აირები გახურებული ძაფიდან ვოლფრამის აორთქლებას ხელს უშლის.

როგორ გრძელდება ვარვარების ნათურის ისტორია? დღეს ზოგიერთ ქვეყანაში ვარვარების ნათურის გამოყენება კანონმდებლობით იზღუდება. ამის მიზეზი მისი ნაკლებად ენერგოეფექტურობაა სხვა, თანამედროვე ნათურებთან შედარებით, რომელთა გამოყენება გაცილებით ეკონომიურია (მოგვიანებით სხვა ტიპის ნათურების მუშაობის პრიციპსაც გავეცნობით). ვარვარების ნათურის, როგორც სინათლის წყაროს, მკვ ძალიან დაბალია: ის მოხმარებული ელექტრული ენერგიის მხოლოდ 5%-ს გარდაქმნის სინათლის ენერგიად! დანარჩენი ენერგია სითბოს სახით გარემოში გამოიყოფა, იკარგება (ანუ, ვარვარების ნათურა უფრო ათბობს, ვიდრე ანათებს)!. სწორედ ამიტომ ზოგჯერ ვარვარების ნათურებს, როგორც სითბური ენერგიის წყაროს, ისე იყენებენ, მაგ., ინკუბატორებში, ლავა-სანათებში (სურ. 1.11.3), საღებავის გასაშრობად და ა.შ.

რატომ თბება დენიანი გამტარი (მაგ., ნათურის ვარვარების ძაფი, ელექტროგამათბობლის სპირალი), როგორ გამოვთვალოთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამტარში დენის გავლისას გამოიყოფა? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებ.



სურ. 1.11.2



სურ. 1.11.3

1.11.2. ჯოულ-ლენსის კანონი

დენის სითბური მოქმედების გამოვლინებას, ანუ **მოვლენას, როცა გამტარში დენის გავლისას გამტარი თბება**, ყოფა-ცხოვრებაში ყოველდღიურად ხვდები: უამრავი ელექტრომონწყობილობის, მაგ., ელექტროქურის, უთოს, თმის საშრობი ფენის, ელექტროჩაიდნის, ელექტროგამათბობლის მუშაობის პრინციპი სწორედ დენის სითბურ მოქმედებას ეფუძნება.

რატომ თბება ლითონის გამტარი მასში დენის გავლისას? ელექტრული ველის მოქმედებით თავისუფალი ელექტრონები მიმართულ მოძრაობას იწყებს და თავისი კინეტიკური ენერგიის ნაწილს კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებულ იონებს გადასცემს (სწორედ ამიტომ ინარჩუნებს დრეიფის სიჩქარეს უცვლელად). შედეგად, იონების სითბური მოძრაობის სიჩქარე და, შესაბამისად, გამტარის შინაგანი ენერგია, იზრდება.

დენიანი გამტარი თბება, სითბოს ნაწილი გარემოს გადაეცემა, ნაწილი კი შესაძლებელია, სინათლის (ე.წ. ხილული სინათლის) ენერგიად გარდაიქმნას.

დენის სითბური მოქმედება 1841 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა ჯეიმს პრესკოტ ჯოულმა აღწერა (სურ. 1.11.4). თითქმის იმავედროულად, 1842 წელს,



სურ. 1.11.4

სურ. 1.11.5

გერმანელმა ფიზიკოსმა ჰენრიხ ფრიდრიხ ემილ ლენცმა (სურ. 1.11.5) გამოაქვეყნა კვლევები, რომელსაც ის ჯოულისგან დამოუკიდებლად ატარებდა, დენის სითბური მოქმედების შესწავლის მიზნით. მათ დაადგინეს კანონი, რომელსაც შემდგომში **ჯოულ-ლენცის კანონი** ეწოდა. **ჯოულ-ლენცის კანონის** თანახმად:

დენიანი გამტარის მიერ გარემოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია დენის ძალის კვადრატის, გამტარის წინააღობისა და დროის იმ შუალედის ნამრავლის, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადის:

$$Q = I^2 R t \quad (1.10.1)$$

ჯოულ-ლენცის კანონიდან ჩანს, რომ **დენიანი გამტარის მიერ გარემოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა პირდაპირპროპორციულია:**

1. გამტარში გამავალი დენის ძალის კვადრატისა, როცა გამტარის წინააღობა და დენის გავლის დრო არ იცვლება;

2. გამტარის წინააღობისა, როცა მასში გამავალი დენის ძალა და დენის გავლის დრო არ იცვლება: რაც მეტია გამტარის წინააღობა, მით მეტი სითბო გამოიყოფა გარემოში (მით მეტია ენერგიის დანაკარგი);

3. დროის იმ შუალედისა, რომელშიც გამტარში დენი გადის, თუ გამტარის წინააღობა და მასში გამავალი დენის ძალა არ იცვლება.

ჯოულ-ლენცის კანონი სამართლიანია არა მარტო ლითონის, არამედ ნებისმიერი გამტარისთვის. ჯოულ-ლენცის კანონით შეგვიძლია გამოვთვალოთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც წრედის ნებისმიერ (როგორც გარე, ისე შიგა) უბანზე გამოიყოფა.

ჯოულ-ლენცის კანონი ექსპერიმენტულადაა დადგენილი და ენერგიის მუდმივობის კანონიდანაც გამომდინარეობს:

დენის მიერ შესრულებული მუშაობა წრედის მოცემულ უბანზე გამოყოფილი ენერგიის ტოლია, ამიტომ თუ ამ უბანზე მექანიკური მუშაობა არ სრულდება და დენი ქიმიურ გარდაქმნებს არ იწვევს, მაშინ ელექტრული დენის მუშაობის ხარჯზე მხოლოდ გამტარის შინაგანი ენერგია იზრდება და გამტარი თბება. სითბო გარემოში გამოიყოფა და გარემომცველ სხეულებს გადაეცემა. **ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, გარემოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა დენის მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლია:**

$$Q = A = I^2 R t \quad (1.10.2)$$

ელექტრული დენის სითბური მოქმედება ფართოდ გამოიყენება ყოფა-ცხოვრებასა და ტექნიკაში. ეს მოვლენა საფუძვლად უდევს ისეთი მოწყობილობების მოქმედებას, როგორებიცაა: ვარვარების ნათურა, უთო, ელექტროჩაიდან, ელექტროგამათბობელი, მაღალტემპერატურული ღუმელი, რომელშიც ლითონებს ადნობენ და ა.შ.

1.11.1

იმ ელექტრომოწყობილობების მთავარი ნაწილი (სახურებელი ელემენტი), რომელთა მუშაობის პრინციპი დენის სითბურ მოქმედებას ეფუძნება, **სპირალია** (სურ. 1.11.6), რომელსაც უმეტეს შემთხვევაში ნიქრომისგან ამზადებენ.

დაფიქრდი:

1. რატომ აქვს სახურებელ ელემენტს სპირალის ფორმა?
2. რატომ ამზადებენ სპირალს ნიქრომისგან, რა უპირატესობა აქვს ნიქრომს სხვა ლითონებთან (მაგ., ალუმინთან, სპილენძთან) შედარებით? **მიუთითება:** გაანალიზე 1.5 ცხრილის მონაცემები (გვ. 38).
3. რატომ ცხელდება დენის გავლისას უთოს სპირალი იმ დროს, როცა უთოს დენის წყაროსთან შემაერთებელი სადენების გათბობა თითქმის შეუმჩნეველია (გაითვალისწინე: უთოს სპირალი და ელექტროსადენები ერთმანეთთან მიმდევრობითაა შეერთებული)?

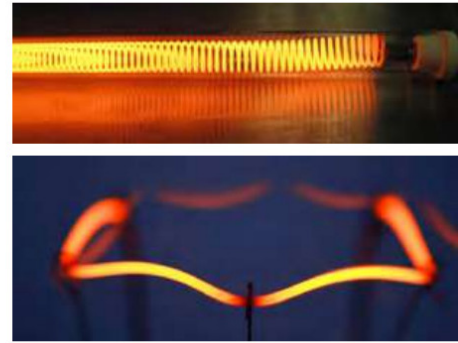
დენის სითბური მოქმედება საფუძვლად უდევს ე. წ. **დნობადი დამცველის** მოქმედებას (სურ. 1.11.7): დამცველი ელექტრულ წრედში მომხმარებელთან მიმდევრობით ირთვება. მისი დანიშნულებაა ელექტრული წრედის ავტომატურად გათიშვა, როცა მასში დასაშვებზე დიდი დენი გაივლის.

დნობადი დამცველის (სურ. 1.11.7) ძირითადი ნაწილი **ადვილად დნობადი** ლითონისგან (მაგ., ტყვიისგან, ვერცხლისგან) დამზადებული მავთულია (1): თუ მასში დასაშვებზე მეტი დენი გაივლის (წყვეტილი ხაზი დენის გზას აჩვენებს), მავთული დნება, მისი მთლიანობა ირღვევა და წრედი ითიშება.

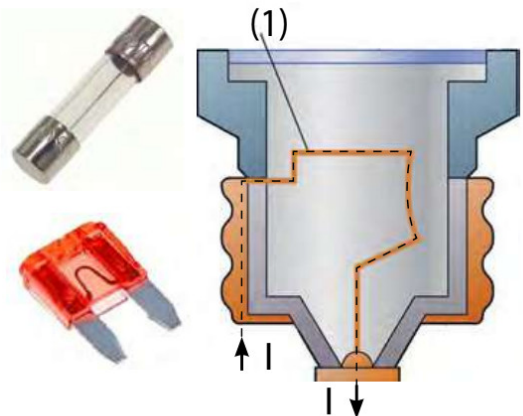
დნობად დამცველს ვარვარების ნათურებშიც იყენებენ (სურ. 1.11.2). ყველაზე ხშირად ნათურა ჩართვის მომენტში იწვება, როცა ვარვარების ძაფი ცივია, მისი წინააღობა მცირეა და ძაფში დიდი დენი გადის. ამ დროს შეიძლება ვოლფრამი მყისიერად გაცხელდეს, დადნეს და განყვეტილი ძაფის გავარვარებულმა ნაწილებმა მინის კოლბა დააზიანოს, რაც, შესაძლოა, ხანძრის მიზეზიც კი გახდეს. დამცველი ნათურაში სწორედ ასეთი დრამატული შედეგების თავიდან აცილებაში გვეხმარება.

დენის სითბური მოქმედება ხშირად არასასურველი და, მეტიც, საზიანოა. ისეთ ელექტრულ მოწყობილობებში, რომლებიც სითბოს მისაღებად განკუთვნილი არ არის (მაგ., სადენებში, ელექტროძრავაში, ტრანსფორმატორში, ელექტრომაგნიტში), დენის გავლის შედეგად გამოყოფილი სითბო მათ მექ-ს ამცირებს, ეფექტურ მუშაობას ხელს უშლის და, შესაძლოა, ავარიული სიტუაციების გამომწვევი მიზეზიც კი გახდეს.

ჯოულ-ლენცის კანონი საშუალებას გვაძლევს, სწორად გავთვალოთ წინასწარ მაგ., სადენების გეომეტრიული ზომები, მასალა, მათში გამავალი დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რათა ენერგიის დანაკარგი მინიმუმამდე შევამციროთ და უსაფრთხოების ნორმები დავიცვათ.



სურ. 1.11.6



სურ. 1.11.7

**ამოცანა 1.12.1**

ერთნაირ U ძაბვაზე გათვლილი ორი, $P_1 = 100$ ვტ-იანი და $P_2 = 200$ ვტ-იანი, ნათურა წრედის იმ უბანზეა ჩართული, რომლის ბოლოებს შორის ძაბვაა U . რისი ტოლია თითოეულ ნათურაში გამოყოფილი სიმძლავრე, თუ ცნობილია, რომ ნათურები
ა) მიმდევრობითაა შეერთებული; ბ) პარალელურადაა შეერთებული.
გამოთვალე თითოეულ შემთხვევაში წრედის უბანში გამოყოფილი მთელი სიმძლავრე.

ამოხსნა:

თითოეული ნათურა U ძაბვაზეა გათვლილი. განსხვავება მათ სიმძლავრეებს შორის მათი სპირალების სხვადასხვა წინააღობათა ხარჯზე მიიღწევა:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{U^2}{P_1} \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{U^2}{P_2} \quad (2)$$

დააკვირდი: თუ ნათურები ერთნაირ ძაბვაზეა გათვლილი, რაც უფრო მეტია ნათურის წინააღობა, მით ნაკლებია მისი ნომინალური სიმძლავრე (გამოიყოფა მაქსიმალური ძაბვის ქვეშ ჩართვისას): $P_2 > P_1 \Rightarrow R_2 < R_1$.

ა) ნათურების მიმდევრობით შეერთებისას (სურ. 1.12.1):

1. ნათურების საერთო წინააღობა ასე გამოითვლება:

$$R = R_1 + R_2 = \frac{U^2}{P_1} + \frac{U^2}{P_2} = \frac{U^2(P_1 + P_2)}{P_1 P_2} \quad (3)$$

2. დენის ძალა წრედში თითოეულ ნათურაში გამავალი დენის ძალის ტოლია:

$$I = I_1 = I_2 = \frac{U}{R} = \frac{P_1 P_2}{U(P_1 + P_2)} \quad (4)$$

3. თითოეულ ნათურაზე გამოიყოფა სიმძლავრე:

$$P'_1 = I^2 R_1 = P_1 \left(\frac{P_2}{P_1 + P_2} \right)^2 = \frac{400}{9} \text{ ვტ} \approx 44,4 \text{ ვტ}$$

$$P'_2 = I^2 R_2 = P_2 \left(\frac{P_1}{P_1 + P_2} \right)^2 = \frac{200}{9} \text{ ვტ} \approx 22,2 \text{ ვტ}$$

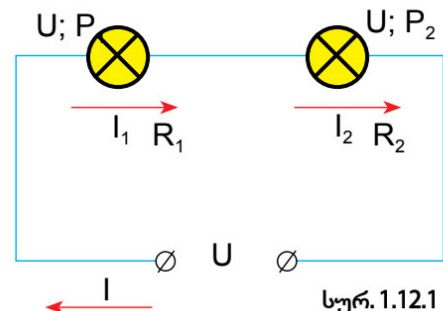
დააკვირდი: ნათურების მიმდევრობითი შეერთებისას, რაც უფრო მეტია ნათურის წინააღობა, მით მეტი სიმძლავრე გამოიყოფა მასზე: $R_1 > R_2$, $P'_1 > P'_2$. ამასთან

$$\frac{P'_1}{P'_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

4. ორივე ნათურაში გამოყოფილი მთელი სიმძლავრე:

$$P_{\text{მთ}} = I^2 R = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} = \frac{200}{3} \text{ ვტ} \approx 66,6 \text{ ვტ}$$

დააკვირდი: წრედის უბანში, რომელშიც ნათურები მიმდევრობითაა შეერთებული, მთლიანად გამოყოფილი სიმძლავრე ცალკეულ ნათურაზე გამოყოფილი სიმძლავრეების ჯამის ტოლია: $P = P'_1 + P'_2$.



ბ) ნათურების პარალელურად შეერთებისას (სურ. 1.12.2):

1. ნათურების საერთო წინაღობა ასე გამოითვლება:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U^2}{P_1 + P_2} \quad (1)$$

2. დაბვა წრედის მთლიანი უბნის ბოლოებს შორის თითოეული ნათურის ბოლოებს შორის დაბვის ტოლია:

$$U = U_1 = U_2 \quad (2)$$

3. თითოეულ ნათურაზე გამოიყოფა სიმძლავრე:

$$P''_1 = \frac{U^2}{R_1} = P_1 = 100 \text{ ვტ}; \quad P''_2 = \frac{U^2}{R_2} = P_2 = 200 \text{ ვტ}$$

დააკვირდი: პარალელური შეერთებისას, რაც უფრო მეტია ნათურის წინაღობა, მით ნაკლები სიმძლავრე გამოიყოფა მასზე: $R_1 > R_2$, $P''_1 < P''_2$, ამასთან

$$\frac{P''_1}{P''_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

4. ორივე ნათურაში გამოყოფილი მთელი სიმძლავრე:

$$P_{\text{პარ}} = \frac{U^2}{R} = P_1 + P_2 = 300 \text{ ვტ};$$

დააკვირდი: წრედის უბანში, რომელშიც ნათურები პარალელურადაა შეერთებული, მთლიანად გამოყოფილი სიმძლავრე ცალკეულ ნათურაზე გამოყოფილი სიმძლავრეების ჯამის ტოლია: $P = P''_1 + P''_2$. ასე რომ,

1. წრედის უბანში მთლიანად გამოყოფილი სიმძლავრე ცალკეულ ელექტრომომხმარებელზე გამოყოფილი სიმძლავრეების ჯამის ტოლია;

2. ელექტრომომხმარებლების პარალელური შეერთებისას წრედის უბანში გამოყოფილი სრული სიმძლავრე აღემატება იმავე მომხმარებლების მიმდევრობითი შეერთებისას გამოყოფილ სიმძლავრეს (თუ უბნის ბოლოებს შორის დაბვა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია):

$$\frac{P_{\text{პარ}}}{P_{\text{მიმ}}} = \frac{(P_1 + P_2)^2}{P_1 P_2}$$

ამოცანა 1.12.2

თუ ელექტროჩაიდნის ორი სპირალიდან თითოეულს ცალ-ცალკე ჩავრთავთ $U = 220$ ვ დაბვის ქსელში, ერთ შემთხვევაში წყალი ჩაიდანში $t_1 = 4$ წთ-ში დუღდება, ხოლო მეორე შემთხვევაში, იმავე რაოდენობის წყალი – $t_2 = 6$ წთ-ში.

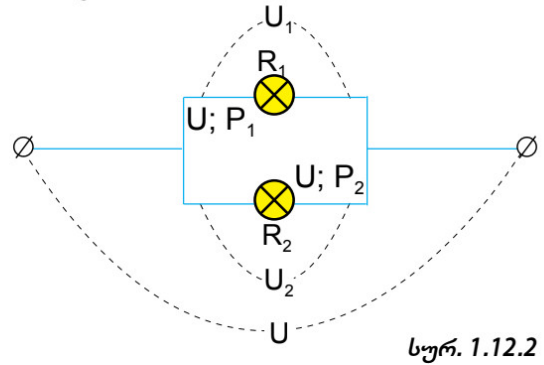
განსაზღვრე, რა დრო დასჭირდება ოთახის ტემპერატურის წყლის ადუღებას, თუ ჩაიდნის სპირალებს ქსელში ერთდროულად ჩავრთავთ:

ა) მიმდევრობით; ბ) პარალელურად.

ჩათვალე, რომ ორივე შემთხვევაში წყლის ერთსა და იმავე რაოდენობას 20-დან 100 °C-მდე აცხელებენ. ენერგიის დანაკარგს ნუ გაითვალისწინებ. ჩაიდნის სითბოტევადობას მხედველობაში ნუ მიიღებ.

ამოხსნა:

I. ამოცანის პირობის თანახმად, სპირალებს სხვადასხვა დრო სჭირდება ერთი და იმავე რაოდენობის წყლის ასადუღებლად. ე. ი. სპირალების წინააღობები განსხვავებულია ($R_1 \neq R_2$).



თუ სპირალები ჩართულია ცალ-ცალკე:

1. თითოეული სპირალის მიერ ჩაიდანში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ჯოულ-ლენსის კანონის თანახმად, ასე გამოითვლება:

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} t_1 \quad (1)$$

$$Q_2 = \frac{U^2}{R_2} t_2 \quad (2)$$

სადაც t_1 და t_2 , შესაბამისად, 1-ლი და მე-2 სპირალის შემთხვევაში წყლის ასადულებლად საჭირო დროა.

2. ერთი და იმავე რაოდენობის წყლის ასადულებლად საჭიროა ერთი და იმავე რაოდენობის სითბო ნებისმიერი სპირალით გათბობისას ანუ, $Q_1 = Q_2$ (3)

ე. ი.
$$\frac{U^2}{R_1} t_1 = \frac{U^2}{R_2} t_2 \quad (4)$$

3. მე-4 გამოსახულების გამარტივების შედეგად მივიღებთ, რომ

$$R_2 = R_1 \frac{t_2}{t_1} = 1,5 R_1 \quad (5)$$

II. სპირალები შეერთებულია მიმდევრობით (სურ. 1.12.3).

1. სპირალების საერთო წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

$$R_3 = R_1 + R_2 = R_1 + 1,5 R_1 = 2,5 R_1 \quad (6)$$

2. სითბო, რომელიც საჭიროა წყლის ასადულებლად, გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_3 = \frac{U^2}{R_3} t_3, \quad (7)$$

სადაც t_3 წყლის ასადულებლად საჭირო დროა იმ შემთხვევაში, როცა სპირალები მიმდევრობითაა შეერთებული.

3. ცხადია, $Q_3 = Q_1 = Q_2$, ამიტომ, მე-7 და 1-ლი ტოლობების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ

$$\frac{U^2}{R_3} t_3 = \frac{U^2}{R_1} t_1 \Rightarrow t_3 = t_1 \frac{R_3}{R_1} = 10 \text{ წთ}$$

III. სპირალები შეერთებულია პარალელურად (სურ. 1.12.4).

1. სპირალების საერთო წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

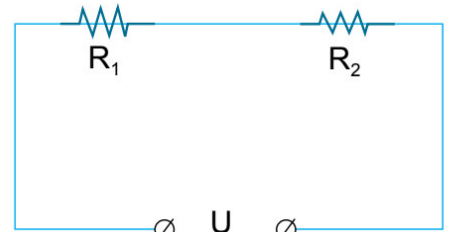
$$R_4 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 0,6 R_1 \quad (8)$$

2. სითბო, რომელიც საჭიროა წყლის ასადულებლად, გამოითვლება ფორმულით:

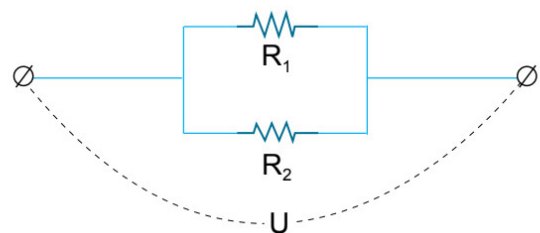
$$Q_4 = \frac{U^2}{R_4} t_4 \quad (9)$$

სადაც t_4 წყლის ასადულებლად საჭირო დროა იმ შემთხვევაში, როცა სპირალები პარალელურადაა შეერთებული.

3. ცხადია, $Q_4 = Q_3 = Q_1 = Q_2$, ამიტომ მე-9 და 1-ლი ტოლობების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ



სურ. 1.12.3



სურ. 1.12.4

$$\frac{U^2}{R_4} t_4 = \frac{U^2}{R_1} t_1 \Rightarrow t_4 = t_1 \frac{R_4}{R_1} = 2,4 \text{ წთ}$$

დააკვირდი: სპირალების პარალელურად შეერთებისას წყალი ნაკლებ დროში ადუღდება, რადგან ამ დროს მეტი სიმძლავრე გამოიყოფა (იხ. ამოცანა 1.12.1-ის შედეგი).

ამოცანის ამოხსნა სხვა ხერხითაც შეიძლება:

1. გამოსახე 1-ლი და მე-2 ტოლობიდან R_1 და R_2 ;
2. შეიტანე R_1 და R_2 მე-7 და მე-9 გამოსახულებებში და მიღებული ტოლობებიდან გამოსახე, შესაბამისად, t_3 და t_4 .

თუ ყველაფერი სწორად გააკეთე, უნდა მიგელო: წყლის ასადუღებლად საჭირო დრო, როცა სპირალები

ა) მიმდევრობითაა შეერთებული, ცალკეული სპირალების შემთხვევაში საჭირო დროების ჯამის ტოლია: $t_3 = t_1 + t_2$

ბ) პარალელურადაა შეერთებული ასე გამოითვლება: $t_4 = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}$

ელექტრომომხმარებლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

გაიხსენე: ტექნიკაში ამა თუ იმ ელექტრული მოწყობილობის მუშაობის ეფექტურობას **მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ)** ახასიათებენ. მარგი ქმედების კოეფიციენტი გვიჩვენებს, მოხმარებული (დახარჯული) მთელი ენერგიის (მუშაობის, სიმძლავრის) რა ნაწილს შეადგენს მოწყობილობაში სასარგებლოდ გარდაქმნილი ენერგია (მუშაობა, სიმძლავრე).

მქკ გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{\Delta W_{\text{სას}}}{\Delta W_{\text{მთ}}} = \frac{A_{\text{სას}}}{A_{\text{მთ}}} = \frac{P_{\text{სას}}}{P_{\text{მთ}}}$$

მქკ-ს ხშირად პროცენტებით გამოსახავენ.

მაგ., ცნობილია, რომ ვარვარების ნათურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი 5%-ია. ეს იმას ნიშნავს, რომ 100-ვატიან ნათურაში (რომელიც მისთვის დასაშვები მაქსიმალური ძაბვის ქვეშაა ჩართული, ანუ **ნომინალურ** რეჟიმში მუშაობს) მხოლოდ 5 ვატი სასარგებლო სიმძლავრე გამოიყოფა (მოხმარებული ელექტროენერგიის მხოლოდ 5% გარდაიქმნება სინათლის ენერგიად), დანარჩენი ენერგია გარემოში სითბოს სახით გამოიყოფა.



ამოცანა 1.12.3

220 ვ ძაბვის ქსელში ჩართული წყლის გამათბობელი 5 ლ წყალს, რომლის ტემპერატურა 20°C-ია, 1 სთ-ში დუღილის ტემპერატურამდე აცხელებს. განსაზღვრე გამათბობლის სპირალში გამავალი დენის ძალა, თუ ცნობილია, რომ მადუღარას მქკ 70%-ია. გამათბობლის სითბოტევადობას მხედველობაში ნუ მიიღებ.

$I = ?$

მოც.:

$$U = 220 \text{ ვ}$$

$$V = 5 \text{ ლ} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ მ}^3$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$\tau = 1 \text{ სთ} = 3600 \text{ წმ}$$

$$\eta = 70 \% = 0,7$$

$$\rho_{\text{წყ}} = 1000 \text{ კგ/მ}^3$$

$$C_{\text{წყ}} = 4200 \text{ ჯ/კგ}^\circ\text{C}$$

ამოხსნა:

შენიშვნა: აღვნიშნოთ დრო τ -თი („ტაუ“), რომელსაც ხშირად იყენებენ ამოცანებში, რათა ტემპერატურის აღნიშვნისგან (t -სგან) განასხვავონ.

1. სასარგებლო სითბო, ანუ სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა $V = 5$ ლ წყლის $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -დან $t_2 = 100^\circ\text{C}$ -მდე (დუღილის ტემპერატურამდე) გასათბობად, გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{\text{სას}} = C_{\text{წყ}} m_{\text{წყ}} (t_2 - t_1) = C_{\text{წყ}} \rho_{\text{წყ}} V (t_2 - t_1)$$

2. სითბოს მთელი რაოდენობა, რომელიც გამათბობლის სპი-

რალში დენის გავლისას გამოიყოფა, ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, გამოითვლება ფორმულით: $Q_{\text{მთ}} = IU\tau$

3. მქკ-ის განსაზღვრიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\eta = \frac{Q_{\text{სას}}}{Q_{\text{მთ}}} = \frac{C_{\text{წყ}} \rho_{\text{წყ}} V (t_2 - t_1)}{IU\tau}$$

საიდანაც შეგვიძლია, დენის ძალა გამოვთვალოთ: $I = \frac{C_{\text{წყ}} \rho_{\text{წყ}} V (t_2 - t_1)}{\eta U\tau} \approx 3 \text{ ა.}$

ელექტრული ენერგიის გადაცემა მაღალი ძაბვის ხაზებით

ელექტრული დენი დიდ მანძილზე, ელექტროსადგურიდან მომხმარებელამდე, ელექტროგადამცემი ხაზების მეშვეობით გადაეცემა.

ის, რომ მცირე მანძილებზე ელექტროენერგიის გადაცემა ძალზე ადვილია, შენთვის ჩატარებული ცდებიდან ან ყოველდღიური გამოცდილებიდანაც ცნობილი: ორი სადენის მეშვეობით ელექტროენერგია დენის წყაროდან ნებისმიერ მომხმარებელამდე შეიძლება მიიყვანო. ელექტროენერგიის დიდ მანძილებზე გადაცემა კი, დენის სითბური მოქმედების გამო, ენერგიის დიდი რაოდენობით კარგვასთანაა დაკავშირებული.



სურ. 1.12.5

ჯოულ-ლენცის კანონიდან ($Q = I^2 R t$) ჩანს, რომ ელექტროგადამცემ ხაზებში ენერგიის დანაკარგის შესამცირებლად ორი გზა არსებობს: ან ელექტროგადამცემი ხაზების წინააღმდეგობა უნდა შემცირდეს, ან მათში გამავალი დენის ძალა.

განვიხილოთ პირველი გზა. გამტარის წინააღმდეგობა ნივთიერების გვარობასა და გამტარის გეომეტრიულ ზომებზეა დამოკიდებული: $R = \rho \frac{l}{S}$.

ელექტროგადამცემი ხაზების წინააღმდეგობის შესამცირებლად საჭიროა:

ა) ხაზები მცირე კუთრი წინააღმდეგობის ნივთიერებისგან დამზადდეს;

ხაზებს სპილენძის ან ალუმინისგან ამზადებენ. მათზე უფრო მცირე კუთრი წინააღმდეგობის მქონე და ხელმისაწვდომი მასალა ბუნებაში იშვიათად გვხვდება.

ბ) ხაზების სიგრძე შემცირდეს;

ხაზების სიგრძე (მანძილი ელექტროსადგურიდან მომხმარებელამდე) მოცემული სიდიდეა და მისი შემცირება შეუძლებელია.

გ) ხაზების განივკვეთის ფართობი გაიზარდოს;

განივკვეთის ფართობის ძალიან გაზრდა მასალების არაეკონომიურ ხარჯვას გამოიწვევს. გარდა ამისა, გაზრდის ხაზების მასას და მათი დამაგრება საყრდენ ანძებზე შეუძლებელი გახდება.

ასე რომ, ენერგიის დანაკარგის შემცირება ელექტროგადამცემი ხაზების წინააღმდეგობის შემცირების ხარჯზე ნაკლებად ეფექტური გზაა.

გავიხილოთ მეორე გზა – ხაზებში გამავალი დენის ძალის შემცირება. ჯოულ-ლენცის კანონიდან ჩანს, რომ ამ დროს გამტარის მიერ გამოყოფილი სითბო დენის ძალის კვადრატის პირდაპირპროპორციულად შემცირდება. მაგრამ როგორ შევამციროთ დენის ძალა ხაზებში ისე, რომ გადასაცემი სიმძლავრე არ შემცირდეს?

თუ P სიმძლავრეა, რომელიც ელექტროსადგურიდან მომხმარებელს გადაეცემა, ხოლო U ძაბვაა ელექტროგადამცემ ხაზებს შორის დასაწყისში (ელექტროსადგურთან), მაშინ I დენის ძალა ელექტროგადამცემ ხაზებში ასე გამოითვლება:

$$I = \frac{P}{U}$$

გადასაცემი სიმძლავრე (P) მოცემული, უცვლელი სიდიდეა და მხოლოდ ელექტროსადგურის მახასიათებლებით განისაზღვრება. ჩანს, რომ უცვლელი სიმძლავრის შემთხვევაში ელექტროგადამცემ ხაზებში დენის ძალის შემცირება შესაძლებელია ძაბვის გაზრდის ხარჯზე და, რაც უფრო დიდია ძაბვა, მით უფრო ნაკლებია ხაზებში დენის ძალა, შესაბამისად, მით მცირეა ენერგიის დანაკარგი.

თუ ძაბვას ელექტროსადგურის გამოსასვლელზე 20 კვ-დან 500 კვ-მდე, ანუ 25-ჯერ, გავზრდით, დენის ძალა იმდენჯერვე შემცირდება, ისე რომ გადასაცემი სიმძლავრე არ შეიცვლება. ენერგიის დანაკარგი კი ელექტროგადამცემ ხაზებში, ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, 25²-ჯერ, ანუ 625-ჯერ შემცირდება.



ამოცანა 1.12. 4

გამოთვალე სიმძლავრე, რომელიც ელექტროგადამცემ ხაზებში იკარგება, თუ ცნობილია, რომ

- ა) ელექტროსადგურიდან მომხმარებელს P სიმძლავრე ℓ მანძილზე გადაეცემა;
- ბ) ელექტროგადამცემი ხაზების განივკვეთის ფართობია S , ხოლო კუთრი წინააღობა ρ ;
- გ) დასაწყისში (სადგურთან) ელექტროგადამცემ ხაზებს შორის ძაბვაა U .

ამოხსნა:

ვთქვათ, P სიმძლავრეა, რომელიც ელექტროსადგურიდან მომხმარებელს გადაეცემა, ხოლო P_1 – სიმძლავრე, რომელიც ელექტროგადამცემ ხაზებში იკარგება.

1. სიმძლავრე (P), რომელიც მომხმარებელს გადაეცემა, გამოითვლება ფორმულით:

$$P = IU \quad (1)$$

სადაც U ძაბვაა ელექტროგადამცემ ხაზებს შორის დასაწყისში (სადგურთან), ხოლო I – დენის ძალა ხაზებში.

2. P_1 სიმძლავრე, რომელიც ელექტროგადამცემ ხაზებში იკარგება, გამოითვლება ფორმულით:

$$P_1 = I^2 R \quad (2)$$

სადაც R ელექტროგადამცემი ხაზების წინააღობაა, ხოლო I – ხაზებში გამავალი დენის ძალა.

3. თუ 1-ლიდან დენის ძალას გამოვსახავთ და მე-2-ში შევიტანთ, მივიღებთ, რომ

$$P_1 = \left(\frac{P}{U}\right)^2 R \quad (3)$$

4. იმის გათვალისწინებით, რომ ელექტრული ენერგია ორი ხაზით გადაეცემა მანძილზე, ხაზების სრული წინააღობა გამოითვლება ფორმულით:

$$R = \rho \frac{2\ell}{S}. \quad (4)$$

5. მე-4-ს გათვალისწინებით, მე-3-დან მივიღებთ, რომ სიმძლავრე, რომელიც ელექტროგადამცემ ხაზებში იკარგება, ასე გამოითვლება:

$$P_1 = \frac{2\rho\ell}{S} \left(\frac{P}{U}\right)^2 \quad (5)$$

დააკვირდი მე-5 ფორმულას:

- ა) რაც უფრო მეტია გადასაცემი სიმძლავრე, მით მეტია სიმძლავრის დანაკარგი.
- ბ) რაც უფრო მაღალია ძაბვა, მით უფრო მცირდება ენერგიის დანაკარგი.



სურ. 1.13.1

2019 წელს, საახალწლოდ, ტენესის (ჩატანუგა, ტენესის შტატი) აკვარიუმის ბინადარმა მიგელ უოტსონმა მნახველებს უჩვეულო სიურპრიზი შესთავაზა: მისი დახმარებით, საახალწლო ნაძვის ხის მბუტავი ნათურები პერიოდულად კაშკაშა სინათლით ანათებდა. ამაში უჩვეულო თითქოს არაფერია, მაგრამ... მიგელ უოტსონი, არც მეტი, არც ნაკლები, გველთევზაა (სურ. 1.13.1), ელექტრული გველთევზა, რომელიც პერიოდულად განმუხტვის „ხასიათზე“ დგება და ამ დროს ელექტრულ დენს წარმოქმნის...

ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/sL2y>



300-ზე მეტი სახეობის თევზია ცნობილი, რომელთაც ელექტრული დენის გენერირება (წარმოქმნა) შეუძლიათ. ელექტრულ დენს ისინი სხვადასხვა მიზნისთვის იყენებენ: თავდასხმის (საკვების მოპოვების), თავდაცვის, მღვრიე წყალში ორიენტირებისა და ერთმანეთთან ურთიერთობისთვის. ელექტრული თევზებისა და მათი უცნაური ძალის შესახებ ჯერ კიდევ ძველ საბრძნეთში, ეგვიპტესა და რომში იცოდნენ: ცნობილია, რომ რომის იმპერატორს, ნერონს, კარის ექიმები სწორედ მათი დახმარებით მკურნალობდნენ.

ელექტრული დენის წარმოქმნის უნარი აქვთ როგორც ზღვის, ისე მტკნარი წყლის ბინადარ თევზებს. ამასთან, ამ უკანასკნელთა მიერ გენერირებული დენი უფრო ძლიერია (მტკნარი წყალი ცუდი გამტარია და მისი წინააღმდეგობა მეტი ენერგიაა საჭირო).

ელექტრული თევზების ერთ-ერთი ყველაზე „მრისხანე“ წარმომადგენელია მტკნარი წყლის **ელექტრული გველთევზა**, რომელიც სამხრეთ ამერიკის მდინარეებში ბინადრობს.

ზრდასრულ გველთევზას ერთი საათის განმავლობაში 150-ჯერ შეუძლია განმუხტვა, რა დროსაც ძაბვა 500 ვ-ს (ზოგ შემთხვევაში კი 800 ვ-ს), ხოლო დენის ძალა – 1-2 ა-ს აღწევს.

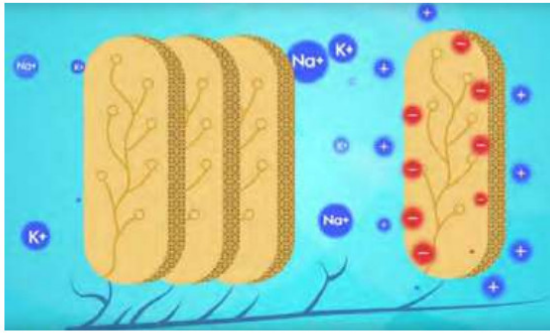
ელექტრული ორგანოები, რომლებშიც ელექტრული ენერგია წარმოიქმნება, გველთევზას სხეულის 80%-ს იკავებს. ელექტრული ორგანოები ასიათასობით **ელექტროციტისგან** შედგება. ელექტროციტები ფირფიტისებრი უჯრედებია (სურ. 1.13.2), რომლებიც ერთმანეთთან ნერვული ბოჭკოებით **მიმდევრობითაა შეერთებული**. ელექტროციტებს შორის ერთგვარი იონური „ტუმბო“ მოქმედებს: ის უჯრედებიდან ნატრიუმისა და კალიუმის დადებით იონებს „ამოტუმბავს“. შედეგად, უჯრედის გარეთ დადებითი მუხტი გროვდება, შიგნით კი – უარყოფითი (სურ. 1.13.2)

მიმდევრობით შეერთებული ელექტროციტები „სვეტებს“ ქმნის, რომლებიც ერთმანეთთან **პარალელურადაა შეერთებული** (დაიმახსოვრე ეს ფაქტი. ის პირველი გალვანური ელემენტის შექმნის საფუძველი გახდა).

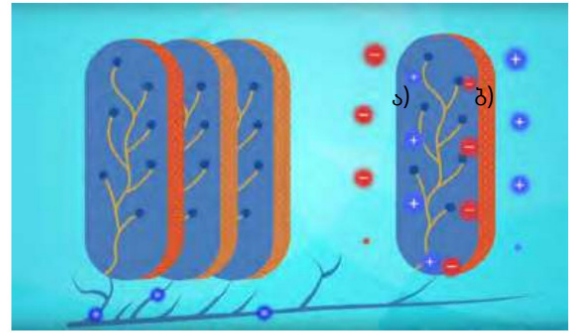
როგორ მუშაობს ელექტრული ორგანოები? როცა თევზი საფრთხეს გრძნობს, სიგნალი თევზის ტვინიდან, ნერვული სისტემის გავლით, ელექტრულ ორგანოს ეგზავნება. როცა ელექტრული ორგანო სიგნალს მიიღებს, მის უჯრედებს შორის იონური „ტუმბო“ მუშაობის „სტილს“ იცვლის: დადებით იონებს კვლავ უჯრედის შიგნით აბრუნებს.

ამ დროს უჯრედის

ა) ერთი მხარე შიგნიდან დადებითად იმუხტება, გარედან კი – უარყოფითად (სურ. 1.13.3 ა);



სურ. 1.13.2



სურ. 1.13.3

ბ) მეორე მხარე შიგნიდან უარყოფითად იმუხტება, გარედან კი – დადებითად (სურ. 1.13.3 ბ).

შედეგად, თითოეულ უჯრედში დაახლოებით 70 მკ პოტენციალთა სხვაობა აღიძვრება. ტვინიდან წამოსული სიგნალი ერთდროულად ასიათასობით მიმდევრობით შეერთებულ ელექტროციტს ეგზავნება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ელექტრული ორგანოები ერთგვარ ბიოლოგიურ აკუმულატორებად იქცევა, რომელთა დადებით და უარყოფით პოლუსებს შორის საკმაოდ დიდი პოტენციალთა სხვაობა აღიძვრება. **გაიგე უფრო** მეტი ელექტრულ თევზებზე: <http://bitly.ws/sNDc>



თევზების ელექტრული ბუნების შესწავლა მომხიბვლელ პერსპექტივებს ქმნის სამეცნიერო კვლევებისთვის. ამ სფეროში ჯერ კიდევ ბევრია პასუხგაუცემელი კითხვა. მაგ., რატომ არ კლავს გველთევზას თავისივე წარმოქმნილი დენი? ეს ის კითხვაა, რომელზედაც უამრავი ჰიპოთეზა არსებობს (მაგ., ზოგიერთი მეცნიერი თვლის, რომ ეს მისი დიდი შიდა წინააღმდეგობის დამსახურებაა), მაგრამ კვლევებით დადასტურებული პასუხი – არა.

ჰიპოთეზებიდან მეცნიერულად დადასტურებულ თეორიამდე მისვლაში, იხტიოლოგებსა და ფიზიოლოგებს ფიზიკა ეხმარება.

უამრავი კვლევა არსებობს, რომლებშიც გველთევზებს, როგორც ელექტრული დენის გენერატორებს (დენის წყაროებს) ისე განიხილავენ და დენის წყაროებისთვის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების მიხედვით იკვლევენ. მაგ., იკვლევენ შიდა და გარე ფაქტორებს, რომლებიც გავლენას ახდენს გველთევზას მიერ წარმოქმნილ დენის ძალაზე, გველთევზას, როგორც დენის წყაროს, ელექტრომაგნიტურ ძალას, მის შიგნით წინააღმდეგობას და ა.შ. იმას, თუ რა არის ან **დენის წყაროს ელექტრომაგნიტური ძალა** და რა გავლენას ახდენს **შიგნითი წინააღმდეგობა** დენის წყაროს მიერ გენერირებულ დენზე, ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებ.

1.13.1 დენის წყაროს ელექტრომაგნიტური ძალა

გაიხსენე: **დენის წყარო** არის მოწყობილობა, რომელსაც გამტარში დენის ხანგრძლივად შენარჩუნებისთვის იყენებენ.

დენის წყაროში გარე (არაელექტრული) ძალების მოქმედებით მუხტი ელექტროსტატიკური ველის მხრიდან მოქმედი ძალის საპირისპიროდ გადაადგილდება: დადებითი და უარყოფითი მუხტები გაცალკევდება და დენის წყაროს პოლუსებზე (შესაბამისად, დადებით და უარყოფით პოლუსებზე) გროვდება.

თუ დენის წყაროს წრედში ჩავრთავთ, წრედის შეკვრისას ელექტრული ველი წრედის ყველა უბანში შეიქმნება: წყაროს შიგნით, **შიგნითი წრედში**, მუხტები, გარე ძალების გავლენით, კულონური ძალების საპირისპიროდ მოძრაობს, **გარე წრედში** კი მუხტები ელექტრული ველის მოქმედებით გადაადგილდება (სურ. 1.13.5).

გარე ძალები მუხტის გადაადგილებისას (გაცალკევებისას) დენის წყაროს პოლუსებს შორის მუშაობას ასრულებს: რაც უფრო მეტი მუხტი გადაადგილდება წყაროს შიგნით

გარე ძალების მოქმედებით, მით მეტია გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა ($A_{\text{გარე}}$).

განსხვავებულ დენის წყაროებში სხვადასხვა ბუნების გარე ძალები მოქმედებს (გალვანურ ელემენტში – ქიმიური ძალები, ელექტროფორულ მანქანაში – მექანიკური და ა.შ.).

გარე ძალების მიერ წყაროს შიგნით მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობის ($A_{\text{გარე}}$) შეფარდება მუხტთან (q) მოცემული დენის წყაროსთვის მუდმივი სიდიდეა (დენის განსხვავებული წყაროებისთვის კი სხვადასხვაა), ამიტომ $\frac{A_{\text{გარე}}}{q}$ შეფარდებას მოცემული დენის წყაროს მახასიათებლად იყენებენ. მას დენის წყაროს **ელექტრომამოძრავებელი ძალა** ჰქვია (შემოკლებით, **ემძ**) და $\mathcal{E}$ -ით აღინიშნება.

ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ) ასე გამოითვლება

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{გარე}}}{q}, \quad (1.13.1)$$

სადაც $A_{\text{გარე}}$ გარე ძალების მიერ დენის წყაროს შიგნით q მუხტის გადაადგილებაზე (გაცალკევებაზე) შესრულებული მუშაობაა.

ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ) ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად იმ მუშაობას გვიჩვენებს, რომელსაც გარე ძალები დენის წყაროს შიგნით უარყოფითიდან დადებით პოლუსზე ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადატანისას ასრულებს.

1.13.2 გარე ძალების მუშაობა

რა კავშირშია ემძ გარე წრედში მიმდინარე მოვლენებთან (მაგ., ნათურის ნათებასთან)? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ მარტივი ჩაკეტილი (შეკრული) წრედი (1.13.4), რომელიც შედგება დენის წყაროსა და წინააღობისგან (მაგ., დენის წყაროსთან მიერთებული ნათურისგან).

ჩაკეტილ წრედში (სურ. 1.13.5) მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული სრული მუშაობა ($A_{\text{სრ}}$) ასე გამოითვლება:

$$A_{\text{სრ}} = A_{1 \rightarrow 2} + A_{2 \rightarrow 1} + A_{\text{გარე}} \quad (1.13.2)$$

სადაც,

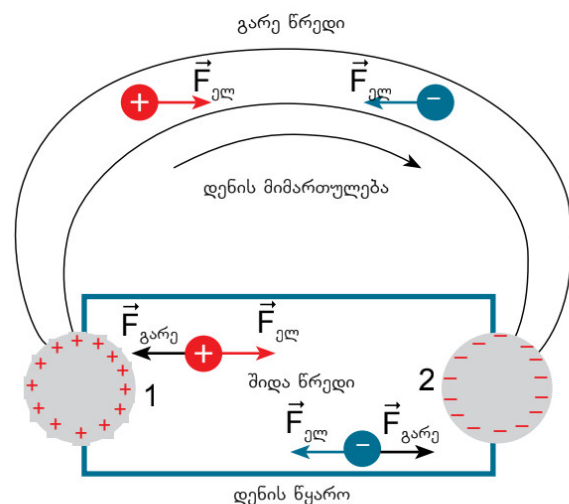
- $A_{1 \rightarrow 2}$ მუშაობაა, რომელსაც დენის წყაროს პოლუსებს შორის აღძრული ელექტროსტატიკური ველის მხრიდან მოქმედი **ელექტრული ძალა შიგნით მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს;**
- $A_{2 \rightarrow 1}$ მუშაობაა, რომელსაც დენის წყაროს პოლუსებს შორის აღძრული ელექტროსტატიკური ველის მხრიდან მოქმედი **ელექტრული ძალა გარე წრედში მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს;**
- $A_{\text{გარე}}$ მუშაობაა, რომელსაც **გარე ძალები შიგნით მუხტის წყაროს პოლუსებს შორის მუხტის გადაადგილებაზე ასრულებს** (გარე ძალები გარე წრედში არ მოქმედებს. შესაბამისად, ისინი გარე წრედში მუშაობას არ ასრულებს).

იმის გათვალისწინებით, რომ ელექტროსტატიკური ველის მიერ შესრულებული მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია ($A_{1 \rightarrow 2} + A_{2 \rightarrow 1} = 0$), 1.13.2 ტოლობიდან მივიღებთ, რომ

$$A_{\text{სრ}} = A_{\text{გარე}} \quad (1.13.3)$$



სურ. 1.13.4



სურ. 1.13.5

ასე რომ, 1.13.3 ტოლობის თანახმად, ჩაკეტილ წრედში მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული სრული მუშაობა ($A_{\text{სრ}}$) გარე ძალების მუშაობის ტოლია. რაც იმას ნიშნავს, რომ

1. გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე ხდება მუხტის გადაადგილება გარე წრედში: სწორედ გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე ანათებს ნათურა, ბრუნავს გენერატორის ტურბინა და ა.შ.

2. გარე ძალების მუშაობის ხარჯზე ივსება მუხტის გადამტანების ენერგიის დანაკარგი ჩაკეტილ წრედში გადაადგილებისას (თავისუფალი მუხტების წრედში გადაადგილებას თან სდევს ენერგიის კარგვა სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედების შედეგად).

გავყოთ 1.13.3 ტოლობის ორივე მხარე იმ q მუხტზე, რომელიც ჩაკეტილ წრედში გადაადგილდება. მივიღებთ, რომ

$$\frac{A_{\text{სრ}}}{q} = \frac{A_{\text{გარე}}}{q} = \varepsilon \quad (1.13.4)$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ დენის წყაროს ელექტრომაგნიტური ძალა არის გარე ძალების მიერ ჩაკეტილ წრედში მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობის შეფარდება ამ მუხტთან:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{გარე}}}{q} \quad (1.13.5)$$

1.13.5 ფორმულიდან ჩანს, რომ ემძ, ისევე როგორც პოტენციალთა სხვაობა, SI-ში ვოლტებით იზომება:

$$[\varepsilon]_{\text{SI}} = 1 \text{ ვ/კ} = 1 \text{ ვ;}$$

თუმცა გარე ძალების მუშაობა პოტენციალთა სხვაობით არ გამოისახება, რადგან გარე ძალები პოტენციალური არ არის: მათი მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე, კულონური ძალებისგან განსხვავებით, ნულის ტოლი არ არის.

გაითვალისწინე: ელექტრომაგნიტური ძალა (ემძ) ძალა არ არის! ეს ტერმინი დიდი ხნის წინათაა დამკვიდრებული და, მიუხედავად ამ შეუსაბამობისა, დღესაც გამოიყენება (ისევე როგორც ცხენის ძალა, რომელიც სიმძლავრეს გვიჩვენებს და არა ძალას).

სხვადასხვა დენის წყაროს განსხვავებული ემძ აქვს. მაგ., ზოგიერთი გალვანური ელემენტის ემძ დაახლოებით 1 ვ-ის ტოლია, ტყვიის აკუმულატორისა – 2 ვ, ელექტრული დენის გენერატორებში კი ემძ 15 კვ-ს აღწევს.

1.13.3. ომის კანონი ჩაკეტილი წრედისათვის

ჩაკეტილი წრედი ორი – გარე და შიგა უბნისგან შედგება (გაიხსენე: წრედის გარე უბანს შემაერთებული სადენები და ელექტროხელსაწყოები ქმნის, ხოლო წრედის შიგა უბანი დენის წყაროშია).

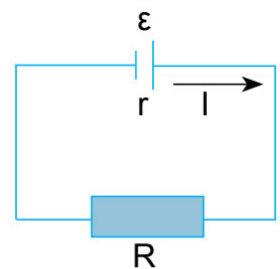
ელექტრული წრედის თითოეულ უბანს თავისი წინალობა აქვს. წრედის გარე უბნის წინალობას **გარე წინალობა** (R) ჰქვია. შიგა უბნის ანუ, დენის წყაროს წინალობას კი – **შიგა წინალობა** (r). მაგ., გალვანურ ელემენტში შიგა წინალობა (r) ელექტროლიტის ხსნარის წინალობაა.

განვიხილოთ უმარტივესი ჩაკეტილი წრედი (სურ. 1.13.6), რომელსაც ქმნის დენის წყარო (რომლის შიგა წინალობაა r) და R წინალობის მქონე რეზისტორი (დატვირთვა).

წრედში დენის გავლისას სითბო არა მარტო წრედის გარე უბანზე გამოიყოფა, არამედ შიგა უბანზეც (თუ გალვანურ ელემენტს ნათურას მიუერთებ, ცოტა ხანში შეამჩნევ, რომ ელემენტი გათბება).

ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, ჩაკეტილ წრედში (გარე და შიგა წინალობაში) დენის გავლისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ასე გამოითვლება:

$$Q = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t \quad (1.13.6)$$



სურ. 1.13.6

გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე ხდება ენერგიის იმ დანაკარგის კომპენსირება, რომელიც ჩაკეტილ წრედში დენის გავლას თან ახლავს. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, თუ გარე წრედში ქიმიური გარდაქმნა არ ხდება და მექანიკური მუშაობა არ სრულდება, გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ჩაკეტილ წრედში გარე ძალების მიერ q მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობის ტოლია:

$$A_{\text{გარე}} = Q \quad (1.13.7)$$

1.13.5, 1.13.6 და 1.13.7 ტოლობების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ:

$$\varepsilon q = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t$$

რადგან $q = I \Delta t$, გამარტივების შედეგად მივიღებთ:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (1.13.8)$$

წრედის უბანში გამავალი დენის ძალის ნამრავლს უბნის წინააღობაზე ხშირად ამ უბანზე ძაბვის ვარდნას უწოდებენ. ასე რომ, 1.13.8 გამოსახულების თანახმად, დენის წყაროს ემძ წრედის შიგა და გარე უბნებზე ძაბვის ვარდნათა ჯამის ტოლია:

$$\varepsilon = IR + Ir$$

3.13.8 ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ დენის ძალა ჩაკეტილ წრედში ასე გამოითვლება:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (1.13.9)$$

1.13.9 ტოლობა გამოსახავს ომის კანონს ჩაკეტილი წრედისთვის:

დენის ძალა ჩაკეტილ წრედში პირდაპირპროპორციულია დენის წყაროს ემძ-ისა და უკუპროპორციულია წრედის შიგა და გარე წინააღობათა ჯამისა (ანუ, წრედის სრული წინააღობისა).

1.13.4. მოკლე ჩართვა

ჩაკეტილი წრედისთვის, ომის კანონის თანახმად, დენის ძალა წრედში დამოკიდებულია დენის წყაროს ემძ-ზე, წრედის გარე და შიგა წინააღობაზე.

1. ვთქვათ, შიგა წინააღობა გარე წინააღობასთან შედარებით ძალიან მცირეა ($r \ll R$).

მაშინ გამოდის, რომ

$$\varepsilon = IR + Ir \approx IR = U \quad \text{ანუ, } \varepsilon \approx U,$$

სადაც U ძაბვის ვარდნაა გარე R წინააღობაზე (დატვირთვაზე).

ასე რომ, თუ ვოლტმეტრს დენის წყაროს მომჭერებს პირდაპირ მიუერთებ, შენ შეძლებ, მიახლოებით გაზომო დენის წყაროს ემძ (ვოლტმეტრის წინააღობა დენის წყაროს შიგა წინააღობასთან შედარებით გაცილებით დიდია).

თუ გარე წრედის წინააღობა ($R \rightarrow \infty$) ძალიან დიდია, დენის წყაროს პოლუსებზე ძაბვა დენის წყაროს ემძ-ს ტოლია:

$$\varepsilon = U$$

ამგვარი სიტუაცია მაშინ იქმნება, როცა დენის წყაროსთან გარე წინააღობა (დატვირთვა) მიერთებული არ არის (წყაროს პოლუსებს შორის ჰაერის გაუმტარი ფენაა).

2. თუ წრედის გარე წინააღობა ძალიან მცირეა ($R \rightarrow 0$), მაშინ დენის ძალა, 1.13.9 ტოლობის თანახმად, ჩაკეტილ წრედში ასე გამოითვლება:

$$I = \frac{\varepsilon}{r} \quad (1.13.10)$$

ასეთ დროს დენი წრედში ძალიან იზრდება. ამ მოვლენას მოკლე ჩართვა ჰქვია (ასე უწოდებენ მცირე წინააღობის მქონე მოკლე გამტარით გარე წრედის ორი წერტილის შეერთებას მაშინ, როცა წრედში დენი გადის).

მოკლე ჩართვისას დენის სიდიდე წრედში არა მხოლოდ დენის წყაროს ემძ-თი განისაზღვრება, არამედ შიგა წინააღობითაც: მაგ., ტყვიის აკუმულატორში შიგა წინააღობა მცირეა

($r \approx 0,1 - 0,001$ ომი, $\varepsilon = 2$ ვ) და დენი მოკლე ჩართვისას $20 - 200$ ამპერამდე იზრდება. ასეთმა დენმა შეიძლება აკუმულატორის დადნობა გამოიწვიოს.

გალვანური ელემენტის შიგა წინააღობა კი შედარებით დიდია, ამიტომ მოკლე ჩართვის დენი გალვანურ ელემენტებში მცირეა და სახიფათო არ არის.

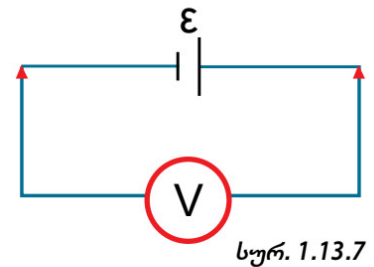
მოკლე ჩართვა განსაკუთრებით სახიფათოა განათების ქსელში, რომელიც ელექტრულ ქვესადგურებთანაა მიერთებული. ქვესადგურების შიგა წინააღობა მნიშვნელოვნად მცირეა, ხოლო ემძ – დიდი (100 ვ-ზე მაღალი), ამიტომ მოკლე ჩართვისას დენი განათების ქსელში 1000 ამპერამდე შეიძლება გაიზარდოს. გამოყოფილმა სითბომ შეიძლება სადენები გააღნოს და ხანძარი გაჩნდეს. მოკლე ჩართვა შეიძლება მოხდეს გამტართა იზოლაციის დარღვევისას, თუ გაშიშვლებული სადენები ერთმანეთს შეეხება. მოკლე ჩართვის თავიდან ასაცილებლად დნობად დამცველებს იყენებენ.

1.13.5. დენის წყაროს ემძ-ის ექსპერიმენტული განსაზღვრა

ამოცანა 1.13.1

იმისათვის, რომ დენის წყაროს ემძ ექსპერიმენტულად მიახლოებით განსაზღვრო, ვოლტმეტრი დენის წყაროს პოლუსებს პირდაპირ უნდა მიუერთო (სურ. 1.13.7).

განსაზღვრე, რა ცდომილება ექნება ამგვარი გაზომვის შედეგს, თუ ცნობილია, რომ ვოლტმეტრის ჩვენება 4 ვოლტია, დენის წყაროს შიგა წინააღობა $r = 5$ ომი, ვოლტმეტრის წინააღობა კი $R_V = 2000$ ომი.



1. დენის წყაროსთან პირდაპირ მიერთებული ვოლტმეტრი საკუთარ მომჭერებს შორის ძაბვას (U_V) ზომავს. წრედის უბნისთვის, ომის კანონის თანახმად, $U_V = IR_V$, სადაც I ვოლტმეტრში გამავალი დენის ძალაა. ანუ,

$$I = \frac{U_V}{R_V} \quad (1)$$

2. ჩაკეტილი წრედისთვის ომის კანონის თანახმად დენის ძალა წრედში ასე გამოითვლება:

$$\varepsilon = I(r + R_V) = Ir + IR_V = Ir + U_V \quad (2)$$

3. 1-ლის გათვალისწინებით მე-2 დან მივიღებთ, რომ

$$\varepsilon = I(r + R_V) = \frac{U_V}{R_V}(r + R_V) = \frac{4 \text{ ვ}}{2000 \text{ ომი}} (5 \text{ ომი} + 2000 \text{ ომი}) = 4,01 \text{ ვ.}$$

ასე რომ, დენის წყაროსთან პირდაპირ მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენება (4 ვ) ნაკლებია დენის წყაროს ემძ-ზე.

4. გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება ასე გამოითვლება: $\Delta \varepsilon = \varepsilon - U_V = 0,01$ ვ; გაზომვის ფარდობითი ცდომილება კი ასე გამოითვლება:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{0,01}{4,01} \approx 0,0025 = 0,25 \%$$

1.14.1. ომის კანონი ჩაკეტილი წრედისთვის

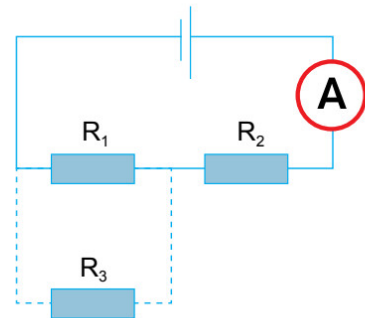
ამოცანა 1.14.1



დენის წყაროსთან, რომლის ემძ $\mathcal{E} = 6$ ვ, ხოლო შიგა წინაღობა $r = 0,5$ ომია, მიმდევრობითაა მიერთებული ორი რეზისტორი და ამპერმეტრი. რეზისტორების წინააღობებია $R_1 = 2$ ომი და $R_2 = 1,5$ ომი (სურ. 1.14.1).

1. განსაზღვრე ამპერმეტრის ჩვენება (ამპერმეტრის წინააღობას ნუ გაითვალისწინებ).

2. როგორი იქნება ამპერმეტრის ჩვენება, თუ R_1 წინააღობის მქონე რეზისტორთან პარალელურად ჩავრთავთ რეზისტორს, რომლის წინააღობაა $R_3 = 2$ ომი?



სურ. 1.14.1

ამოხსნა

1. გარე წრედი მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორისგან შედგება (სურ. 3.14.1).

ა) გარე წრედის სრული წინააღობა: $R_{1,2} = R_1 + R_2$

ბ) ჩაკეტილი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, წრედში დენის ძალა ასე გამოითვლება:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_{1,2} + r} = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} = 1,5 \text{ ა ანუ, ამპერმეტრის ჩვენებაა } I_1 = 1,5 \text{ ა.}$$

2. წრედში დამატებით R_3 რეზისტორი R_1 -თან პარალელურად ჩართეს (სურ. 1.14.1).

ა) გარე წრედის სრული წინააღობა იქნება: $R_{1,2,3} = R_{1,3} + R_2$

$$\text{რადგან } R_1 = R_3, \text{ მივიღებთ, რომ } R_{1,3} = \frac{R_1}{2}$$

$$\text{შესაბამისად, } R_{1,2,3} = \frac{R_1}{2} + R_2 = \frac{R_1 + 2R_2}{2}$$

ბ) ომის კანონის თანახმად, ჩაკეტილ წრედში დენის ძალა ასე გამოითვლება:

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_{1,2,3} + r} = \frac{2\mathcal{E}}{R_1 + 2R_2 + 2r} = 2 \text{ ა ანუ, ამპერმეტრის ჩვენებაა } I_2 = 2 \text{ ა.}$$

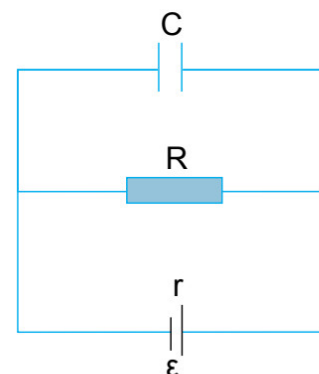
ამოცანა 1.14.2



დენის წყაროსთან მიერთებულია $R = 4,5$ ომი წინააღობის მქონე რეზისტორი და რეზისტორთან პარალელურად ჩართული კონდენსატორი (სურ. 1.14.2), რომლის ფირფიტებს შორის მანძილი $d = 0,4$ სმ-ია.

განსაზღვრე, როგორი უნდა იყოს დენის წყაროს ემძ, რომ კონდენსატორის ფირფიტებს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობამ $E = 4,5$ კვ/მ-ს მიაღწიოს.

ცნობილია, რომ დენის წყაროს შიგა წინააღობა $r = 0,5$ ომია.



სურ. 1.14.2

ამოხსნა:უ. ვ. ε მოც.: $R = 4,5 \text{ ომი}$ $d = 0,4 \text{ სმ} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ მ}$ $E = 4,5 \text{ კვ/მ} = 4,5 \cdot 10^3 \text{ ვ/მ}$ $r = 0,5 \text{ ომი}$

გათვალისწინე: თუ კონდენსატორი მუდმივი დენის წრედშია ჩართული, წრედში დენი არ გადის (მის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკა, $R_c \rightarrow \infty$).

1. გარე წრედის სრული წინაღობა, რომელშიც რეზისტორი და კონდენსატორია პარალელურად ჩართული, ასე გამოითვლება:

$$R_{\text{გარე}} = \frac{R R_c}{R + R_c} = \frac{R}{\frac{R}{R_c} + 1}$$

რადგან $R_c \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{R}{R_c} \rightarrow 0$, ანუ $R_{\text{გარე}} \approx R$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გარე წრედის წინაღობა მხოლოდ რეზისტორის R წინაღობით განისაზღვრება.

ასე რომ, ჩაკეტილი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, **წრედში გამავალი დენის ძალა** გამოითვლება ფორმულით:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad \text{ანუ,} \quad \varepsilon = I(R + r) \quad (1)$$

2. ძაბვა

ა) რეზისტორის ბოლოებს შორის: $U_R = IR$ (2)

ბ) კონდენსატორის ფირფიტებს შორის: $U_C = Ed$ (3)

3. კონდენსატორი პარალელურადაა ჩართული რეზისტორთან, ამიტომ $U_C = U_R$ მე-2-ისა და მე-3-ის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ

$$IR = Ed \Rightarrow I = \frac{Ed}{R} \quad (4)$$

4. მე-4-ის გათვალისწინებით კი 1-ლი ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\varepsilon = \frac{Ed}{R} (R + r)$$

ამოცანის მოცემულობის თანახმად კი მივიღებთ, რომ $\varepsilon = 20 \text{ ვ}$.

**ამოცანა 1.14.3**

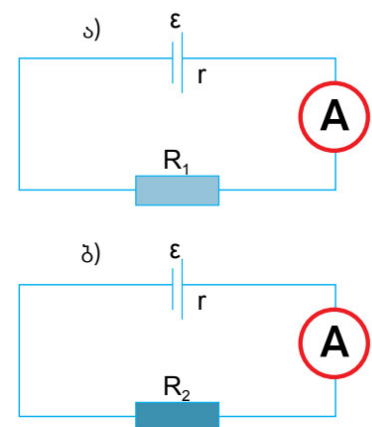
დენის წყაროს ჯერ ერთი რეზისტორი (R_1) მიუერთეს და წრედში დენის ძალა (I_1) ამპერმეტრით გაზომეს (სურ. 1.14.3 ა). შემდეგ R_1 რეზისტორი სხვა, განსხვავებული რეზისტორით (R_2) შეცვალეს და კვლავ აიღეს ამპერმეტრზე ანათვალი (I_2) (სურ. 1.14.3 ბ). გამოთვალე ცდის მონაცემებით დენის წყაროს ემძ და შიგა წინაღობა (ამპერმეტრისა და შემადგენელი სადენების წინაღობა ნულის ტოლად მიიჩნიე).

ამოხსნა:

1. ჩაკეტილი წრედისთვის ომის კანონის თანახმად, დენის წყაროს ემძ ასე გამოითვლება:

ა) პირველ შემთხვევაში (სურ. 1.14.3, ა): $\varepsilon = I_1 (r + R_1)$ (1)

ბ) მეორე შემთხვევაში (სურ. 1.14.3, ბ): $\varepsilon = I_2 (r + R_2)$ (2)



სურ. 1.14.3

2. 1-ლი და მე-2 განტოლებათა სისტემიდან მივიღებთ, რომ დენის წყაროს

ა) შიგა წინაღობა ასე გამოითვლება: $r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}$;

ბ) დენის წყაროს ემძ კი, 1-ლი ან მე-2 ტოლობის მიხედვით, ასე გამოითვლება:

$$\varepsilon = I_1 I_2 \frac{R_2 - R_1}{I_1 - I_2}.$$



ამოცანა 1.14.4

წრედში, რომელიც დენის წყაროსა და $R = 10$ ომი წინა-
ლობის მქონე რეზისტორისგან შედგება, ვოლტმეტრს
რთავენ:

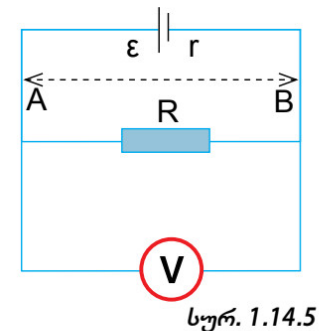
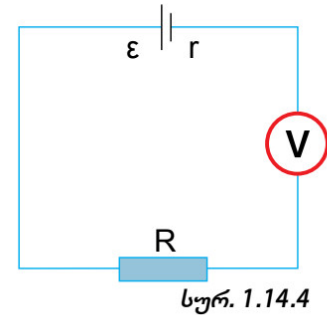
1. მიმდევრობით რეზისტორთან (სურ. 1.14.4);

2. რეზისტორის პარალელურად (სურ. 1.14.5).

ორივე შემთხვევაში ვოლტმეტრის ჩვენება ერთნაირია.
განსაზღვრე, რისი ტოლია დენის წყაროს შიგა წინა-
ლობა r , თუ ცნობილია, რომ ვოლტმეტრის წინაღობა
 $R_V = 1$ კომია.

ამოხსნა:

მითითება: თუ სხვადასხვა შემთხვევაში ერთსა და იმავე
ფიზიკურ სიდიდეებს განსაზღვრავ, ჯობს, თვალსაჩინო-
ბებისთვის, მონაცემები/შედეგები ცხრილის სახით წარმოადგინო.



	1. ვოლტმეტრი რეზისტორ- თან მიმდევრობითაა შეერთ- ებული (სურ. 1.14.4)	2. ვოლტმეტრი რეზისტორთან პარალელურადაა შეერთებული (სურ. 1.14.5)
ა) გარე წრედის სრული წინაღობა:	$R_1 = R + R_V$	$R_2 = \frac{R R_V}{R + R_V}$
ბ) ჩაკეტილი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, წრედში დენის ძალა	$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r} = \frac{\varepsilon}{R + R_V + r}$	$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r} = \frac{\varepsilon(R + R_V)}{R R_V + r R + r R_V}$
გ) ძაბვა ვოლტმეტრის მომ- ჭერებზე:	$U_1 = I_1 R_V = \frac{\varepsilon R_V}{R + R_V + r}$	$U_2 = U_{AB} = I_2 R_2 = \frac{\varepsilon R R_V}{R R_V + r R + r R_V}$

3. ამოცანის პირობის თანახმად, $U_1 = U_2$, ცხრილიდან თვალსაჩინოდ ჩანს, რომ:

$$\frac{1}{R + R_V + r} = \frac{R}{R R_V + r R + r R_V}$$

გამარტივების შედეგად კი მივიღებთ, რომ $r = \frac{R^2}{R_V} = 0,1$ ომი

1.14.2. მიმდევრობით შეერთებულ დენის წყაროთა ბატარეა

თუ დენის რამდენიმე წყარო მიმდევრობითაა შეერთებული (სურ. 1.14.6, 1.14.7), მა-
შინ ბატარეის სრული ემძ ცალკეულ დენის წყაროთა ემძ-ების ალგებრული ჯამის ტოლია:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n$$

სრული ემძ ისეთი დენის წყაროს ემძ-ა, რომლითაც შეგვიძლია მოცემული დენის

წყაროების ჩანაცვლება ისე, რომ გარე წრედში დენის ძალა არ შეიცვლოს. **ბატარეის სრული შიგა წინაღობა კი ცალკეული წყაროების შიგა წინაღობების ჯამის ტოლია:**

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

დენის წყაროების (მაგ., გალვანური ელემენტების) მიმდევრობით შეერთებისას მიღებული ბატარეის ემძ ზოგჯერ უფრო დიდია, ვიდრე ცალკეული დენის წყაროსი: მაგ., როცა ძლიერი დენის წყარო სჭირდებათ, ელემენტებს ერთმანეთთან მიმდევრობით ისე აერთებენ, როგორც ეს სურათ 1.14.6-ზეა გამოსახული. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ელემენტთა მიმდევრობით შეერთებით შიგა წინაღობა იზრდება.

დენის ცალკეული წყაროს ემძ-ის ნიშნის გასარკვევად საჭიროა წინასწარ ნებისმიერად შევარჩიოთ **წრედის შემოვლის დადებითი მიმართულება** (სურ.1.14.7). თუ არჩეული მიმართულებით წრედის შემოვლისას დენის წყაროს

ა) უარყოფითი პოლუსიდან დადებითისკენ გადადიხარ, წყაროს ემძ დადებითია: $\mathcal{E} > 0$.

(ასეთ შემთხვევაში მოცემული წყაროს მიერ წარმოქმნილი დენის მიმართულება ემთხვევა შემოვლის მიმართულებას);

ბ) დადებითი პოლუსიდან უარყოფითისკენ გადადიხარ, წყაროს ემძ უარყოფითია: $\mathcal{E} < 0$ (მოცემული წყაროს დენის მიმართულება შემოვლის მიმართულების საწინააღმდეგოა).

მაგ., ვთქვათ, დენის წყაროები ერთმანეთთან სურათ 1.14.7-ზე გამოსახული სქემის მიხედვითაა შეერთებული. ავირჩიოთ **წრედის შემოვლის დადებით მიმართულებად საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება**. ამ მიმართულებით წრედის შემოვლისას:

I წყაროს ემძ დადებითია ($\mathcal{E}_1 > 0$);

II წყაროს ემძ დადებითია ($\mathcal{E}_2 > 0$);

III წყაროს ემძ უარყოფითია ($\mathcal{E}_3 < 0$).

ასე რომ, სურათ 1.14.7-ზე გამოსახულ წრედში

ა) ბატარეის სრული ემძ ასე გამოთვლება:

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

ბ) წრედის სრული წინაღობა კი გამოითვლება გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას მიღებული წესის თანახმად:

$$R_{\text{სრ}} = R + r_1 + r_2 + r_3.$$

ამოცანა 1.14.5

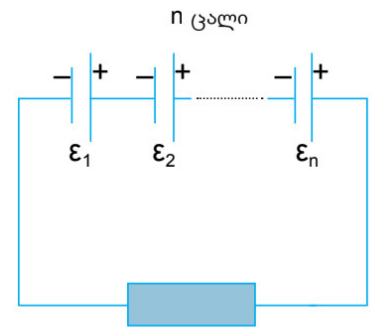


ორი ელემენტი (დენის წყარო), რომელთა ემძ-ები $\mathcal{E}_1 = 1,6$ ვ და $\mathcal{E}_2 = 2$ ვ-ია, ხოლო შიგა წინაღობები $r_1 = 0,3$ ომი და $r_2 = 0,9$ ომი, მიმდევრობითაა შეერთებული (სურ. 1.14.8). ელემენტთა ბატარეასთან მიერთებულია $R = 6$ ომი გარე წინაღობა. განსაზღვრე ძაბვის ვარდნა თითოეული ელემენტის შიგა წრედში: U_1 და U_2 .

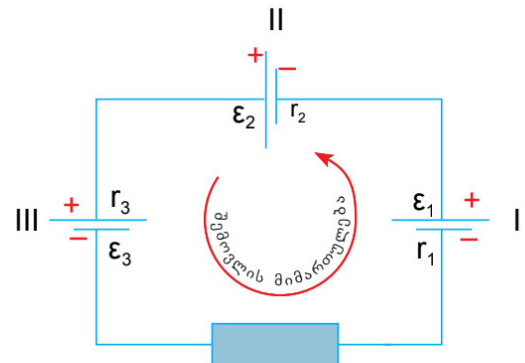
ამოხსნა:

1. მიმდევრობით შეერთებული ელემენტთა ბატარეის

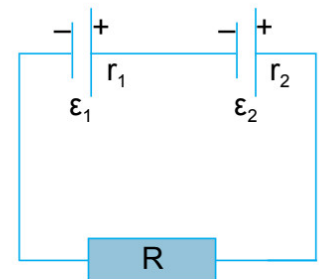
ა) სრული ემძ $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$, ბ) სრული შიგა წინაღობა $r = r_1 + r_2$



სურ. 1.14.6



სურ. 1.14.7



სურ. 1.14.8

2. ჩაკეტილი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, დენის ძალა წრედში:

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2} \quad (1)$$

3. ძაბვის ვარდნა თითოეული ელემენტის შიგა უბანზე, შესაბამისად, იქნება:

$$U_1 = I r_1; \quad U_2 = I r_2$$

1-ლი გამოსახულების გათვალისწინებით, მივიღებთ:

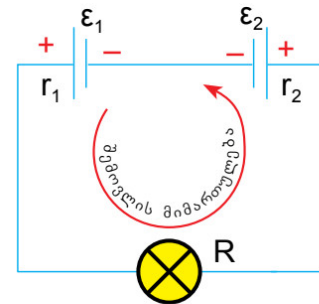
$$U_1 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2} r_1 = 0,15 \text{ ვ}; \quad U_2 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2} r_2 = 0,45 \text{ ვ}$$

ამოცანა 1.14.6



ორი გალვანური ელემენტი, რომელთა ემძ-ებია $\varepsilon_1 = 4,5$ ვ და $\varepsilon_2 = 1,5$ ვ, ხოლო შიგა წინააღობები $r_1 = 1,5$ ომი და $r_2 = 0,5$ ომია, შეერთებულია სურათ 1.14.9-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით.

გამოთვალე იმ ნათურაში გამავალი დენის ძალა, რომელსაც ელემენტთა ბატარეა კვებავს, თუ ცნობილია, რომ ნათურის წინააღობა $R = 23$ ომის ტოლია.



სურ. 1.14.9

ამოხსნა:

სურათ 1.14.9-ზე გამოსახული წრედისთვის შემოვლის დადებით მიმართულებად ავირჩიოთ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება.

1. ელემენტთა ბატარეის სრული ემძ-აა: $\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$

2. წრედის სრული წინააღობა: $R_{\text{სრ}} = R + r_1 + r_2$

3. ჩაკეტილი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, დენის ძალა წრედში ასე

გამოითვლება: $I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2} = 0,12 \text{ ა}$

1.14.3. პარალელურად შეერთებულ დენის წყაროთა ბატარეის ემძ

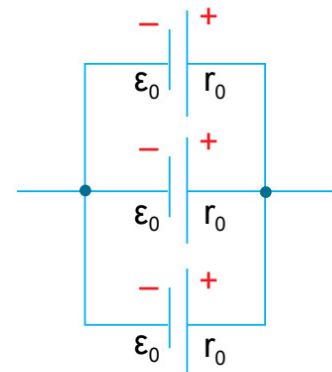
პრაქტიკაში, ხშირად, დენის წყაროების პარალელურად შეერთებისას ყველა წყაროს დადებით პოლუსებს წრედის ერთ წერტილში აერთებენ, უარყოფით პოლუსებს კი – მეორე წერტილში (თუმცა, შესაძლოა ხსენებული პოლარობა დაცული არ იყოს). როგორც წესი, პარალელურად ერთნაირი ემძ-ის მქონე დენის წყაროებს აერთებენ (სხვადასხვა ემძ-ის შემთხვევაში წყაროების პარალელურად შეერთება მათ ნორმალურ მუშაობას ხელს უშლის).

ზემოთ აღწერილი წესით ერთნაირი ემძ-ის მქონე დენის წყაროების პარალელურად შეერთებისას მიიღება ბატარეა (სურ. 1.14.10), რომლის სრული ემძ (ε) ერთ-ერთი წყაროს ემძ-ის (ε_0 -ის) ტოლია: $\varepsilon = \varepsilon_0$

ბატარეის სრული შიგა წინააღობა

ა) თუ ყველა წყაროს შიგა წინააღობა ტოლია, გამოითვლება ფორმულით: $r = r_0/n$, სადაც r_0 ერთი წყაროს შიგა წინააღობაა, ხოლო n – დენის წყაროების რაოდენობა.

ბ) თუ შიგა წინააღობები განსხვავებულია, გამოითვლება გამტარების პარალელურად შეერთებისას მიღებული წესის თანახმად.

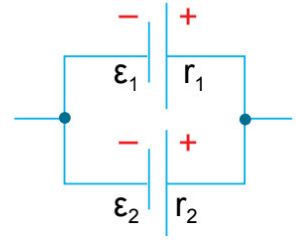


სურ. 1.14.10

**ამოცანა 1.14.7**

ორი ელემენტი, რომლებსაც ერთნაირი ემძ აქვს ($\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 4,1\text{ვ}$), ხოლო შიგა წინაღობები განსხვავებული ($r_1 = 4$ და $r_2 = 6$ ომი), შეერთებულია პარალელურად (სურ. 1.14.11).

გამოთვალე იმ ნათურაში გამავალი დენის ძალა, რომელსაც ელემენტთა ბატარეა კვებავს. ცნობილია, რომ ნათურის წინაღობა $R = 23$ ომის ტოლია.



სურ. 1.14.11

ამოხსნა:

1. ელემენტთა ბატარეას სრული ემძ-აა: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$
2. ბატარეას სრული შიგა წინაღობაა: $r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = 2,4$ ომი
3. წრედის სრული წინაღობაა: $R_{\text{სრ}} = R + r$, რადგან ნათურა მიმდევრობითაა მიერთებული ბატარეასთან.
4. ჩაკეტილი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, დენის ძალა წრედში ასე გამოითვლება: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \approx 0,16$ ა.

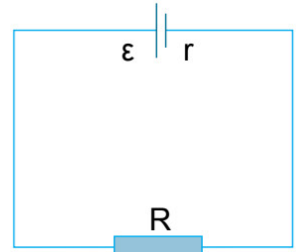
ამოცანა 1.14.8

დენის წყაროსთან, რომლის ემძ $\mathcal{E}$ -ია, ხოლო შიგა წინაღობა r , მიერთებულია R წინაღობის მქონე რეზისტორი (სურ. 1.14.12).

განსაზღვრე:

- ა) დენის წყაროს მქც (η);
- ბ) რა შემთხვევაში არ გამოიყოფა გარე წრედში სიმძლავრე?
- გ) რა შემთხვევაში გამოიყოფა გარე წრედში მაქსიმალური სიმძლავრე?

შემაერთებელი სადენების წინაღობა ნულის ტოლად მიიჩნე.



სურ. 1.14.12

ამოხსნა:

1. ომის კანონის თანახმად, დენის ძალა ჩაკეტილ წრედში ასე გამოითვლება:
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (1)$$

შესაბამისად,

2. შიგა და გარე წრედში გამოყოფილი მთელი სიმძლავრეა (დენის წყაროს მიერ გენერირებული სიმძლავრე):

$$P_{\text{მთ}} = I^2 R + I^2 r = I^2 (R + r) = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r} = I \mathcal{E} \quad (2)$$

3. გარე წრედში გამოიყოფილი სიმძლავრეა:

$$P_{\text{გარე}} = IU = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2}{(R + r)^2} R \quad (3)$$

მე-2 და მე-3 ტოლობების გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ

დენის წყაროს მქც ასე გამოითვლება:

$$\eta = \frac{P_{\text{გარე}}}{P_{\text{მთ}}} = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R + r} \quad (4)$$

4. მე-2 და მე-3 ტოლობების შედარებით მივიღებთ, რომ

$$P_{\text{გარე}} = I\varepsilon - I^2r \quad (5)$$

თუ მე-5 გამოსახულებას 0-ს გავუტოლებთ და მიღებულ განტოლებას I-ს მიმართ ამოვხსნით, მივიღებთ პასუხს კითხვაზე: რა შემთხვევაში არ გამოიყოფა გარე წრედში სიმძლავრე?

$$I\varepsilon - I^2r = 0;$$

ანუ $P_{\text{გარე}} = 0$, როცა $I = 0$ (როცა გარე წინაღობა უსასრულოდ დიდია),
ან

$$I = \frac{\varepsilon}{r} \quad (\text{როცა გარე წინაღობა ნულის ტოლია}).$$

ასე, რომ

გარე წრედში სიმძლავრე არ გამოიყოფა იმ შემთხვევაში, როცა გარე წინაღობა:

ა) უსასრულოდ დიდია; ბ) ნულის ტოლია.

5. მე-3 გამოსახულების გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$P_{\text{გარე}} = \frac{\varepsilon^2}{(R+r)^2} R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R-r)^2 + 4Rr} \quad (6)$$

მე-6 გამოსახულება თავის უდიდეს მნიშვნელობას მაშინ მიაღწევს, როცა მისი მნიშვნელი უმცირესი იქნება, ანუ როცა $R = r$.

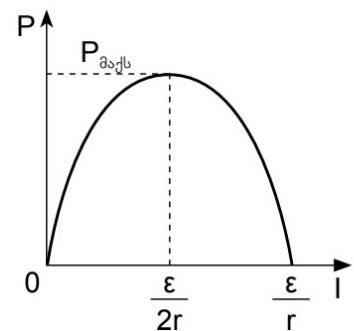
ასე, რომ გარე წრედში მაქსიმალური სიმძლავრე გამოიყოფა მაშინ, როცა გარე წრედის წინაღობა შიგა წრედის წინაღობის ტოლია: $R = r$.

6. მე-6 ტოლობიდან ჩანს, რომ გარე წრედში გამოყოფილი მაქსიმალური სიმძლავრე ასე გამოითვლება:

$$P_{\text{გარე/მაქს}} = \frac{\varepsilon^2}{4r} \quad (7)$$

7. გარე წრედში გამოყოფილი მაქსიმალური სიმძლავრის გამოსათვლელად გრაფიკული ხერხიც შეგვიძლია გამოვიყენოთ: სიმძლავრის დენის ძალაზე დამოკიდებულება, მე-5 ტოლობის თანახმად, 1.14.13 სურათზე გამოსახული გრაფიკით გამოისახება. გრაფიკიდან ჩანს, რომ გარე წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მაშინ მიაღწევს, როცა დენის ძალა წრედში $\frac{\varepsilon}{2r}$ -ის ტოლია. მე-5 ტოლობიდან კი მივიღებთ, რომ

$$\text{თუ } I = \frac{\varepsilon}{2r}, \text{ მაშინ } P_{\text{გარე/მაქს}} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$



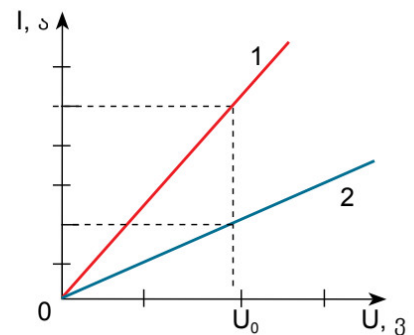
სურ. 1.14.13

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

უმარტივესი ■ – 1 ქულა; მარტივი ■ – 2 ქულა;
საშუალო სირთულის ■ – 3 ქულა; რთული ■ – 4 ქულა.

1. სახლს ელექტროენერგია 1 კმ მანძილით დაშორებული ქვესადგურიდან სპილენძის სადენებით მიეწოდება. ჩამოთვლილთაგან, რა დროის შემდეგ შეიძლება აინთოს სახლში ნათურა, როცა ქვესადგურში ჩამრთველს ჩართავენ. ცნობილია, რომ სპილენძის გამტარში მუხტის გადამტანების, ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარეა $0,07$ მმ/წმ.

- ა) $\approx 1/300\ 000$ წმ; ბ) $\approx 14,3$ წმ;
გ) ≈ 1400 წმ; დ) ≈ 14 მლნ წმ.



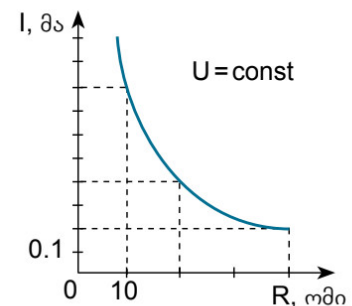
სურ. 1

2. 1-ლ სურათზე გამოსახულია ორი გამტარის ვოლტ-ამპერიული მახასიათებელი. შეადარე ერთმანეთს გამტარების წინააღობები:

- ა) $R_1 > R_2$;
ბ) $R_1 < R_2$;
გ) $R_1 = R_2$;
დ) შეუძლებელია განსაზღვრა;

3. მე-2 სურათზე გამოსახულია გამტარში გამავალი დენის ძალის გამტარის წინააღობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრე ძაბვა გამტარის ბოლოებს შორის:

- ა) 20 მვ;
ბ) 20 ვ;
გ) 8 მვ;
დ) 8 ვ.



სურ. 2

4. როგორ შეიცვლება ლითონის მავთულის წინააღობა. თუ მავთული შუაში გაჭრეს და ორად შეკრეს?

- ა) არ შეიცვლება; ბ) შემცირდება 4-ჯერ;
გ) გაიზრდება 4-ჯერ; დ) გაიზრდება 2-ჯერ.

5. როგორ შეიცვლება გამტარის კუთრი წინააღობა, თუ მის სიგრძეს 2-ჯერ გავზრდით, ხოლო განივკვეთის ფართობს 2-ჯერ შევამცირებთ?

- ა) არ შეიცვლება; ბ) შემცირდება 4-ჯერ; გ) გაიზრდება 4-ჯერ; დ) გაიზრდება 2-ჯერ.

6. გამოთვალე წრედის იმ უბნის წინააღობა, რომელიც სამი ერთნაირი წინააღობისგან შედგება, თუ ცნობილია, რომ წრედის უბანში მინიმალური დენი გადის. წინააღობებიდან თითოეული 6 ომის ტოლია.

- ა) 2 ომი; ბ) 9 ომი; გ) 18 ომი; დ) 216 ომი.

„Torpedo nobiliana“ ელექტრული სკაროსის სახეობაა, რომელსაც განმუხტვისას 200 ვ ძაბვისა და 1 კვტ სიმძლავრის გენერირება შეუძლია (სურ. 3). თითოეული განმუხტვა 0,05 წმ-ის განმავლობაში ხდება.

გამოთვალე № 7 – 9 ამოცანებში: ელექტრული სკაროსის მიერ ერთი განმუხტვისას:

7. წარმოქმნილი დენის ძალა:

- ა) 0,005 ა; ბ) 0,25 ა; გ) 5 ა; დ) 0,2 ა.

8. მსხვერპლისთვის გადაცემული მუხტი

- ა) 0,005 კ; ბ) 0,25 კ; გ) 5 კ; დ) 0,2 კ.

9. გამოყოფილი ელექტრული ენერგია:

- ა) 50 ჯ; ბ) 10 ჯ; გ) 4 კჯ; დ) 20 კჯ.

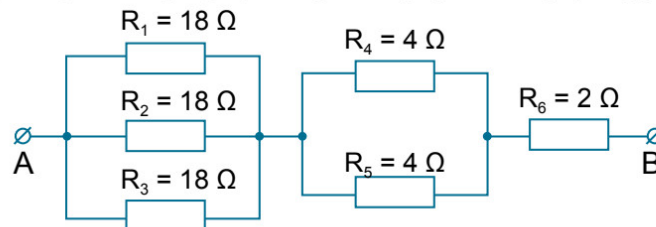
10. ელექტრული სკაროსის მიერ თავდასაცავად „გამოტყორცნილი“ განუხტვა გაცილებით ძლიერია, თუ მას ზურგსა და მუცელზე ერთდროულად შეეხები: სწორედ ამ ადგილებშია მისი მთავარი ელექტრული ორგანოები თავმოყრილი. გამოთვალე დენის ძალა, რომელიც ადამიანში გაივლის, თუ ის ელექტრულ სკაროსს აღნიშნულ ადგილებზე შიშველი ხელებით შეეხება. ცნობილია, რომ ადამიანის სხეულის წინალობა გაშლილი ხელების თითებს შორის არაუმეტეს 1000 ომია (დაზიანებული კანის შემთხვევაში და ზღვის მარილიან წყალში კი საგრძნობლად მცირდება). თავდაცვისას გენერირებული ძაბვა 250 ვ-ს აღწევს.

- ა) 250 მა; ბ) 200 მა; გ) 1 მა; დ) 0,5 მა;



სურ. 3

№11 – 18 ამოცანებში განსაზღვრე მე-4 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით:



სურ. 4

11. წრედის სრული წინალობა:

- ა) 10 ომი; ბ) 15 ომი; გ) 30 ომი; დ) 6 ომი.

12. წრედის AB უბანში გამავალი დენის ძალა, თუ ცნობილია რომ ძაბვა A და B წერტილებს შორის 60 ვ-ია;

- ა) 2 ა; ბ) 3 ა; გ) 4 ა; დ) 6 ა.

13. R_2 წინალობაში გამავალი დენის ძალა;

- ა) 2 ა; ბ) 3 ა; გ) 4 ა; დ) 6 ა.

14. R_4 წინალობაში გამავალი დენის ძალა;

- ა) 2 ა; ბ) 3 ა; გ) 4 ა; დ) 6 ა.

15. R_6 წინალობაში გამავალი დენის ძალა;

- ა) 2 ა; ბ) 3 ა; გ) 4 ა; დ) 6 ა.

16. $\frac{U_2}{U_3} =$

- ა) 2/9; ბ) 1; გ) 3; დ) 9/2.

17. $\frac{U_2}{U_5} =$

- ა) 2/9; ბ) 1; გ) 3; დ) 9/2.

18. $\frac{U_2}{U_6} =$

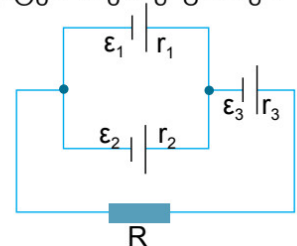
- ა) 2/9; ბ) 1; გ) 3; დ) 9/2.

19. წრედის იმ უბნის ბოლოებზე, რომელიც სამი ერთნაირი, 6 ომის წინააღობის, რეზისტორისგან შედგება, ძაბვა 9 ვოლტის ტოლია. გამოთვალე სითბოს რაოდენობა, რომელიც წრედის უბანში 1 წუთის განმავლობაში გამოიყოფა, თუ ცნობილია, რომ მასში მაქსიმალური სიდიდის დენი გადის.

- ა) 40,5 ჯ; ბ) 270 ჯ; გ) 972 ჯ; დ) 2430 ჯ.

20. გამოთვალე 10 წამის განმავლობაში $R = 1,7$ ომი წინააღობის დატვირთვაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა (სურ. 5), თუ ცნობილია, რომ დენის წყაროების ემძ-ებია $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 = 2$ ვ, ხოლო შიგა წინააღობები: $r_1 = r_2 = r_3 = 0,2$ ომი.

- ა) 38,25 ჯ; ბ) 68 ჯ;
გ) 114,92 ჯ; დ) 153 ჯ.



სურ. 5

ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით შენ საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 5	იმ დავალებებიდან, რომლებიც სწორად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	1
6 - 9		2
10 - 13		3
14 - 17		4
18 - 21	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
22 - 25		6
26 - 29	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
30 - 32		8
33 - 36	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
37 - 39	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:

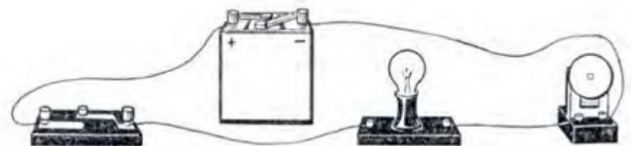
უმარტივესი ■ ; მარტივი ■ ;

საშუალო სირთულის ■ ;

1.1. ელექტრული დენი. დენის წყარო

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 17 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რა არის ელექტრული დენი? რა შემთხვევაში ვიტყვით, რომ „გარემოში ელექტრული დენი გადის“?
2. შეადარე ნულს გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში გამავალი სრული მუხტი, თუ გამტარში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები მოძრაობენ:
ა) მხოლოდ ქაოსურად; ბ) მონესრიგებულად. პასუხები ახსენი.
3. რომელ ნაწილაკებს გადააქვს მუხტი: ა) ლითონებში? ბ) ელექტროლიტებში?
4. როგორ ელექტრულ დენს ჰქვია მუდმივი?
5. როგორ განისაზღვრება ელექტრული დენის მიმართულება?
6. რა პირობებში აღიძვრება ელექტრული დენი გამტარ გარემოში?
7. როგორ განისაზღვრება დენის მიმართულება იმ ელექტრული ველის მიმართულების მიხედვით, რომლის გავლენითაც გამტარში დენი აღიძვრება?
8. აღიძვრება თუ არა გამტარში ელექტრული დენი, თუ გამტარის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნულის ტოლია? რატომ?
9. რა არის საჭირო იმისათვის, რომ გამტარში ელექტრული დენი მუდმივად არსებობდეს?
10. ახსენი, რა ფუნქცია აკისრია დენის წყაროს (გამოიყენე ანალოგია ცენტრის ცნობილი მექანიკური მოვლენებიდან).
11. რა როლი აქვს დენის წყაროში გარე ძალებს? როგორი ძალებია ისინი: პოტენციალური თუ არაპოტენციალური? რატომ?
12. ახსენი დენის წყაროს მუშაობის პრინციპი: როგორ გაცალკევდება მუხტები დენის წყაროში?
13. რა არის დენის წყაროს დადებითი პოლუსი? უარყოფითი?
14. რა არის გარე წრედი? შიგა წრედი?
15. რა მიმართულებით მოძრაობენ დადებითი და უარყოფითი მუხტები:
ა) გარე წრედში? ბ) შიგა წრედში?
16. აღწერე ენერგიის გარდაქმნა: ა) გარე წრედში; ბ) შიგა წრედში.
17. რა სახის მოქმედებები ახასიათებს გარემოში დენის გავლას. აღწერე თითოეული მათგანი.
18. დაასახელე მაგალითები, რომლებშიც დენის სხვადასხვა სახის მოქმედება ჩანს (თუ შეძლებ, წარმოადგინე შესაბამისი მარტივი და უსაფრთხო ექსპერიმენტები).
19. როგორია ნათურასა და ზარში გამავალი დენის მიმართულება სურათ 1.1-ზე გამოსახულ წრედში? რა უნდა გააკეთო იმისათვის, რომ დენის მიმართულება შეცვალო?



სურ. 1.1

1.2. დენის ძალა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 12 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. აღწერე დენის ფიზიოლოგიური მოქმედება.
2. რა არის დენის ძალა?
3. რას გვიჩვენებს დენის ძალა?
4. როგორ გამოითვლება დენის ძალა და რა ერთეულებში იზომება ის SI-ში?
5. ამპერის გარდა, დენის ძალის კიდევ რა ერთეულები გამოყენება პრაქტიკაში და რა თანაფარდობა არსებობს 1 ამპერსა და მათ შორის?
6. რომელ მიმართულებას მიიჩნევენ გამტარში გამავალი დენის ძალის მიმართულებად?
7. რა შემთხვევაში ვამბობთ, რომ „გამტარში მუდმივი დენი გადის“?
8. როგორი სიდიდეა დენის ძალა: ვექტორული თუ სკალარული?
9. რა შემთხვევაში მივიჩნევთ დენის ძალას: ა) დადებითად? ბ) უარყოფითად?
10. როგორ არის დამოკიდებული დენის ძალა გამტარში თავისუფალი მუხტების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარეზე?
11. რა ხელსაწყოთი ზომავენ დენის ძალას წრედში და როგორ რთავენ მას იმ ელექტრომომხმარებელთან (მაგ., ნათურასთან), რომელშიც გამავალ დენის ძალას ზომავენ?
12. დახაზე უმარტივესი ელექტრული სქემა, რომელიც შედგება, დენის წყაროს, ნათურის, ჩამრთველისა და ამპერმეტრისაგან.
13. რამდენ ხანს გრძელდება ელვა (სურ. 1.2), თუ მის არხში ამ დროს 30 კ მუხტი გადის, ხოლო არხში გამავალი დენის ძალა 25 000 ა-ის ტოლია?
14. ნათურის ვარვარების ძაფში 0,6 ა დენი გადის. რა მუხტი გაივლის ვარვარების ძაფში 5 წთ-ის განმავლობაში?
15. რამდენი კულონი მუხტი გადის ნათურაში ყოველ 10 წთ-ში, თუ ნათურაში გამავალი დენის ძალა 1,5 ამპერია?
16. 10 წთ-ის განმავლობაში ნათურაში 600 კ მუხტი, ხოლო ელექტროქურაში – 3 000 კ მუხტი გადის. რომელ მოწყობილობაშია გამავალი დენის ძალა მეტი და რამდენჯერ?
17. ერთ ნათურაში ყოველ 3 წთ-ში 270 კ მუხტი გადის, ხოლო მეორეში – 6 კ მუხტი 2 წმ-ში. რომელ ნათურაში გამავალი დენის ძალაა მეტი და რამდენჯერ?
18. გამტარის განიკვეთში 2 წმ-ის განმავლობაში $6 \cdot 10^{21}$ ელექტრონი გადის. გამოთვალე დენის ძალა გამტარში.
19. გამოთვალე რა დროის განმავლობაში გადის გამტარის ნებისმიერ განიკვეთში $2 \cdot 10^5$ ელექტრონი, თუ ცნობილია, რომ გამტარში გამავალი დენის ძალაა 64 მკა.
20. ნათურაში გამავალი დენის ძალა 0,32 ა-ია. რამდენი ელექტრონი გადის ნათურის ვარვარების ძაფში 5 წთ-ის განმავლობაში?
21. რისი ტოლია ძაბვა წრედის მოცემული უბნის ბოლოებზე, თუ ცნობილია, რომ ამ უბანზე ელექტრული ველის მიერ 25 კ მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობა 500 ჯ -ის ტოლია.
22. რისი ტოლია ელექტრული ველის მიერ წრედის მოცემულ უბანზე 4 მკკ მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობა, თუ ძაბვა უბნის ბოლოებზე 45 ვ-ია.
23. ძაბვა ავტომობილის ნათურის ბოლოებზე 12 ვ-ია. რა სიდიდის მუხტმა გაიარა ნათურის ვარვარების ძაფში, თუ ცნობილია, რომ ამ დროს ელექტრულმა ველმა 600 ჯ მუშაობა შეასრულა.



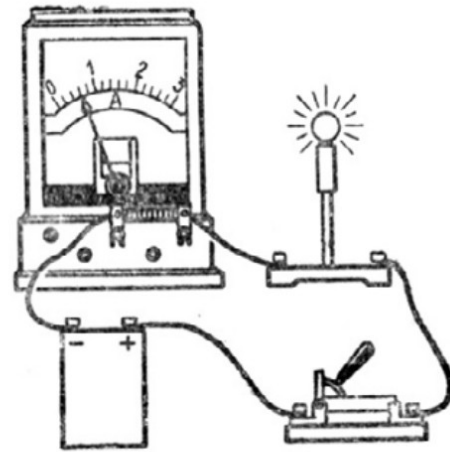
სურ. 1.2

24. განსაზღვრე სურათ 1.3-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით, რა სიდიდის მუხტი გადის წრედში 20 წმ-ის განმავლობაში.
25. განსაზღვრე სურათ 1.3-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით, რა დროის განმავლობაში გაივლის წრედში 120 კ სიდიდის მუხტი.

1.3. ელექტრული დენი ლითონებში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 8 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. აღწერე ლითონების ელექტროგამტარობის კლასიკური თეორიის მიხედვით ლითონის ელექტროგამტარობის მექანიზმი.
2. რომელი ნაწილაკებია ლითონებში მუხტის გადამტანი?
3. რას ეწოდება ელექტრული დენი ლითონებში?
4. არის თუ არა იონები ლითონებში მუხტის გადამტანები? დაასაბუთე შენი მოსაზრება არგუმენტირებულად.
5. რით აიხსნება ლითონების კარგი ელექტროგამტარებლობა?
6. აღწერე, რა იგულისხმება ლითონში დენის გავლისას ელექტრონების მონესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობაში (ე.წ. დრეიფში)?
7. როგორ გამოითვლება ელექტრონების დრეიფის სიჩქარე?
8. რა არის მიზეზი იმისა, რომ ნათურა მყისიერად ინთება მიუხედავად იმისა, რომ ელექტრონების დრეიფის სიჩქარე ძალიან დაბალია?
9. გამოთვალე ტრამვაის ელექტროხაზებში გამავალი დენის ძალა რიკეს ექსპერიმენტში (იხ. § 1.3.) თუ ცნობილია, რომ ექსპერიმენტი 1 წლის განმავლობაში უწყვეტად მიმდინარეობდა და ამ დროის განმავლობაში სადენებში 3,5 მლნ კულონი მუხტი გავიდა.
10. გამოთვალე თავისუფალ ელექტრონთა კონცენტრაცია 2,5 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარში, თუ მასში 8 ა დენის გავლისას ელექტრონების დრეიფის სიჩქარეა 0,2 მმ/წმ.
11. გამოთვალე გამტარში 1 საათის განმავლობაში გასული თავისუფალი ელექტრონების მასა, თუ ცნობილია, რომ მასში ამ ხნის განმავლობაში 1 ა მუდმივი დენი გადიოდა.
12. გამოთვალე, რა დრო დასჭირდება დრეიფის დროს თავისუფალ ელექტრონს გამტარის გასწვრივ 1 სმ მანძილზე გადასადგილებლად, თუ ცნობილია, რომ 20 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარში მუდმივი 5 ა დენი გადის. გამტარში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $9 \cdot 10^{28} \text{ მ}^{-3}$.



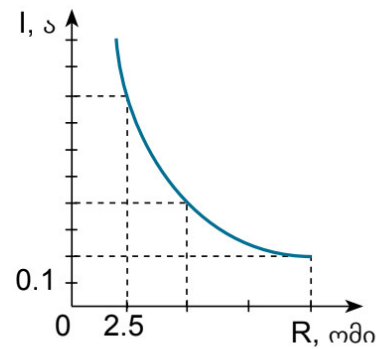
სურ. 1.3. ამპერმეტრი დენის ძალას ამპერებში ზომავს.

1.4. ომის კანონი წრედის უზენისათვის

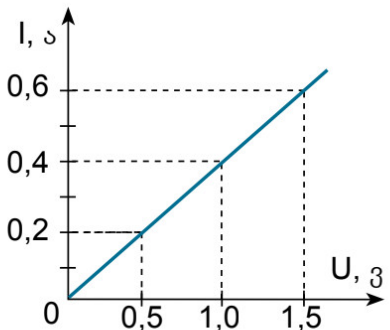
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 15 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რა არის ელექტროტრავმა და რაზეა დამოკიდებული დაზიანების სიმძიმე?
2. რა შემთხვევაშია ადამიანის სიცოცხლესთან შეუთავსებელი მუდმივი დენის ძალა? რა შემთხვევაშია ის უსაფრთხო?
3. რა სიდიდის ძაბვა ითვლება უსაფრთხოდ?
4. რა არის სტაციონარული ელექტრული ველი და რით განსხვავდება ის ელექტროსტატიკური ველისგან?
5. რა არის გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი?
6. რომელი ხელსაწყოთი და როგორ ზომავენ ძაბვას გამტარის ბოლოებს შორის?
7. ჩამოაყალიბე ომის კანონი.

8. როგორი სახე აქვს დენის ძალის
 - ა) ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკს (თუ $R = \text{const}$)?
 - ბ) წინააღობაზე დამოკიდებულების გრაფიკს (თუ $U = \text{const}$)?
9. ომის კანონიდან გამომდინარეობს, რომ $R = \frac{U}{I}$. შეიძლება თუ არა მტკიცება ამ ფორმულაზე დაყრდნობით, რომ „გამტარის წინააღობა პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა და უკუპროპორციულია გამტარში გამავალი დენის ძალისა“? რატომ?
10. რას გვიჩვენებს გამტარის ელექტროგამტარობა და რა არის მისი ერთეული SI-ში?
11. რა არის ელექტრული წინააღობა და რატომ აქვს გამტარს წინააღობა?
12. როგორ გამოითვლება, ომის კანონის მიხედვით, წინააღობა და რა არის მისი ერთეული SI-ში?
13. ომის კანონიდან გამომდინარე, რა შემთხვევაში ვიტყვით, რომ გამტარის წინააღობა 1 ომია?
14. დაასახელე წინააღობის სხვა ერთეულებიც (ომის გარდა), რომელიც პრაქტიკაში გვხვდება. რა თანაფარდობაა მათსა და 1 ომს შორის?
15. რაში იყენებენ პრაქტიკაში ომის კანონს?
16. სურათ 1.4-ზე გამოსახული გრაფიკი გამტარში გამავალი დენის ძალის წინააღობაზე დამოკიდებულებას ასახავს. იპოვე გამტარის ბოლოებზე არსებული ძაბვა.
17. სურათ 1.5-ზე გამოსახული გრაფიკი მოცემულ გამტარში გამავალი დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულებას ასახავს. იპოვე გამტარის წინააღობა.
18. განსაზღვრე, წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა, თუ ელექტრული ველი ამ უბანზე 3 კ მუხტის გადაადგილებისას 120 ჯ მუშაობას ასრულებს და ცნობილია, რომ უბნის წინააღობა 20 ომია.
19. გამოთვალე, რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული ველი წრედის უბანზე 5კ მუხტის გადაადგილებისას, თუ უბნის წინააღობაა 20 ომი და მასში გამავალი დენის ძალა 6 ა-ია.
20. განსაზღვრე, რის ტოლია ძაბვა წრედის უბანზე, თუ ცნობილია, რომ უბნის წინააღობა 10 ომია და წინააღობაში 15 ნმ-ის განმავლობაში 125 კ ელექტრული მუხტი გადის?
21. განსაზღვრე 10 ომი წინააღობის მქონე გამტარის ბოლოებზე არსებული ძაბვის სიდიდე, თუ გამტარის განივკვეთში 5 ნთ-ში 120 კ მუხტი გადის.
22. გამოთვალე, რა სიდიდის ელექტრული მუხტი გადის უთოს სპირალში 15 ნთ-ის განმავლობაში, თუ უთო ჩართულია 120 ვ ძაბვის ქსელში და ცნობილია, რომ უთოს სპირალის წინააღობა 40 ომია.
23. გამოთვალე სხვადასხვა ფერის შუქდიოდის (ერთგვარი პატარა ნათურის) წინააღობა, თუ ის გათვლილია 20 მა დენის ძალაზე (დენის ძალის დასაშვები მნიშვნელობა). მაქსიმალური ძაბვა, რომელზედაც შუქდიოდი არ იწვება მითითებულია სურათ 1.6-ზე.
24. გამოთვალე, რამდენი ელექტრონი გადის გამტარის განივკვეთში 1 ნთ-ის განმავლობაში, თუ ცნობილია, რომ გამტარის წინააღობა 10 ომია და მის ბოლოებზე არსებული ძაბვა 4 ვ -ს უტოლდება.



სურ. 1.4

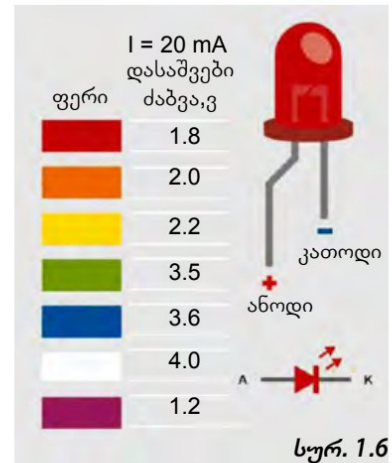


სურ. 1.5

1.5. ელექტრული წინაღობა. კუთრი წინაღობა.

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 8 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- რა არის გამტარის წინაღობა, როგორ არის ის დამოკიდებული: ა) გამტარის გეომეტრიულ ზომებზე; ბ) ნივთიერებაზე (მასალაზე), რომლისგანაც გამტარია დამზადებული?
- როგორ გამოითვლება გამტარის წინაღობა მისი გეომეტრიული ზომებისა და ნივთიერებაზე (მასალაზე) დამოკიდებულების გათვალისწინებით?
- რას ახასიათებს გამტარის წინაღობა: გამტარს თუ ნივთიერებას (მასალას), რომლისგანაც გამტარია დამზადებული?
- რას ახასიათებს გამტარის კუთრი წინაღობა: გამტარს თუ ნივთიერებას (მასალას), რომლისგანაც გამტარია დამზადებული?
- რა არის კუთრი წინაღობის ერთეული SI-ში? რა არის მისი სისტემგარეშე ერთეული? რა თანაფარდობაა მათ შორის?
- რას გვიჩვენებს ნივთიერების კუთრი წინაღობა?
- რა არის რეოსტატი, რისთვის იყენებენ მას და რაზეა დაფუძნებული მისი მოქმედების პრინციპი?
- რა არის რეზისტორი, რისთვის იყენებენ მას წრედში?
- როგორ შეიცვლება გამტარის წინაღობა, თუ მის სიგრძეს ოთხჯერ გავზრდით და განივკვეთის ფართობს 2-ჯერ შევამცირებთ?
- შეადარე ერთმანეთს ორი ერთი და იმავე მასალის მავთულის მონაკვეთების წინაღობა, თუ ცნობილია, რომ მონაკვეთებს:
 - ერთნაირი განივკვეთის ფართობი აქვს. პირველის სიგრძე 20 სმ-ია, ხოლო მეორისა – 1 მ.
 - ერთნაირი სიგრძე აქვს. პირველის განივკვეთის ფართობი 2 მმ²-ია, ხოლო მეორის – 4 მმ².
- შეადარე ერთმანეთს რკინისა და სპილენძისგან დამზადებული ორი ერთნაირი სიგრძისა და ერთნაირი განივკვეთის ფართობის მქონე მავთულების წინაღობა.
- გამოთვალე წინაღობა:
 - 5 კმ სპილენძის მავთულის, თუ მისი განივკვეთის ფართობია 0,65 სმ²;
 - რეოსტატზე დახვეული 5 მ სიგრძის ნიქრომის მავთულისა, რომლის განივკვეთის ფართობია 0,8 მმ²;
 - 8 მ სიგრძის ნიკელინის მავთულის, თუ მისი განივკვეთის ფართობია 2 მმ²;
 - 150 სმ ვერცხლის მავთულის, თუ მისი განივკვეთის ფართობია 0,1 მმ².
- გამოთვალე სიგრძე:
 - რეოსტატზე (სურ. 1.7) დახვეული 0,2 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე ნიკელინის გამტარის, თუ ცნობილია, რომ გამტარის წინაღობაა 36 ომი;
 - 0,5 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის მავთულის, რომლის წინაღობა 34 ომია;
- გამოთვალე განივკვეთის ფართობი:
 - სპილენძის მავთულისა, რომლის სიგრძე 90 მ-ია და წინაღობა 2 ომი;



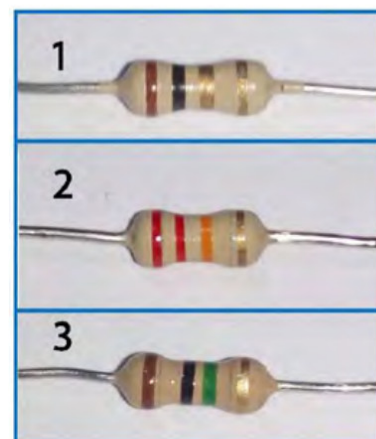
- ბ) ნიკელინის მავთულისა, რომლის სიგრძე 4 მ-ია, ხოლო იმ რეოსტატის მაქსიმალური წინაღობა, რომელზედაც მოცემული მავთულია დახვეული, 10 ომი-ა;
15. რა სიგრძის უნდა იყოს რკინის 2 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე მავთული, რომ მისი წინაღობა ალუმინის იმ მავთულის წინაღობას გაუტოლდეს, რომლის სიგრძე და განივკვეთის ფართობი, შესაბამისად, 1 კმ და 4 მმ²-ია.
 16. განივკვეთის რა ფართობი უნდა ჰქონდეს ალუმინის გამტარს, რომ მისი წინაღობა იმავე სიგრძის მქონე რკინის იმ მავთულის წინაღობას გაუტოლდეს, რომლის განივკვეთის ფართობია 2 მმ².
 17. რა სიდიდის დენი გაივლის 5 კმ სპილენძის მავთულში, რომლის ბოლოებს შორის 13 ვ ძაბვაა მოდებული, თუ ცნობილია, რომ მავთულის განივკვეთის ფართობია 0,65 სმ².
 18. რა სიდიდის ძაბვაა მოდებული რეოსტატის ხვიის ბოლოებს შორის, თუ ცნობილია, რომ რეოსტატზე დახვეულია ნიქრომის 5 მ სიგრძის მავთული, რომლის განივკვეთის ფართობია 0,8 მმ² და მავთულში გამავალი დენის ძალა 10 ა -ს უტოლდება.
 19. რა სიდიდის ძაბვაა მოდებული 8 მ ნიკელინის მავთულის ბოლოებზე, თუ მავთულის განივკვეთის ფართობია 2 მმ² და ცნობილია, რომ მასში 2 ა დენი გადის.
 20. რა სიდიდის დენი გაივლის 150 სმ ვერცხლის მავთულში, თუ მისი განივკვეთის ფართობია 0,1 მმ² და ცნობილია, რომ მავთულის ბოლოებზე მოდებულია 0,48 ვ ძაბვა.
 21. გამოთვალე რეოსტატზე დახვეული 0,2 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე ნიკელინის გამტარის სიგრძე, თუ ცნობილია, რომ რეოსტატში 72 ვ ძაბვის დროს 2 ა დენი გადის.
 22. რა სიგრძის უნდა იყოს 0,5 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის მავთული, რომ მასში 2 ამპერი დენი გადიოდეს იმ დროს, როცა გამტარის ბოლოებს შორის 68 ვ ძაბვაა მოდებული.
 23. გამოთვალე 90 მ სიგრძის სპილენძის მავთულის განივკვეთის ფართობი, თუ მავთულში 6 ა დენი გადის, როცა მის ბოლოებს შორის ძაბვა 12 ვ-ის ტოლია.
 24. გამოთვალე 4 მ სიგრძის ნიკელინის მავთულის განივკვეთის ფართობი, თუ ცნობილია, რომ როცა რეოსტატის ბოლოებს შორის 12 ვ ძაბვაა მოდებული, რეოსტატში 1,2 ა დენი გადის.
 25. განსაზღვრე, რა სიდიდის დენი გაივლის 20 სმ ფანქრის გრაფიტის გულში, რომლის დიამეტრი 2 მმ-ია, თუ ცნობილია, რომ ფანქრის ბოლოებზე 6 ვ ძაბვაა მოდებული, გრაფიტის კუთრი წინაღობა კი 400 მკომი-მ-ია.
 26. 300 მ სპილენძის გამტარის ბოლოებს შორის 36 ვ ძაბვაა მოდებული. გამოთვალე გამტარში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, თუ ცნობილია, რომ სპილენძის გამტარში მათი კონცენტრაციაა $8,5 \cdot 10^{28} \text{ მ}^{-3}$.
 27. გამოთვალე სურათ 1.8-ზე გამოსახული რეზისტორების წინაღობა.

გამოთვალე:

- ა) რეზისტორებში გამავალი დენის ძალა, თუ მათ სათითაოდ მივაერთებთ 36 ვ ძაბვის წყაროსთან;
- ბ) რეზისტორების ბოლოებს შორის ძაბვა, თუ მათში გამავალი დენის ძალაა 1 მა.

გაეცანი რეზისტორების წინაღობის გამოთვლის წესს:

რეზისტორის წინაღობას, ხშირად, სპეციალური მარკირებით, ფერადი ზოლების სახით გამოსახავენ. ზოლების ფერების მიხედვით შეგვიძლია განვსაზღვროთ: წინაღობა, ცდომილება და ტემპერატურული კოეფიციენტი (რომელსაც მომდევნო გაკვეთილებზე გაეცნობი);



სურ. 1.8

1. რეზისტორის ფერადი ზოლები მარცხნიდან მარჯვნივ უნდა „წაიკითხო“, მაგრამ რომელია რეზისტორზე მარცხენა და რომელი მარჯვენა მხარე?

ა) რეზისტორის მარცხენა მხარეს ფერადი ზოლები ერთმანეთთან უფრო მჭიდროდაა განლაგებული, ვიდრე მარჯვენა მხარეს;

ბ) ზოგჯერ (როცა რეზისტორის ზომა საშუალებას იძლევა) 1-ლი ფერადი ზოლი უფრო განიერია;

გ) 1-ლი ზოლი ოქროსა და ვერცხლისფერი არასდროს არ არის.

2. რეზისტორებზე მარკირება შეიძლება 3, 4, 5 ან 6 ფერადი ზოლის სახით იყოს გამო-სახული;

ა) 3 და 4 ფერადი ზოლის შემთხვევაში 1-ლი და მე-2 ზოლი ციფრებს აღნიშნავს;

ბ) 5 და 6 ფერადი ზოლის შემთხვევაში ციფრებს 1-ლი, მე-2 და მე-3 ზოლი აღნიშნავს.

3. რეზისტორის წინააღობის გამოსათვლელად სპეციალური ცხრილი დაგჭირდება (სურ. 1.9). რეზისტორის წინააღობა ორი რიცხვის ნამრავლის ტოლია:

I თანამამრავლი:

ა) ორნიშნა რიცხვია 3 და 4 ფერადი ზოლის შემთხვევაში: მოძებნე 1 – 2 ფერადი ზოლის შესაბამისი ციფრები ცხრილში (შესაბამისად, I თანამამრავლის 1-ლი და მე-2 ციფრი);

ბ) სამნიშნა რიცხვია 5 და 6 ფერადი ზოლის შემთხვევაში (ციფრებს კვლავ 3-ა-ში აღწერილი ხერხით მოძებნი);

II თანამამრავლი – კოეფიციენტი:

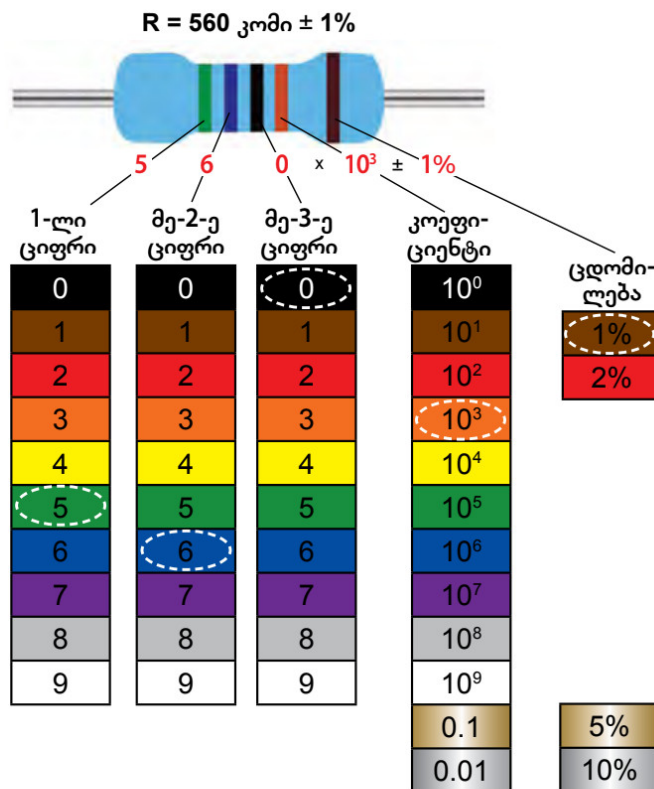
ცხრილში მომდევნო ზოლის ფერის მიხედვით უნდა მოძებნო:

ა) მე-3 ზოლის მიხედვით, სამი და ოთხი ზოლის შემთხვევაში;

ბ) მე-4 ზოლის მიხედვით ხუთი და ექვსი ზოლის შემთხვევაში;

4. ფარდობით ცდომილებას მე-4 (ან მე-5) ზოლის ფერის მიხედვით იპოვი;

5. ბოლო ზოლის ფერი კი წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტს მიგანიშნებს.



სურ. 1.9

1.6. ზეგამტარობა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- როგორ გამოისახება გამტარის წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება ფორმულით? განმარტე ფორმულაში შემავალი სიდიდეები.
- რას გვიჩვენებს წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი?
- როგორია წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათი:
 - ლითონებისთვის;
 - ელექტროლიტებისთვის.
 ახსენი თითოეულ შემთხვევაში წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათი.
- როგორ გამოისახება გამტარის კუთრი წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება ფორმულით? განმარტე ფორმულაში შემავალი სიდიდეები.
- რას ნიშნავს ზეგამტარობა? რა ჰქვია ტემპერატურას, რომელზედაც ნივთიერება ზეგამტარი ხდება? რა თვისებები აქვს ნივთიერებას ზეგამტარულ მდგომარეობაში?
- რა გამოყენება აქვს პრაქტიკაში ზეგამტარებს და რატომ არ ხერხდება მათი ფართომასშტაბიანი გამოყენება?
- წინააღობის თერმომეტრში (სურ. 1.10) მუშა ელემენტი პლატინის მავთულია. განსაზღვრე, რისი ტოლია ღუმელში ტემპერატურა, თუ გახურებულ ღუმელში მოთავსებული წინააღობის თერმომეტრის ჩვენებაა $R = 14$ ომი, ხოლო 20°C ტემპერატურაზე – 5 ომი.
ჩათვალე, რომ წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება 1.6.1 ფორმულით აღინერება და ამოხსენი ამოცანა.
- წინააღობის თერმომეტრში მუშა ელემენტი რკინის მავთულია. განსაზღვრე, რისი ტოლია ღუმელში ტემპერატურა, თუ გახურებულ ღუმელში მოთავსებული წინააღობის თერმომეტრის ჩვენებაა $R = 18,25$ ომი, ხოლო 10°C ტემპერატურაზე – 15 ომი.
რკინის წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი $0,006^{\circ}\text{C}^{-1}$.
- 20°C -ზე ვოლფრამის ძაფის წინააღობა 2 ომია. გავარვარებულისა კი – 18,4 ომი. გამოთვალე გავარვარებული ძაფის ტემპერატურა.
- მუდმივი ძაბვის ქსელში ჩართულ სპილენძის მავთულში 0°C -ზე 32 მა დენი გადის, 100°C -ზე კი – 23 მა. გამოთვალე სპილენძის ტემპერატურული კოეფიციენტი.



სურ. 1.10

1.7. გამტართა მიმდევრობითი შეერთება

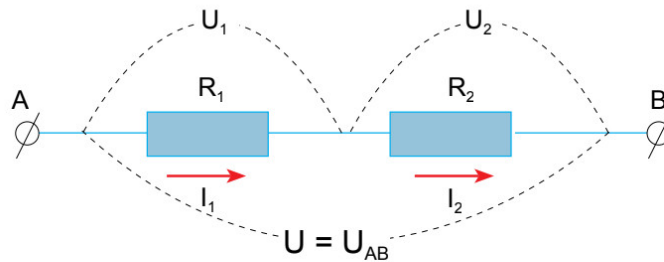
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 2 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

- აღწერე გამტართა როგორ შეერთებას ჰქვია: ა) მიმდევრობითი; ბ) პარალელური?
- ჩამოაყალიბე კანონზომიერებები გამტართა მიმდევრობითი შეერთებისას:
 - რა თანაფარდობაშია ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში გამავალი დენის ძალები;
 - როგორ განაწილდება უბნის ბოლოებს შორის არსებული საერთო ძაბვა უბანში მიმდევრობით შეერთებული გამტარების ბოლოებზე;
 - როგორ გამოითვლება იმ უბნის საერთო წინააღობა, რომელშიც რამდენიმე განსხვავებული წინააღობის მქონე გამტარი მიმდევრობითაა შეერთებული.
 - როგორ გამოითვლება იმ უბნის საერთო წინააღობა, რომელშიც რამდენიმე ერთნაირი წინააღობის მქონე გამტარი მიმდევრობითაა შეერთებული.

№ 3 – 17 ამოცანებში დახაზე წრედის სქემა.

გაითვალისწინე:

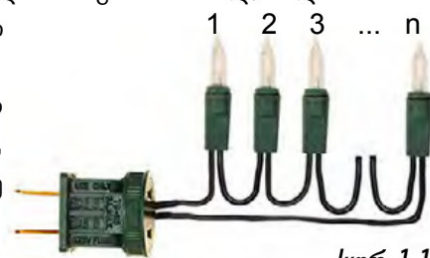
1. დენის წყაროს მომჭერებზე დაბვა იგივეა, რაც იმ უბნის ბოლოებს შორის საერთო დაბვა, რომელშიც გამტარები მიმდევრობითაა შეერთებული (სურ. 1.11);



სურ. 1.11

2. შემადგენელი სადენების წინაღობა ნულის ტოლადაა მიიჩნეული.

3. 3,9 ომი წინაღობის ნათურასთან მიმდევრობითაა მიერთებული 2,41 ომი წინაღობის რეზისტორი. გამოთვალე მათი საერთო წინაღობა.
4. რეოსტატი და ორი ერთნაირი ნათურა მიმდევრობითაა შეერთებული წრედის უბანზე. გამოთვალე რეოსტატის წინაღობა, თუ ცნობილია, რომ ნათურებიდან თითოეულის წინაღობა 15 ომია, ხოლო წრედის უბნის საერთო წინაღობაა 54 ომი.
5. წრედის უბანზე ორი რეზისტორი, რომელთა წინაღობებია 1 და 8 კომი, მიმდევრობითაა შეერთებული. განსაზღვრე დაბვა თითოეული რეზისტორისა და წრედის უბნის ბოლოებს შორის, თუ ცნობილია, რომ დენის ძალა პირველ რეზისტორში 3 მა-ია.
6. ნათურის ვარვარების ძაფის წინაღობა 2,5 ომია. განსაზღვრე ვარვარების ძაფში გამავალი დენის ძალა და ნათურასთან მიმდევრობით მიერთებული რეზისტორის წინაღობა, თუ ცნობილია, რომ ნათურის ბოლოებზე არსებული დაბვა 5 ვ-ია, ხოლო დაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე (საერთო დაბვა) 9 ვ-ია.
7. მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორის წინაღობა შესაბამისად, 5 და 10 ომია. პირველის ბოლოებს შორის დაბვა 12 ვ-ის ტოლია. იპოვე დაბვა მეორე რეზისტორის ბოლოებს შორის და დაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე;
8. მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორის წინაღობა შესაბამისად, 5 და 10 ომია. დაბვა დენის წყაროს ბოლოებზე 60 ვ-ია. იპოვე წრედში გამავალი დენის ძალა.
9. ტოლი წინაღობის რამდენი ნათურა უნდა შევაერთოთ მიმდევრობით ნაძვის ხის გირლიანდაში (სურ. 1.12), თუ თითოეული ნათურა გაანგარიშებულია 4 ვ დაბვაზე და დაბვა ქსელში 120 ვ-ია.
10. მიმდევრობით შეერთებულია სამი გამტარი, რომელთა წინაღობებია 15 ომი, 17 ომი, 18 ომი. განსაზღვრე დენის ძალა წრედში და გამტართა ბოლოებთან მიერთებული ვოლტმეტრების ჩვენება, თუ საერთო დაბვა წრედის უბნის ბოლოებს შორის 100 ვოლტია.
11. წრედის უბანზე მიმდევრობით შეერთებულია სამი გამტარი, რომელთა წინაღობებია 3 ომი, 6 ომი, 3 ომი. განსაზღვრე დენის ძალა წრედის უბანში და საერთო დაბვა უბნის ბოლოებს შორის, თუ პირველი გამტარის ბოლოებს შორის ჩართული ვოლტმეტრი 2 ვ-ს გვიჩვენებს.
12. ელექტრული უთო გაანგარიშებულია 110 ვ დაბვაზე და 2 ა დენისთვის. რა წინაღობის გამტარი უნდა მივუერთოთ უთოს მიმდევრობით 220 ვ დაბვის ქსელში, რომ უთოში დასაშვები დენი გადიოდეს.
13. 220 ვ დაბვის ქსელში ჩართულია 5 ომი წინაღობის რეზისტორი. რა წინაღობის გამტარი უნდა ჩავერთოთ რეზისტორთან მიმდევრობით, რომ დენის ძალა წრედში 10 ამპერის ტოლი იყოს.



სურ. 1.12

14. 220 ვ ძაბვის ქსელში მიმდევრობით ჩართულია ელექტრული ქურა და ნათურა. პირველის წინაღობაა 40 ომი, მეორის კი – 400 ომი. განსაზღვრე ძაბვები ქურისა და ნათურის მომჭერებს შორის.
15. მიმდევრობით შეერთებული ორი ნათურიდან ერთი ნათურის წინაღობა 3-ჯერ აღემატება მეორე ნათურის წინაღობას. იპოვე თითოეული ნათურის ბოლოებს შორის ძაბვა, თუ ძაბვა დენის წყაროს მოჭერებზე 120 ვ-ია.
16. ელექტრულ წრედში მიმდევრობით ჩართულია ორი გამტარი, რომელთა წინაღობების შეფარდებაა 1 : 2. რისი ტოლია ამ გამტარების ბოლოებს შორის ძაბვები, თუ ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე 60 ვ-ია.
17. მიმდევრობით შეერთებულია 8 და 12 ომი წინაღობის გამტარები. განსაზღვრე დენის ძალა წრედში და ძაბვა ამ გამტართა ბოლოებზე, თუ დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვა 80 ვ-ია.

1.8. გამტართა პარალელური შეერთება

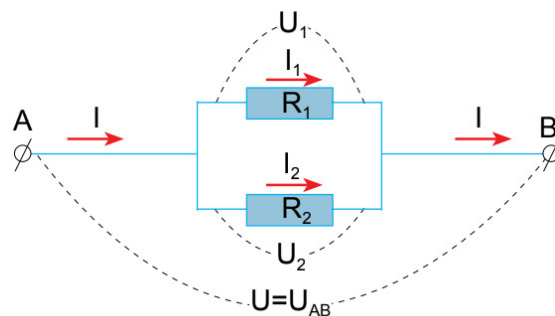
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. ჩამოაყალიბე კანონზომიერებები გამტართა პარალელური შეერთებისას:
 - ა) როგორ განაწილდება წრედში გამავალი დენის ძალა პარალელურად შეერთებულ გამტარებში;
 - ბ) რა თანაფარდობაშია ერთმანეთთან ძაბვები პარალელურად შეერთებული გამტარების ბოლოებს შორის?
 - გ) როგორ გამოითვლება იმ უბნის საერთო წინაღობა, რომელშიც რამდენიმე განსხვავებული წინაღობის მქონე გამტარი პარალელურადაა შეერთებული.
 - გ) როგორ გამოითვლება იმ უბნის საერთო წინაღობა, რომელშიც ერთნაირი წინაღობის მქონე გამტარი პარალელურადაა შეერთებული.

№ 2 – 10 ამოცანებში დახაზე წრედის სქემა.

გაითვალისწინე:

1. დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვა იგივეა, რაც იმ უბნის ბოლოებს შორის საერთო ძაბვა, რომელშიც გამტარები პარალელურადაა შეერთებული (სურ. 1.13)



სურ. 1.13

2. შემაერთებელი სადენების წინაღობა ნულის ტოლადაა მიჩნეული.
2. წრედის უბანზე 40 ომი და 20 ომი წინაღობის გამტარები პარალელურადაა ჩართული. განსაზღვრე:
 - ა) წრედის უბნის საერთო წინაღობა;
 - ბ) ძაბვა მეორე გამტარისა და უბნის ბოლოებს შორის, თუ პირველი გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა 12 ვ-ია;
 - გ) დენის ძალა წრედსა და თითოეულ გამტარში, თუ ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე 80 ვ-ია;

3. წრედის უბანზე 2 ომი და 8 ომი წინააღმდეგობის გამტარები პარალელურადაა ჩართული. პირველ გამტარში 0,5 ა დენი გადის. განსაზღვრე:
 - ა) მეორე გამტარში გამავალი დენის ძალა;
 - ბ) უბანში გამავალი დენის ძალა;
 - გ) ძაბვა თითოეული გამტარისა და უბნის ბოლოებს შორის.
4. წრედის უბანზე ორი 200 ომიანი ნათურა პარალელურადაა ჩართული. განსაზღვრე:
 - ა) წრედის უბნის საერთო წინააღმდეგობა;
 - ბ) ძაბვა მეორე ნათურისა და უბნის ბოლოებს შორის, თუ პირველი ნათურის ბოლოებს შორის ძაბვა 200 ვ-ია;
 - გ) დენის ძალა წრედში და თითოეულ ნათურაში, თუ ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე 80 ვ-ია;
5. წრედის უბანზე სამი გამტარი, რომელთა წინააღმდეგობებია 5 ომი, 3 ომი და 6 ომი, პარალელურადაა შეერთებული. გამოთვალე:
 - ა) წრედის უბნის საერთო წინააღმდეგობა.
 - ბ) ძაბვა მეორე, მესამე გამტარისა და უბნის ბოლოებს შორის, თუ პირველი გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა 36 ვ-ია;
 - გ) დენის ძალა თითოეულ გამტარში და წრედში, თუ ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე 3 ვ-ია;
6. პარალელურად ჩართულია ტოლი წინააღმდეგობის 5 ნათურა. განსაზღვრე თითოეული ნათურის წინააღმდეგობა, თუ ცნობილია, რომ წრედის საერთო წინააღმდეგობაა 65 ომი.
7. წრედის უბანზე სამი 45 ომიანი ნათურა პარალელურადაა ჩართული. პირველ გამტარში 0,5 ა დენი გადის. განსაზღვრე:
 - ა) მეორე და მესამე ნათურაში გამავალი დენის ძალა;
 - ბ) უბანში გამავალი სრული დენის ძალა;
 - გ) ძაბვა თითოეული გამტარისა და უბნის ბოლოებს შორის.
8. წრედის უბანზე პარალელურად ჩართულია ტოლი სიგრძისა და ერთნაირი განივკვეთის რკინისა და სპილენძის მავთულები. განსაზღვრე დენი სპილენძის მავთულში, თუ რკინის მავთულში 85 მა დენი გადის.
9. პარალელურად შეერთებული ორი ტოლი წინააღმდეგობის მქონე გამტარის საერთო წინააღმდეგობა 4 ომია. განსაზღვრე ამ გამტართა საერთო წინააღმდეგობა მიმდევრობითი შეერთებისას.
10. ორი ნათურა, რომელთაგან თითოეულის წინააღმდეგობა 254 ომია, ჯერ ჩართეს მიმდევრობით, ხოლო შემდეგ პარალელურად. რა სიდიდის დენი გაივლის ნათურებში თითოეულ შემთხვევაში, თუ ქსელში ძაბვა 127 ვოლტია.

1.9. ფიზიკა ამოცანებში: გამტართა მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

1. დახაზე წრედის სქემა ორი ჩამრთველის, ორი ნათურისა და ელემენტის გამოყენებით. წრედში ჩართული ორი ნათურიდან თითოეული ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად უნდა ინთებოდეს.
2. მორიგე ექიმის კაბინეტში ელექტროზარი და სამი ნათურაა. დახაზე წრედის სქემა, რომელიც საშუალებას მისცემს სამ სხვადასხვა ოთახში მყოფ პაციენტს, ექიმის კაბინეტში ზარი დარეკონ. იმის მიხედვით კი, თუ რომელი ნათურა ინთება, მორიგე უნდა მიხვდეს, რომელ ოთახში გამოიძახეს.
3. სამსართულიანი სკოლის თითოეულ სართულზე გაყვანილია ელექტროზარი. სამივე ზარი ერთდროულად ირეკება ერთსა და იმავე ლილაკზე ხელის დაჭერით. დახაზე ამ გაყვანილობის სქემა.
4. ორსართულიანი სახლის სხვადასხვა სართულზე მცხოვრებმა ორმა მეგობარმა გადაწყვიტეს ერთი ბატარეის საშუალებით თავიანთ ბინებში ელექტროზარების ისე

დაყენება, რომ თითოეულ მათგანს შეეძლოს თავის ბინაში ღილაკზე ხელის დაჭერით მეგობრის ზარის დარეკვა. მოიფიქრე ამ წრედის სქემა.

5. წრედში ჩართულია ნათურა, ზარი და სამი ჩამრთველი. ერთი ჩამრთველის საშუალებით ნათურა ინთება, მეორის საშუალებით ზარი რეკავს, ხოლო მესამით – ნათურა ინთება და ზარი რეკავს. დახაზე ამ წრედის სქემა.
6. მოცემულია სამი გამტარი, რომელთა წინააღობებია 5 ომი, 3 ომი და 6 ომი. განიხილე სამი გამტარის შეერთების სხვადასხვა ვარიანტი და გამოთვალე თითოეულ შემთხვევაში საერთო წინააღობა.
7. განსაზღვრე, რამდენ ტოლ ნაწილად უნდა გაიჭრას $R = 36$ ომი წინააღობის მქონე გამტარი, რომ ამ ნაწილების სრული წინააღობა მათი პარალელურად შეერთების შემდეგ $R_0 = 1$ ომი აღმოჩნდეს.
8. სურათ 1.14-ზე გამოსახული წრედის მიხედვით განსაზღვრე:

ა) წრედის სრული წინააღობა;

ბ) მთელ წრედში გამავალი დენის ძალა, თუ ცნობილია რომ ძაბვა A და B წერტილებს შორის 80 ვ-ია;

გ) R_2 წინააღობაში გამავალი დენის ძალა;

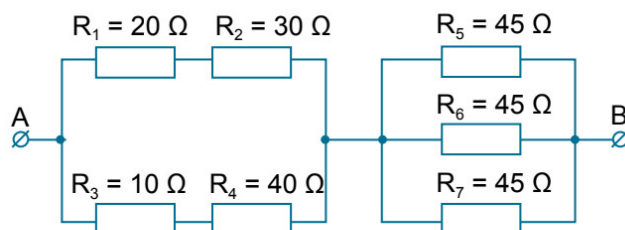
დ) R_5 წინააღობაში გამავალი დენის ძალა;

ე) I_2/I_1 (I_2 და I_1 შესაბამისად, R_2 და R_1 წინააღობებში გამავალი დენის ძალებია);

ვ) U_2/U_1 (U_2 და U_1 შესაბამისად, R_2 და R_1 წინააღობების ბოლოებს შორის ძაბვებია);

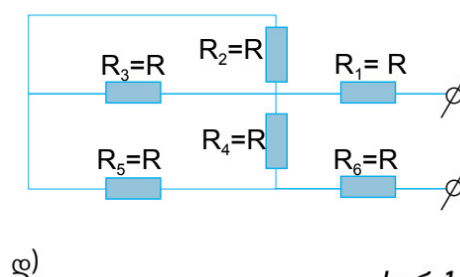
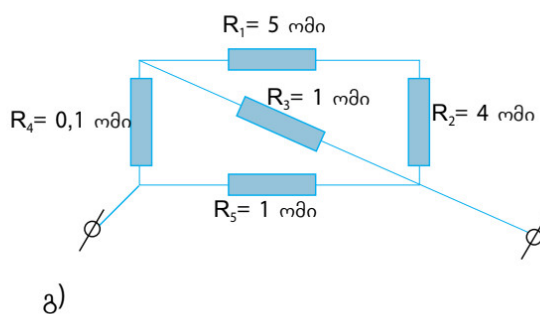
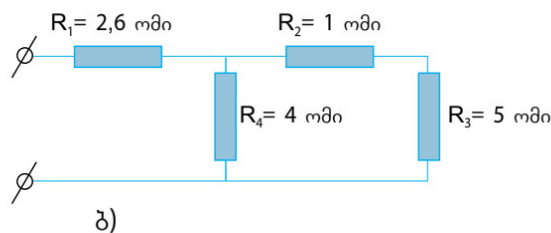
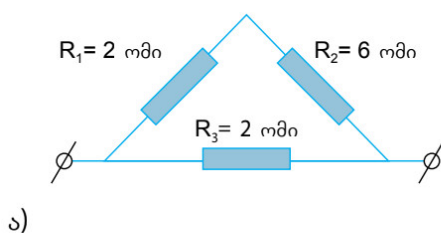
ზ) U_2/U_4 (U_2 და U_4 შესაბამისად, R_2 და R_4 წინააღობების ბოლოებს შორის ძაბვებია);

თ) U_2/U_6 (U_2 და U_6 შესაბამისად, R_2 და R_6 წინააღობების ბოლოებს შორის ძაბვებია).

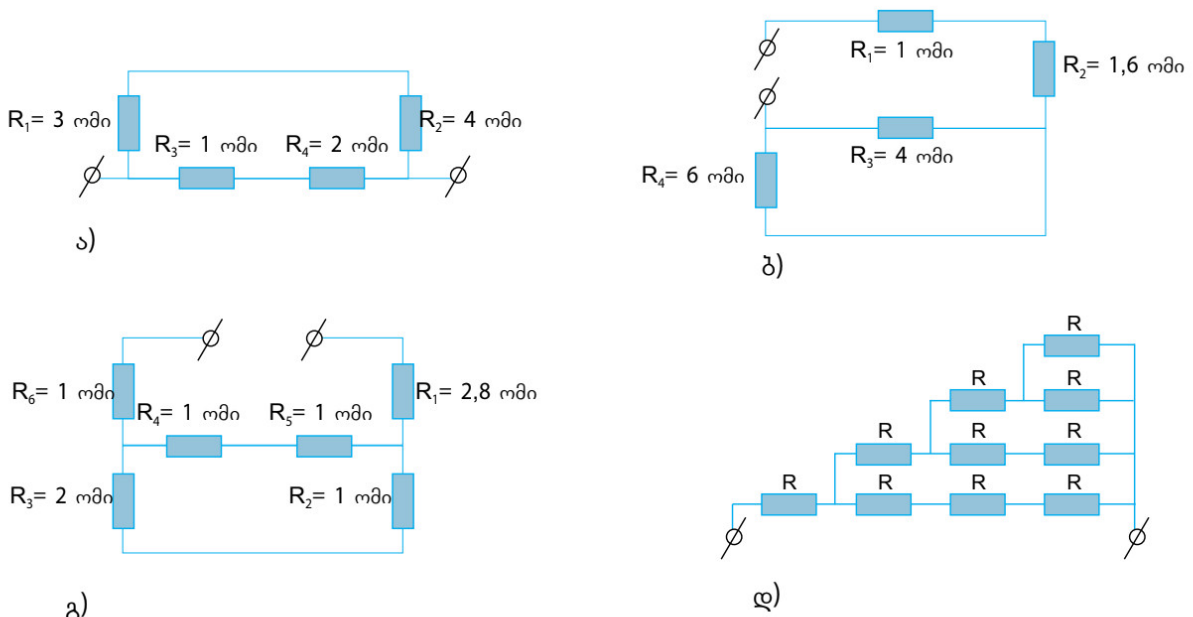


სურ. 1.14

9. გამოთვალე იმ წრედების სრული წინააღობა, რომელთა სქემები 1.15 – 1.16 სურათებზეა გამოსახული;

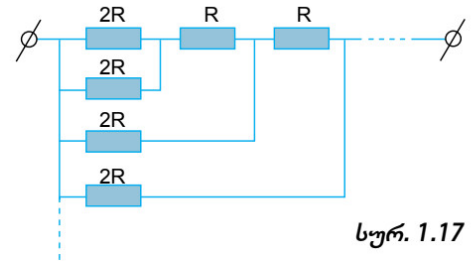


სურ. 1.15

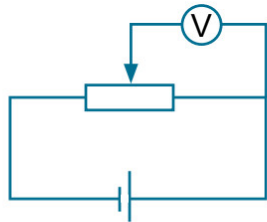


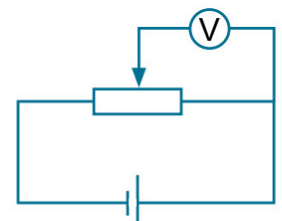
სურ. 1.16

10. გამოთვალე მთლიან წრედში გამავალი დენის ძალა, თუ ცნობილია ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე:
- | | |
|---------------------------------|-----|
| ა) სურ.1.15 ა -ზე: $U = 3,2$ ვ; | ბ) |
| სურ.1.15 ბ -ზე: $U = 5$ ვ | |
| გ) სურ.1.15 გ -ზე: $U = 1$ ვ; | დ) |
| სურ.1.15 დ -ზე: $U = 5,2$ ვ | |
| ე) სურ.1.16 ა -ზე: $U = 8,4$ ვ; | ვ) |
| სურ.1.16 ბ -ზე: $U = 10$ ვ | |
| ზ) სურ.1.17 გ -ზე: $U = 20$ ვ | |



სურ. 1.17

11. გამოთვალე თითოეულ რეზისტორში გამავალი დენის ძალა (სურ. 1.15 – 1.16).
 12. განსაზღვრე თითოეული რეზისტორის ბოლოებს შორის ძაბვა (სურ. 1.15 – 1.16).
 13. წრედი, რომლის სქემაცაა გამოსახული სურათ 1.17-ზე, უსასრულო რაოდენობის რეზისტორებისგან შედგება. გამოთვალე წრედის სრული R_0 წინაღობა.
 14. იმისათვის, რომ მილიამპერმეტრი, რომლის გაზომვის ზღვარია $I_0 = 25$ მა, შიგა წინაღობა $r = 10$ ომი, $I = 5$ ა დენის გასაზომად გამოვიყენოთ, საჭიროა მას R_0 წინაღობის მქონე შუნტი მივუერთოთ. განსაზღვრე შუნტის წინაღობა. მითითება: შუნტი არის გამტარი, რომელსაც მილიამპერმეტრის პარალელურად რთავენ.
 15. $r = 3$ კომი შიგა წინაღობის მქონე ვოლტმეტრი გაანგარიშებულია $U_0 = 30$ ვ მაქსიმალური ძაბვის გასაზომად. გამოთვალე, რა დამატებითი წინაღობა R_0 უნდა მივუერთოთ ვოლტმეტრს, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელი გახდეს $U = 150$ ვ ძაბვის გაზომვა. **მითითება:** დამატებითი წინაღობა არის გამტარი, რომელსაც ვოლტმეტრთან მიმდევრობით რთავენ.
 16. მილიამპერმეტრის გაზომვის ზღვარი 10 მა-ია. რა უნდა გავაკეთოთ იმისათვის, რომ მოცემული ამპერმეტრით 1 ა დენის ძალა გავზომოთ. ამპერმეტრის წინაღობაა 9,9 ომი.
 17. ამპერმეტრის წინაღობა 0,04 ომია. ამპერმეტრის პარალელურად ჩართეს 15 სმ სიგრძისა და 3 მმ² განივკვეთის სპილენძის მავთული. რა სიდიდის დენი გადის წრედში, თუ ამპერმეტრის ჩვენებაა 0,1 ა.
 18. ვოლტმეტრის წინაღობა 1,5 კომია. რა დამატებითი წინაღობა უნდა მივუერთოთ ვოლტმეტრს, რომ მისი დანაყოფის ფასი 5-ჯერ გაიზარდოს.
- 
- სურ. 1.18



სურ. 1.18

19. ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარი 20 ვ-ია. რა დამატებითი წინაღობა უნდა მივუერთოთ ვოლტმეტრს იმისათვის, რომ 120 ვ ძაბვა გავზომოთ. გაითვალისწინე, რომ ვოლტმეტრში გამავალი დენის ძალა 5 მა-ს არ უნდა აღემატებოდეს.
20. რისი ტოლია ვოლტმეტრის ჩვენება (სურ. 1.18), თუ პოტენციომეტრზე მოდებულია 110 ვ ძაბვა და მცოცავი კონტაქტი პოტენციომეტრის შუაში დგას. ვოლტმეტრის წინაღობაა 10 კომი.

1.10. დენის მუშაობა და სიმძლავრე

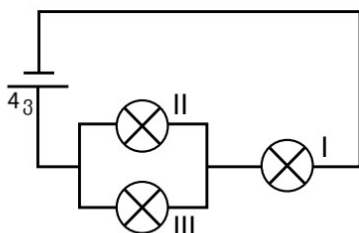
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 9 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რა შემთხვევაში ამბობენ, რომ „ელექტრული დენი მუშაობას ასრულებს“?
2. როგორ გამოითვლება ელექტრული დენის მუშაობა? რა არის ელექტრული დენის მუშაობის ერთეული SI-ში?
3. რომელი ფორმულის გამოყენებაა მოსახერხებელი დენის მუშაობის გამოსათვლელად:
 - ა) გამტართა მიმდევრობით შეერთებისას? რატომ?
 - ბ) გამტართა პარალელურად შეერთებისას? რატომ?
4. რა კავშირშია ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობა ელექტრომომხმარებლის მიერ მოხმარებული/დახარჯული ელექტრული ენერგიის რაოდენობასთან?
5. რას გვიჩვენებს ელექტრული დენის სიმძლავრე?
6. როგორ გამოითვლება ელექტრული დენის სიმძლავრე? რა არის ელექტრული დენის სიმძლავრის ერთეული SI-ში?
7. ვატის გარდა, სიმძლავრის კიდევ რომელ ერთეულებს იყენებენ პრაქტიკაში? რა თანაფარდობაშია ისინი 1 ვატთან?
8. რომელი ფიზიკური სიდიდის ერთეულია 1 კვტ·სთ ?
9. რომელი ხელსაწყოთი და როგორ აღრიცხავენ დახარჯულ ელექტროენერგიას?
10. წრედის უბანზე ჩართული ამპერმეტრის ჩვენება 10 ა-ია, ვოლტმეტრისა კი 24 ვ. გამოთვალე ელექტრული დენის მიერ წრედის უბანში 20 წთ-ში შესრულებული მუშაობა. გამოსახე მუშაობა ჯოულებითა და კვტ·სთ-ებით.
11. ელექტრული ქურა, რომლის წინაღობაა 80 ომი, ჩართულია 220 ვ ძაბვის ქსელში. რამდენ ელექტროენერგიას მოიხმარს ქურა 6 საათში? გამოსახე მოხმარებული ელექტრული ენერგია ჯოულებითა და კვტ·სთ-ებით.
12. ორი ერთნაირი, 100 ვტ-იანი და 120 ვ ძაბვაზე გათვლილი, ნათურა ჩართულია 220 ვ ძაბვის ქსელში. როგორ უნდა იყოს ნათურები შეერთებული, რომ ისინი მწყობრიდან არ გამოვიდეს? გამოთვალე თითოეულ ნათურაში გამოყოფილი სიმძლავრე იმ შემთხვევაში, როცა ისინი სწორადაა ჩართული ქსელში.
13. რა სიგრძის უნდა იყოს ქრომის მავთულის სიგრძე, რომ მისგან ისეთი გამათბობლის სპირალი დაამზადონ, რომლის სიმძლავრე 700 ვატია და გათვლილია 220 ვ ძაბვაზე. მავთულის განივკვეთის ფართობია 0,5 მმ². ქრომის კუთრი წინაღობაა 1,4 ომი · მმ²/მ.
14. 250 ვ ძაბვის ქსელში ამავე ძაბვაზე გათვლილ 500 და 25 ვატიან ნათურებს რთავენ. რომელ მათგანში გამოიყოფა მეტი სიმძლავრე და რამდენჯერ, თუ ცნობილია, რომ ნათურები ერთმანეთთან შეერთებულია ა) მიმდევრობით; ბ) პარალელურად. რომელი ნათურა გაანათებს თითოეულ შემთხვევაში უკეთესად?
15. ერთნაირი, 440 ომი წინაღობის 10 ნათურა 220 ვ ძაბვის ქსელშია ჩართული. გამოთვალე თითოეულ მათგანზე და გარე წრედში გამოყოფილი სრული სიმძლავრე, თუ ცნობილია, რომ ნათურები ერთმანეთთან
 - ა) მიმდევრობითაა შეერთებული; ბ) პარალელურადაა შეერთებული.

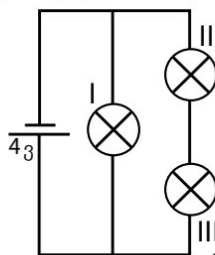
1.11. ჯოულ - ლენსის კანონი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 5 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

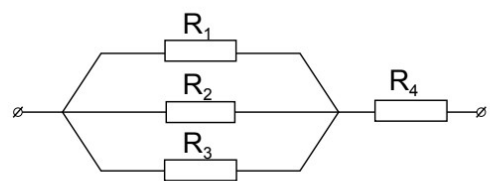
1. რატომ თბება ლითონის გამტარი მასში დენის გავლისას?
2. ჩამოაყალიბე ჯოულ-ლენსის კანონი.
3. როგორ უკავშირდება დენიანი გამტარის მიერ გარემოში გამოყოფილი სითბოს როდენობა დენის მიერ შესრულებულ მუშაობას?
4. რა მოვლენას ეფუძნება დნობადი დამცველის მუშაობა და რისთვის გამოიყენებენ მას?
5. მოიყვანე მაგალითები, რომლებიც დენის სითბური მოქმედების სასარგებლო და საზიანო მხარეებს ასახავს.
6. განსაზღვრე სითბოს რაოდენობა, რომელიც 1 წთ-ის განმავლობაში 10 ომი წინააღობის დენიან გამტარში გამოიყოფა, თუ ცნობილია, რომ მის განივკვეთში ყოველ წამში 10 კ მუხტი გადის.
7. 10 წუთში 5 ომი წინააღობის დენიან გამტარში 12 კჯ სითბოს რაოდენობა გამოიყოფა. გამოთვალე დენის ძალა გამტარში.
8. განსაზღვრე ერთი თვის (30 დღის) განმავლობაში დახარჯული ელექტროენერგიის საფასური, 100 ვტ-იანი ვარვარების, 20 ვტ-იანი ლუმინესცენციური ნათურისა და 10 ვტ-იანი დიოდური ნათურის შემთხვევაში შემთხვევაში ცალ-ცალკე, თუ ცნობილია, რომ დღის განმავლობაში ნათურები საშუალოდ 5 სთ-ის განმავლობაში ანთია და 1 კვტ·სთ ენერგიის ღირებულება 23 თეთრია.
9. ელექტროგამათბობლის სპირალის ბოლოებს შორის ძაბვა 220 ვ-ია და მასში 10 ა დენი გადის. გამოთვალე გამათბობლის
 - ა) სპირალის წინააღობა;
 - ბ) მუშაობისას სპირალში გამოყოფილი სიმძლავრე;
 - გ) სპირალის მიერ 1 საათის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერგია;
 - დ) სპირალში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.
10. გამოთვალე თითოეულ ნათურაში და გარე წრედში 3 წთ-ის განმავლობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ ცნობილია, რომ თითოეული ნათურის წინააღობაა 3 ომი, ხოლო ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე 4 ვ-ია (სურ. 1.19 და 1.20).
11. ცნობილია, რომ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$. როგორ შეფარდება R_2 და R_4 წინააღობებში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობები ერთმანეთს (სურ. 1.21);
12. წყლის გასათბობად t დროის განმავლობაში Q სითბოს რაოდენობაა საჭირო. რა სიგრძის გამტარია საჭირო ელექტროგამათბობლის დასამზადებლად, თუ ცნობილია, რომ გამტარის კუთრი წინააღობაა ρ , ხოლო განივკვეთის დიამეტრია d . გამტარში გამავალი დენის ძალაა I .
13. ნიკელინის მავთულის რამდენი ხვია უნდა $D = 1,5$ სმ დიამეტრის ფაიფურის ცილინდრს, რომ ის ელექტრომაგდულარას როლში გამოვიყენოთ. მადულარა, ყოველ 10 წუთში 36 კჯ სითბოს უნდა გამოჰყოფდეს, როცა მასში 2 ა დენი გადის. ცნობილია, რომ ნიკელინის მავთულის განივკვეთის დიამეტრი $d = 0,2$ მმ-ია.



სურ. 1.19



სურ. 1.20



სურ. 1.21

1.12. ფიზიკა ამოცანებში: დენის მუშაობა და სიმძლავრე. ჯოულ – ლენსის კანონი

1. ელექტრული ქურა, რომლის წინააღობაა 80 ომი, ჩართულია 220 ვ ძაბვის ქვეშ. რა დრო დასჭირდება ჩაიდანში 3 ლ 10°C -იანი წყლის ადუღებას (დუღილის ტემპერატურამდე მიყვანას), თუ ჩაიდნის მქკ 60%-ია. ჩაიდნის სითბოტევადობას მხედველობაში ნუ მიიღებ.
2. ამნეს ელექტროძრავა, რომელიც 380 ვ ძაბვის ქვეშაა ჩართული, მუშაობისას 20 ა დენს მოიხმარს. იპოვე ამნეს მქკ, თუ ამნეს 19 მ სიმაღლეზე 1ტ ტვირთი 50 წმ-ში თანაბრად ააქვს.

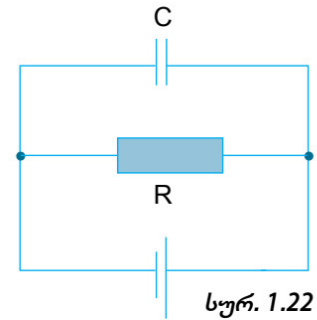
1.13. დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 9 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რას ეწოდება დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ) და როგორ გამოითვლება ის?
2. რას გვიჩვენებს დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ)? რა ერთეულებში იზომება ის?
3. როგორი სიდიდეა მოცემული დენის წყაროსთვის ემძ?
4. რის ხარჯზე ხდება მუხტის გადაადგილება გარე წრედში? მუხტის გადამტანების ენერგიის დანაკარგის შევსება ჩაკეტილ წრედში გადაადგილებისას?
5. ჩამოაყალიბე ომის კანონი სრული წრედისთვის.
6. როგორ უკავშირდება დენის წყაროს ემძ დენის წყაროს პოლუსებს შორის ძაბვას, თუ გარე წრედში წინააღობა:
ა) უსასრულოდ იზრდება ($R \rightarrow \infty$) ბ) ძალიან მცირდება ($R \rightarrow 0$).
7. რა არის მოკლე ჩართვა და რა შემთხვევაში ხდება ის?
8. რაზეა დამოკიდებული მოკლე ჩართვის დენი?
9. როგორ განისაზღვრება დენის წყაროს ემძ ექსპერიმენტულად?
10. განსაზღვრე, რა სიდიდის დენი გაივლის 17 ომი წინააღობის მქონე რეზისტორში, რომელიც 6 ვ ემძ-სა და 1 ომი შიგა წინააღობის მქონე დენის წყაროსთანაა მიერთებული.
11. განსაზღვრე იმ დენის წყაროს ემძ, რომლის შიგა წინააღობა 2 ომია, ხოლო დენის წყაროსთან მიერთებული გარე წრედის წინააღობა – 13 ომი. ცნობილია, რომ დენის ძალა წრედში 2 ა-ია.
12. განსაზღვრე, რისი ტოლია დენი მოკლე ჩართვისას, თუ დენის წყაროს ემძ 20 ვ-ია, ხოლო მისი შიგა წინააღობა – 1,5 ომი.
13. თუ დენის წყაროსთან 14 ომი წინააღობის მქონე გამტარს მივაერთებთ, მის ბოლოებზე ძაბვა 28 ვ აღმოჩნდება, ხოლო თუ იმავე დენის წყაროსთან 29 ომი წინააღობის მქონე გამტარს მივაერთებთ, ძაბვა მის ბოლოებზე 29 ვ იქნება. განსაზღვრე დენის წყაროს ემძ და შიგა წინააღობა.
14. დენის წყაროს შიგა წინააღობა k -ჯერ ნაკლებია გარე წრედის წინააღობაზე. განსაზღვრე, რამდენჯერ ნაკლებია ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე დენის წყაროს ემძ-ზე.
15. $n = 200$ ცალი ელექტრონათურა, რომელთაგან თითოეულის წინააღობა $R_0 = 300$ ომია, შეერთებულია პარალელურად და ჩართულია წყაროსთან, რომლის ემძ $\mathcal{E} = 100$ ვ-ია, შიგა წინააღობა კი $r = 0,5$ ომი. იპოვეთ თითოეული ნათურის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე.

1.14. ფიზიკა ამოცანებში: დენის წყაროს ელექტრომომძრავებელი ძალა

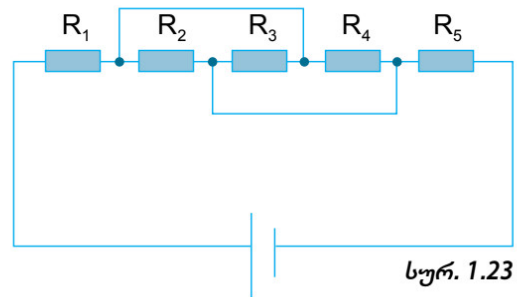
1. წრედში, რომლის სქემაცაა გამოსახული სურათ 1.22-ზე, 20 ომი წინააღობის მქონე რეზისტორთან პარალელურადაა ჩართული 5 მკფ ტევადობის კონდენსატორი. განსაზღვრე წრედში დენის წყაროს ემძ, თუ ცნობილია, რომ მისი შიგა წინააღობა 2 ომია, ხოლო კონდენსატორის მუხტია 10 მკკ.



სურ. 1.22

2. განსაზღვრე, რა სიდიდის მუხტი დაგროვდება 20 პფ ტევადობის კონდენსატორზე, თუ მას მიეწერება დენის წყაროს, რომლის ემძ 2 ვ-ია.
3. პარალელურად ჩართული ორი რეზისტორი, რომელთა წინააღობებია $R_1 = 40$ ომი და $R_2 = 10$ ომი, მიერთებულია დენის წყაროსთან, რომლის ემძ $\mathcal{E} = 10$ ვ-ია. დენის ძალა წრედში $I = 1$ ა-ია. განსაზღვრე, რისი ტოლი იქნება დენის I_0 ძალა წრედში მოკლე ჩართვისას.

4. განსაზღვრე დენის ძალა წრედში, რომლის სქემაცაა გამოსახული სურათ 1.23-ზე, თუ დენის წყაროს ემძ 24 ვ-ია, მისი შიგა წინააღობაა 2 ომი, ხოლო გარე წრედში ჩართული წინააღობებია: $R_1 = 2$ ომი, $R_2 = 9$ ომი, $R_3 = 9$ ომი, $R_4 = 9$ ომი, $R_5 = 5$ ომი.



სურ. 1.23

5. ელექტრული წრედი მიერთებულია დენის წყაროსთან, რომლის:
 - ა) ემძ 30 ვ-ია, შიგა წინააღობა კი – 1 ომი. გამოთვალე I_4 დენის ძალა იმ უბანზე, რომლის წინააღობაა R_4 და U_2 ძაბვა R_2 რეზისტორის ბოლოებზე (სურ. 1.15 ბ);
 - ბ) ემძ 21 ვ-ია, შიგა წინააღობა კი – 2 ომი. გამოთვალე I_3 დენის ძალა იმ უბანზე, რომლის წინააღობაა R_3 და U_1 ძაბვა R_1 რეზისტორის ბოლოებზე (სურ. 1.16, ბ);
 - გ) ემძ 10 ვ-ია, შიგა წინააღობა კი – 0,5 ომი. გამოთვალე I_5 , U_3 და U_1 (სურ. 1.15 გ);
 - დ) ემძ 24 ვ-ია, შიგა წინააღობა კი – 1 ომი. გამოთვალე I_4 , U_1 და U_5 (სურ. 1.15 გ).
6. გამოთვალე, რამდენი ერთნაირი დენის ელემენტი უნდა შევავერთოთ მიმდევრობით, რომ გარე წრედში 110 ვ ძაბვა და 5 ა დენი მივიღოთ. თითოეული ელემენტის ემძ 2 ვ-ია, ხოლო შიგა წინააღობა – 0,2 ომი.

I თავის მოკლე შინაარსი

ელექტრული დენი

ელექტრული დენი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას ჰქვია. თავად დამუხტულ ნაწილაკებს კი – **მუხტის გადამტანებს** უწოდებენ.

ლითონის გამტარებში ელექტრული მუხტის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია, ელექტროლიტებში კი – დადებითი და უარყოფითი იონები.

გამტარში დენის მიმართულებად იმ მიმართულებას მიიჩნევენ, რომელი მიმართულებითაც ელექტრული ველის გავლენით დადებითად დამუხტული ნაწილაკები იმოძრავენ. დენის მიმართულებად მიღებულია მიმართულება დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან უარყოფისკენ.

დენის ძალა

დენის ძალა სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გადატანილი მუხტის სიდიდეს. დენის ძალა გამოითვლება ფორმულით:

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

რომელშიც q გადატანილი მუხტის სიდიდეა, Δt დრო, რომლის განმავლობაშიც გამტარის განივკვეთში მუხტი გადის.

ლითონის გამტარში დენის ძალა ასეც გამოითვლება: $I = \frac{ne}{\Delta t}$, რომელშიც n თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობაა, ხოლო e ელემენტარული მუხტია.

თუ დენის ძალა და დენის მიმართულება დროის მიხედვით უცვლელია, მაშინ დენს **მუდმივი დენი** ჰქვია. დენის ძალის ერთეული SI-ში 1 ამპერია (1 ა, A). პრაქტიკაში გამოიყენება დენის ძალის სხვა ერთეულებიც:

1 კილოამპერი (კა) = 10^3 ა; 1 მილიამპერი (მა) = 10^{-3} ა; 1 მიკროამპერი (მკა) = 10^{-6} ა.

დენის ძალა გამტარში დამოკიდებულია დამუხტული ნაწილაკების კონცენტრაციაზე, თითოეული ნაწილაკის მიერ გადატანილ მუხტზე, ნაწილაკთა მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარესა და გამტარის განივკვეთის ფართობზე. ეს დამოკიდებულება მათემატიკურად ასე გამოისახება:

$$I = q_0 n v S.$$

ელექტრული წინაღობა

წინაღობა გამტარის ძირითადი ელექტრული მახასიათებელია: ის გამტარის მხრიდან მასში გამავალი დენისადმი წინააღმდეგობის გაწევის უნარს ახასიათებს.

გამტარის წინაღობა გამოითვლება ფორმულით

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

სადაც l გამტარის სიგრძეა, S განივკვეთის ფართობია, ხოლო ρ გამტარის კუთრი წინაღობაა.

წინაღობის ერთეული ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) 1 ომია (ომი, Ω).

პრაქტიკაში გვხვდება წინაღობის სხვა ერთეულებიც:

1 კილოომი (კომი) = 10^3 ომი; 1 მეგაომი (მომი) = 10^6 ომი.

ომის კანონი წრედის უზენაესი

წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებზე არსებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია უბნის წინაღობისა:

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

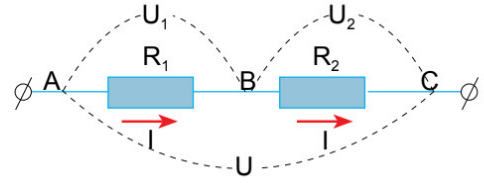
გამტართა მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას:

1. დენის ძალა გამტარებში ერთნაირია: $I_1 = I_2 = I$;
2. საერთო ძაბვა წრედში გამტართა ბოლოებს შორის არსებულ ძაბვათა ჯამის ტოლია:

$$U = U_1 + U_2;$$
3. გამტარების ბოლოებზე ძაბვები გამტართა წინააღობების პირდაპირპროპორციულად განაწილდება: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$;
4. გამტართა საერთო წინააღობა ცალკეულ გამტართა წინააღობების ჯამის ტოლია:

$$R = R_1 + R_2.$$

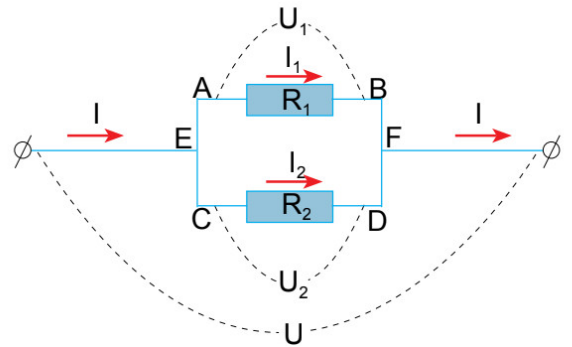


გამტართა პარალელური შეერთებისას

გამტარების პარალელური შეერთებისას:

1. ძაბვა გამტარების ბოლოებზე ერთნაირია:

$$U = U_1 = U_2;$$
2. დენის ძალა მთელ წრედში ცალკეულ გამტარებში გამავალი დენის ძალების ჯამის ტოლია: $I = I_1 + I_2$;
3. დენის ძალა გამტარებში წინააღობების უკუპროპორციულად განაწილდება: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$;
4. გამტართა საერთო წინააღობა გამოითვლება ფორმულით: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.



დენის სიმძლავრე

დენის სიმძლავრე არის სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს რიცხვობრივად, რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული დენი დროის ერთეულში (რა რაოდენობის ელექტრულ ენერგიას მოიხმარს/ხარჯავს ელექტრომომხმარებელი). გამოითვლება ფორმულებით:

$$P = \frac{A}{\Delta t}; \quad P = I U; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = I^2 R.$$

ერთეულთა საერთაშორისო SI სისტემაში (SI-ში) სიმძლავრის ერთეული 1 ვატი (ვტ, W). პრაქტიკაში სიმძლავრის უფრო დიდი, ვატის ჯერადი ერთეულები გამოიყენება:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ჰექტოვატი (ჰვტ)} &= 10^2 \text{ ვტ}; & 1 \text{ კილოვატი (კვტ)} &= 10^3 \text{ ვტ} \\ 1 \text{ მეგავატი (მგვტ)} &= 10^6 \text{ ვტ}; & 1 \text{ გიგავატი (გვტ)} &= 10^9 \text{ ვტ} \end{aligned}$$

ჯოულ-ლენსის კანონი

დენიანი გამტარის მიერ გარემოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია დენის ძალის კვადრატის, გამტარის წინააღობისა და დროის იმ შუალედის ნამრავლის, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადის: $Q = I^2 R t$.

ომის კანონს ჩაქეტილი წრედისთვის

დენის ძალა ჩაქეტილ წრედში პირდაპირპროპორციულია დენის წყაროს ემძ-ისა და უკუპროპორციულია წრედის შიგა და გარე წინააღობათა ჯამისა (ანუ, წრედის სრული წინააღობისა).

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

პროექტი № 4: ბალდადის „ბატარეა“ ანუ, 2000 წლის წინ დაწყებული ელექტრობის ისტორია.



სურ. 1

მეცნიერების ისტორია ელექტროტექნიკის ეპოქის დასაწყისად 1800 წელს მიიჩნევა, როცა ალესანდრო ვოლტამ შეამჩნია, რომ სხვადასხვა ლითონისგან დამზადებული ელექტროდების ელექტროლიტის წყალხსნარში მოთავსებისას მათ შორის დენი აღიძვრებოდა. სწორედ ამ მოვლენამ შთააგონა მას პირველი ელექტრული ბატარეის შექმნა. მოკლედ, აქედან იწყება ელექტროტექნიკის ისტორია და არც არავის შეპარვია ეჭვი, რომ ელექტრული ბატარეის გამომგონებელი სწორედ ალესანდრო ვოლტა იყო, მაგრამ ეს იყო 1938 წლამდე, ანუ მანამდე, სანამ ბალდადის ახლოს არქეოლოგიური გათხრებისას მომცრო თიხის ქოთანს არ აღმოაჩინეს...

მას, ალბათ, ყურადღებას არავინ მიაქცევდა, შემთხვევით მისი შიგთავსი რომ არ ენახათ...

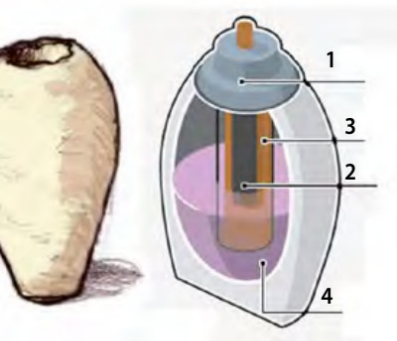
1938 წელს ბალდადის „ბატარეა“, გერმანელმა არქეოლოგმა, ერაცის ნაციონალური მუზეუმის მეცნიერ-თანამშრომელმა (მომავალში მისმა დირექტორმა) ვილჰელმ კონიგმა აღწერა და 1940 წელს გამოაქვეყნა სტატია, რომელმაც მთელი მსოფლიოს მეცნიერებს, ინჟინრებს, ისტორიკოსებს, არქეოლოგებს თავსატეხი გაუჩინა...

კონიგი პირველი იყო, ვინც გამოთქვა ჰიპოთეზა, რომ უძველესი არტეფაქტი, რომელიც ძვ. წ. 248 – 226 წლებით თარიღდება, ელექტრული ბატარეა უნდა ყოფილიყო (სურ. 2).

ქოთნის თავსახურში (1) (რომელიც თიხითაა დაგმანული) რკინის ღეროა (2) გაყრილი, ხოლო შიგნით ცილინდრულად დახვეული სპილენძის ფირფიტაა (3) მოთავსებული. ჟანგისა და კოროზიის

თავი II

ელექტრული დენი სხვადასხვა ბარემოში



სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4

კვალი ქოთნის ლითონის დეტალებზე მოწმობდა, რომ მასში, სავარაუდოდ, ღვინოს ან ძმარს ინახავდნენ...

კონიგის აზრით, ქოთანში მხოლოდ ელექტროლიტის ჩასხმა საჭირო და... ის დენის გენერირებას შეძლებს.

სტატიის გამოქვეყნების შემდეგ უამრავი ადამიანი (მეცნიერები, ინჟინრები ან, უბრალოდ, სამეცნიერო ექსპერიმენტით დაინტერესებული) ცდილობდა, შეექმნათ ბაღდადის „ბატარეის“ მსგავსი მოწყობილობა, თუმცა კვლევებს მეორე მსოფლიო ომმა შეუშალა ხელი...

1945 წელს გერმანელმა ინჟინერმა ვინკლერმა უძველესი „ბატარეის“ რამდენიმე ანალოგი დაამზადა. ელექტროლიტად ძმარმჟავასა და ლიმონმჟავას ხსნარები გამოიყენა (აღმოჩნდა, რომ ძმარსა და ლიმონს უძველესი პარტნერებიც კარგად იცნობდნენ). 10%-იანი ძმარმჟავას ხსნარის გამოყენებით 0,5 ვ ძაბვა მიიღო, ლიმონმჟავას ხსნარით კი – 0,54 ვ. ვინკლერმა რამდენიმე ბატარეა მიმდევრობით შეაერთა და 1,5 -2 ვ-მდე ძაბვის მიღებაც შეძლო...

1947 წელს, „General Electric“-ის ლაბორატორიის მეცნიერ-თანამშრომელმა, უილარდ გრემი, ბაღდადის „ბატარეის“ ანალოგი დაამზადა და ექსპერიმენტების სერია წამოიწყო. ის სხვადასხვა ელექტროლიტს ასხამდა „ბატარეაში“ (ყურძნის წვენს, ძმარს, ლიმონის წვენს, შაბიამნის წყალხსნარს) და ყოველ ჯერზე ძაბვასა და დენის ძალას ზომავდა. გრემი შაბიამნის წყალხსნარის დახმარებით 0,8-დან 2 ვოლტამდე ძაბვისა და 0,5 – 5 მა დენის ძალის მიღება შეძლო (სურ.3).

1999 წელს მასაჩუსეტსში, სმიტის კოლეჯის სტუდენტებმა მათემატიკისა და ისტორიის პროფესორის, მარჯორი სენეშალის, ხელმძღვანელობით ბაღდადის არტეფაქტის ანალოგები დაამზადეს. მათ ქოთანი ძმრით შეავსეს და 1,1, ვ ძაბვა მიიღეს.

2005 წელს „Discovery Channel“-ის სატელევიზიო გადაცემა „მითების დამამსხვრეველში“ („Myth Busters“) შემოქმედებითმა გუნდმა ადრეული ექსპერიმენტები გაიმეორა და დაადასტურა, რომ ბაღდადის არტეფაქტის გამოყენება დენის წყაროს როლში ნამდვილად შესაძლებელია (სურ. 4). დაადასტურე შენც და ამისათვის თავად დაამზადე ბაღდადის „ბატარეა“.

დავლება 1. დაამზადე ბაღდადის „ბატარეა“

სამუშაოსთვის დაგჭირდება: მინის ჭურჭელი (ქილა) 4 ცალი (200 მლ), სპილენძის (8 ცალი), თუთიისა (4 ცალი) და რკინის (4 ცალი) ლურსმანი, ლიმონმჟავა, ძმარმჟავა, ღვინო, შაბიამანი, წყალი, მულტიმეტრი, შემაერთებული სადენები კლიპსებით, რეზინის ხელთათმანები.

მუშაობის დაწყებამდე გადახედე ინფორმაციას:

<http://bitly.ws/t2Vm>

<http://bitly.ws/t2Vq>

<http://bitly.ws/sSG6>

სამუშაოს მსვლელობის ეტაპები:

1. სამ სხვადასხვა ჭურჭელში ჩაასხი 100 მლ წყალი, მეოთხეში კი – 50 მლ წყალი და 50 მლ ღვინო (სურ. 5);

2. წყლიან ჭურჭლებში გახსენი:

ა) 1-ლში: 10 გ ლიმონმჟავა;

ბ) მე-2-ში: 10გ შაბიამანი;

გ) მე-3-ში: 10 მლ ძმარმჟავა;



სურ. 5

3. ხსნარებში მოათავსე ელექტროდები: 1 ცალი სპილენძისა და 1 ცალი თუთიის ლურსმანი;

4. გაზომე ელექტროდებს შორის ძაბვა ყველა ჭურჭელში (სურ.6). ჩაიწერე მონაცემები;

5. გაიმეორე ცდა, ოღონდ ამჯერად შეცვალე:

ა) ელექტროდები: ხსნარებში მოათავსე 1 ცალი სპილენძისა და 1 ცალი რკინის ლურსმანი;

ბ) ხსნარების კონცენტრაცია: გააორმაგე წყალში გახსნილი ნივთიერების (პროდუქტის) რაოდენობა;

6. ჩატარებული ცდების შედეგები წარმოადგინე დიაგრამის სახით.

განალიზე შედეგები და გამოიტანე დასკვნა: რაზეა დამოკიდებული ძაბვა, რომელსაც შენ მიერ დამზადებული „ბატარეა“ გაძლევს?

7. შეაერთე მიმდევრობით შენ მიერ დამზადებული დენის წყაროები (აარჩიე მათგან სამი, რომლებმაც შედარებით მეტი ძაბვა მოგცა) და გაზომე ძაბვა მიღებული ბატარეის ბოლოებზე;

8. გამოთვალე მიმდევრობით შეერთების შედეგად მიღებული ბატარეის ემძ და შიდა წინაღობა (იხ. ამოცანები: 1.13.1, 1.14.3)

9. თუ მინის ქილებს მჭიდროდ მოარგებ თავსახურს, რომელშიც ლურსმანებია გაყრილი და გარედან შეფუთავ (მაგ., აგურისფერი ქაღალდით), შენი ქილები ბალდადის „ბატარეის“ ასლებად გადაიქცევა... თუმცა, დიზაინის უკეთ მისამსგავსებლად, შეგიძლია, უფრო საინტერესო ხერხი მოიფიქრო.

10. აღწერე, როგორ მიიღება ელექტრული ენერგია ბალდადის „ბატარეაში“.

იმ შემთხვევაშიც კი, თუ დადასტურდება, რომ ბალდადის არტეფაქტი უძველესი დენის წყაროა, ეჭვი მაინც რჩება: შეეძლოთ თუ არა უძველეს დროში ადამიანებს ელექტრობის ფენომენის გააზრება, თუნდაც შემთხვევით, მაგრამ მართლაც რომ აღმოეჩინათ ის?

რატომ შეწყდა 2000 წლის წინ დაწყებული ელექტრობის ისტორია? ამ კითხვებზე პასუხს მხოლოდ ახალი არქეოლოგიური აღმოჩენებისა და მტკიცებულებების საფუძველზე თუ გასცემს მეცნიერება, თორემ სხვა შემთხვევაში ეჭვი ეჭვად დარჩება. მეცნიერების ისტორიამ მხოლოდ ის შემოგვინახა, როგორ შეიქმნა პირველი ელექტრული ბატარეა.

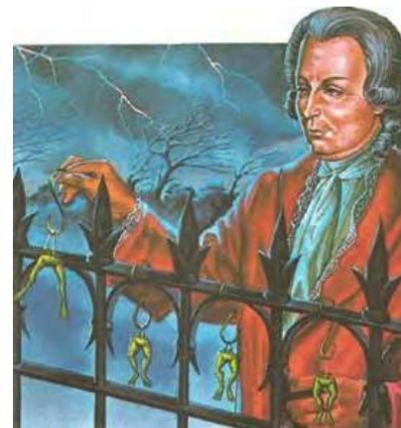
შენ ნაწილობრივ იცნობ იმ ბედნიერი შემთხვევითობის ისტორიას, რომელმაც შემდგომში ელექტრული ბატარეის შექმნას დაუდო საფუძველი, თუმცა არ იცი მისი გაგრძელება: იმ დროს, როცა ლუიჯი გალვანი მკვდარი ბაყაყის ფეხის კუნთზე ცდებს ატარებდა, განვიმდა და საშინელი ჭექა-ქუხილის ფონზე გალვანის სურვილი გაუქრა, ექსპერიმენტი გაეგრძელებინა. ბაყაყის ფეხი იქვე, რკინის ლობზე გადაკიდა და თან, ეტყობა სიჩქარისგან, არც ის სპილენძის ინსტრუმენტები მოხსნა, რომლითაც, სავარაუდოდ, ნერვს კუნთისგან აცალკევებდა (სურ.7).

ნერვი, რომელშიც სპილენძის ინსტრუმენტი იყო მიმაგრებული, რკინის ლობეს შეეხო... კუნთი შეიკუმშა: იქმნებოდა შთაბეჭდილება, რომ ბაყაყი გაცოცხლდა! თუმცა გალვანის ისეთი „დეტალისტის“, როგორიც სხვადასხვა ლითონის ბაყაყის კუნთთან შეხება იყო, ყურადღება არ მიუქცევია, მისი ექსპერიმენტები სულ სხვა გზით წარიმართა. მეცნიერი იმ შედეგმა უფრო დააინტერესა, რომელსაც ელექტრული დენის გავლა იწვევდა კუნთში...

გალვანის ბევრი მიმზადებული და მიმდევარი გამოუჩნდა. მათ შორის ერთი ჭეშმარიტი მეცნიერი და ძალიან დაკვირვებული ფიზიკოსიც აღმოჩნდა, რომლის ყურადღება სწორედ იმ „უმნიშვნელო დეტალმა“



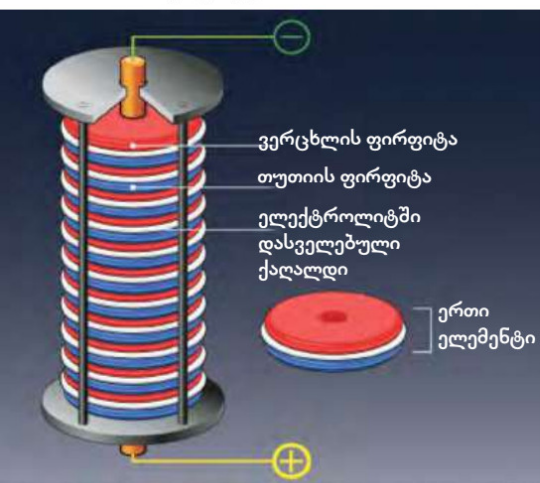
სურ. 6



სურ. 7



სურ. 8. რაულ დიუფი – ვოლტა და გალვანი



სურ. 9



სურ. 10

მიიპყრო, რომელსაც თავის დროზე გალვანიმ ყურადღება არ მიაქცია. ეს **ალესანდრო ვოლტა** (1745 – 1827) იყო. ის მიხვდა, რომ თუ სპილენძისა და რკინის სხეულები ელექტროგამტარ გარემოში (ასეთი გარემო იყო სწორედ ბაყაყის ორგანიზმი) ერთად აღმოჩნდება, ელექტრული დენი წარმოიქმნება და სწორედ ელექტრული დენია კუნთის შეკუმშვის მიზეზი.

გადამწყვეტი ექსპერიმენტი ვოლტამ თავის თავზე ჩაატარა: ენაზე ვერცხლის მონეტა დაიდო, თვალის კაკალზე კი – თუთიის ფირფიტა და ლითონის გამტარით ორივეს ერთდროულად შეეხო... შეხებისას ისეთი შეგრძნება ჰქონდა, თითქმის თვალი ელვამ გაუნათა (**ცდა ძალიან სახიფათოა და არ გაიმეორო!**).

მეცნიერი მიხვდა, თუ როგორ შეიძლებოდა სხვადასხვა ლითონის ფირფიტებისა და რაიმე თხევადი გამტარი გარემოს (ელექტროლიტის) გამოყენებით დენის წყარო დაემზადებინა და შექმნა კიდეც **პირველი ელექტროქიმიური ელემენტი** (სურ. 9): ვერცხლისა და თუთიის მრგვალ ფირფიტებს შორის მარილწყალში დასველებული ქაღალდი მოათავსა. ვერცხლისა და თუთიის ფირფიტას შორის პოტენციალთა სხვაობა აღიძრა...

მერე ისევ ბუნებამ უკარნახა ვოლტას, რა უნდა გაეკეთებინა. ვოლტა კარგად იცნობდა ელექტრული თევზების მიერ დენის გენერირების უნარს, ის აკვირდებოდა გველთევზას ელექტრული ორგანოების სვეტისებრ განლაგებას (სურ. 10) და მიხვდა, რომ თავისი ელემენტის გასაძლიერებლად მისთვის უნდა „მიეზადა“: რამდენიმე ელემენტი დაამზადა და ერთმანეთზე მიმდევრობით დააწყო... ელემენტების სვეტისებურად განლაგებით ვოლტამ გაცილებით დიდი ძაბვა მიიღო.

ვოლტას მიერ შექმნილ ბატარეას **„ვოლტას სვეტი“** უწოდეს. „ვოლტას სვეტის“ შექმნით ელექტროსტატიკის ეპოქა დამთავრდა და დაიწყო ელექტროტექნიკის ეპოქა... სწორედ ვოლტას სვეტს უნდა უმადლოდეს უამრავი მეცნიერი თავის აღმოჩენას (მაგ., ელექტროლიზის, ელექტრული რკალის და ა. შ.).

ვოლტას ინიციატივით, მის მიერ შექმნილ ელექტრულ ბატარეას, გალვანის პატივსაცემად, **„გალვანური ელემენტი“** ეწოდა.



დავალე 2. დაამზადე ვოლტას სვეტი.

მოიძიე დამატებითი ინფორმაცია:

<http://bitly.ws/t2XL>

<http://bitly.ws/t2XQ>

<http://bitly.ws/t2XV>



დაგჭირდება: სპილენძისა და თუთიის თხელი ფირფიტები (ან მზა დისკები), 20 თეთრიანი მონეტები (5 ცალი), ფოლგის ფურცელი, ელექტროლიტი (მარილ-ხსნარი, ლიმონის წვენი, ძმარი), ქაღალდის ფურცელი, საიზოლაციო ლენტა, გამომყვანი სადენები, შუქდიოდი.



1. გამოჭერი 20-თეთრიანი მონეტის ზომის წრეები სპილენძისგან, თუთიისა და ქაღალდისგან (5-5 ცალი);

2. მოათავსე ქაღალდის წრეები მარილხსნარში, რომ ხსნარით კარგად გაიჟლინოს;

3. დაალაგე ლითონებისა და ქაღალდის ფირფიტები მონაცვლეობით ისე, როგორც ეს მე-11 სურათზეა მითითებული:

4. დაამაგრე გამომყვანი სადენები სვეტის ქვედა და ზედა ფირფიტაზე და სვეტი საიზოლაციო ლენტით შეკარი;

5. გაზომე ძაბვა სადენების ბოლოებს შორის:

ა) თუ ძაბვის მნიშვნელობა 2 ვ-ს არ აღემატება, მიუერთე ბატარეას შუქდიოდი და დააკვირდი შენ მიერ შექმნილი წყაროს ეფექტურობას;

ბ) თუ ძაბვა საკმარისი არ არის, შუქდიოდი არ აინთება. მოიფიქრე, რა უნდა გააკეთო იმისათვის, რომ შუქდიოდი აინთოს?

6. ჩაატარე ცდები: **შეცვალე**

ა) **ლითონები**: ერთი ლითონის ფირფიტის ნაცვლად 20-თეთრიანი მონეტა აიღე, მეორე კი ჩაანაცვლე ალუმინის ფოლგისგან გამოჭრილი ფირფიტით;

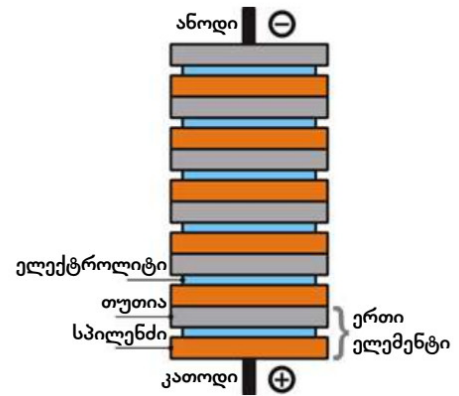
ბ) **ელექტროლიტი**: ქაღალდის ფირფიტები სხვადასხვა ელექტროლიტებით გაჟლინეთ.

7. **დააკვირდი**: რომელ შემთხვევაში მიიღე უფრო მაღალი ძაბვა?

წარმოადგინე ცდის შედეგები დიაგრამის სახით;

8. **გამოთვალე** „საუკეთესო“ ბატარეის ემპ და შინაგანი წინაღობა.

9. **ახსენი**: ვოლტას სვეტის მოქმედების პრინციპი ანუ, როგორ მიიღება მასში ელექტრული ენერგია.



სურ. 11



დავალება 3. დაამზადე ხილისა და ბოსტეულისგან ელექტრული ბატარეა.

მოიძიე დამატებითი ინფორმაცია:

<http://bitly.ws/t2Ya> <http://bitly.ws/t2Yd> <http://bitly.ws/t2Yi>



1. ელექტროდებად გამოიყენე სხვადასხვა ლითონები: მაგ., სპილენძი და თუთია, სპილენძი და რკინა;

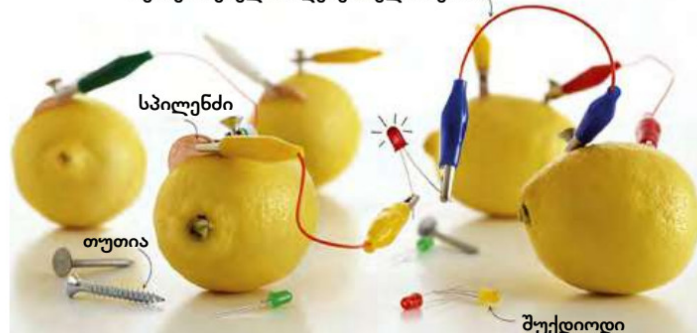
2. ააწყვე მიმდევრობით შეერთებული ლითონებისგან ელექტრული ბატარეა;

3. **გამოთვალე** ლითონის ბატარეის ემპ და შინაგანი წინაღობა.

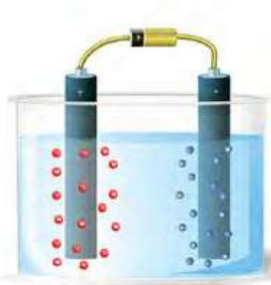
4. **ახსენი** ლითონის ბატარეის მოქმედების პრინციპი ანუ, როგორ მიიღება მასში ელექტრული ენერგია;

5. ჩაატარე ცდები და სცადე ბატარეის შექმნა სხვადასხვა ხილისა და ბოსტეულისგან (კარტოფილის, ვაშლის, მჟავე კიტრისგან და ა. შ.). **გაითვალისწინე**: შენ მიერ შექმნილმა ბატარეამ შუქდიოდი უნდა აანთოს.

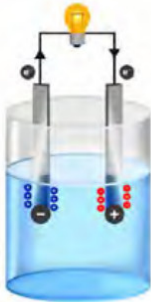
შემართებული სადენები კლიპებით



სურ. 12



სურ. 13



სურ. 14

დავალეზა 4. დენის ელექტროქიმიური წყაროები ორგვარია: ელექტროლიტური (სურ. 13) და გალვანური (სურ. 14). მათ შორის მსგავსებაცაა და განსხვავებაც.

გაეცანი ინფორმაციას: <http://bitly.ws/t8yB>
<http://bitly.ws/t2Yr> <http://bitly.ws/t2Ys>



1. ახსენი, როგორ მიიღება ელექტროლიტურ და გალვანურ ელემენტებში ელექტრული ენერგია (ამისათვის, ქიმიის გაკვეთილებზე მიღებული ცოდნა გამოგადგება);
2. წარმოადგინე ცხრილის სახით, რა მსგავსება და რა განსხვავებაა ელექტროლიტურ და გალვანურ ელემენტებს შორის;
3. როგორია შენ მიერ პროექტის ფარგლებში დამზადებული ელემენტები (ბაღდადის ბატარეა, ვოლტას სვეტი, ლიმონის ბატარეა): გალვანური თუ ელექტროლიტური?

ახსენი თითოეული მათგანის მოქმედების პრინციპი ანუ, როგორ მიიღება მათში ელექტრული ენერგია.

4. დამზადე ელექტროლიტური ელემენტი. განსაზღვრე მისი ემძ და შინაგანი წინააღობა.

დავალეზა 5.

თანამედროვე დენის ქიმიური წყაროების კონსტრუქცია სხვადასხვანაირია, მაგრამ ყველა მათგანში დადებითი და უარყოფითი მუხტების განცალკევება ქიმიური რეაქციების შედეგად ხდება. მაგ., გალვანური ელემენტებში (სურ.15) და აკუმულატორებში (სურ.16). ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t8yE>



მოიძიე ყოფა-ცხოვრებაში გამოყენებული დენის ქიმიური წყაროების შესახებ ინფორმაცია და ახსენი მათი მოქმედების პრინციპი.



სურ. 15. მშრალი ბატარეა



სურ. 16. აკუმულატორი

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული დენის წყარო და კვლევის შედეგები. პრეზენტაციაში უნდა ჩანდეს:

1. სამუშაოს ცალკეული ეტაპის აღწერა და მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამედვე პროცესს შორის, რომლებსაც ცდის მსვლელობისას აკვირდებოდი (მაგ., რატომ გაცალკევდება გალვანურ ელემენტში დადებითი და უარყოფითი მუხტები, როგორ მიიღება ელექტრული ენერგია, რაზეა დამოკიდებული გალვანური ელემენტის ემძ და ა.შ.);

2. როგორ გარდაიქმნება დენის ქიმიურ წყაროებში ქიმიური ენერგია ელექტრულ ენერგიად, ელექტრული ენერგია კი – სხვა სახის (მაგ., სინათლის) ენერგიად.

თუ ბალდადის „ბატარეა“ მართლაც ელექტრული დენის მიღებისთვის გამოიყენებოდა, რა მიზნით იყენებდნენ ელექტრულ დენს უძველეს დროში? ეს არის კითხვა, რომელიც მკვლევრებს დღემდე არ ასვენებს.

ხომ არ იყენებდნენ მას ძველი ეგვიპტელები მაგ., დენდერას ნათურისთვის? ბალდადის ბატარეის სიმძლავრე ძალიან მცირეა: 1ვატი სიმძლავრის მისაღებად, ანუ იმისათვის, რომ სარიტუალო ტაძრების ბნელი დერეფნები თუნდაც უმნიშვნელო სინათლით გაენათებინათ, 100-მდე მიმდევრობით შეერთებული ბალდადის „ბატარეა“ დასჭირდებოდათ...

„ტაძრების ბნელი გვირაბების გასანათებლად ქურუმებს 116 მილიონი ბალდადის „ბატარეა“ დასჭირდებოდათ, რომელთა საერთო მასა 233 600 ტონას შედგენს“ – დაასკვნა ფიზიკოსმა ფრანკ დერნენბურგმა. ეჭვი შეიძლება ამ რიცხვებშიც შეიტანო, მაგრამ მთავარი სხვაა: იმ შემთხვევაში, თუ ბალდადის ბატარეის მსგავს მოწყობილობებს განათებისთვის გამოიყენებდნენ, ბატარეები იმდენად დიდი რაოდენობით უნდა ჰქონოდათ ტაძრებში, რომ მათ თანამედროვე არქეოლოგები ყოველ ფეხის ნაბიჯზე აღმოაჩენდნენ... არც ერთი... არც ერთი „ბატარეა“ არ უპოვიათ ჰათორის ტაძართან (სურათ 2.1.1-ზე რეკონსტრუქციაა გამოსახული: ისეთი შთამბეჭდავი ზომის ვარვარების ნათურა, როგორიც დენდერას ე.წ. „ნათურაა“, თუნდაც თანამედროვე ტექნოლოგიით დამზადებული, ატმოსფერულ წნევას ვერ გაუძლებდა).

ხომ არ იყენებდნენ ბალდადის „ბატარეას“ სამკურნალო მიზნებისთვის? ცნობილია, რომ ბერძნები და რომაელები ელექტრული თევზებით მკურნალობდნენ: ავადმყოფს პირდაპირ ელექტრულ სკაროსზე აწვენდნენ. იქნებ ნაკლებ სლიპინა და უფრო მოსახერხებელ ელექტრობის წყაროს (მაგ., ბალდადის ბატარეას) იმისათვის იყენებდნენ, რომ პაციენტისთვის ტკივილი გაეყუჩებინათ (ე.წ. ელექტროანალგეზია)? თუმცა ჩვენამდე მოღწეულ არც ერთ წყაროში მკურნალობის ამგვარი მეთოდი აღწერილი არ არის.

ვილჰელმ კონიგმა თავის ცნობილ სტატიაში, გამოთქვა მოსაზრება, რომ ბალდადის „ბატარეას“ ძველი დროის ოსტატები **გალვანიზაციისთვის (გალვანოსტეგიისთვის)**, სპილენძისა და ვერცხლის ფიგურების მოოქროებისთვის იყენებდნენ (სურ. 2.1.2). მოსაზრება იმდენად დამაჯერებელი იყო, რომ მუზეუმებში ოქროს ექსპონატების გადამოწმება დაიწყო იმის გასარკვევად, ნამდვილად ოქროსი იყო ისინი თუ მხოლოდ მოოქროვილი... არც ერთი განაცხადი ამგვარი ფალსიფიკაციის შესახებ არ გაკეთებულა...

1978 წელს გერმანელმა ეგვიპტოლოგმა არნე ეგგბრეხტმა ბალდადის „ბატარეის“ მიმდევრობით შეერთებული ანალოგების გამოყენებით ეგვიპტური ღმერთის, ოსირისის, ვერცხლის ფიგურა ოქროს ფენით დაფარა...

2005 წელს ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე „მითების დამამსხვრევლებმაც“ დაადასტურეს, რომ ბალდადის „ბატარეის“ გამოყენებით გალვანიზაცია შესაძლებელია...

გაიგე უფრო მეტი: <http://bitly.ws/sSG5>

<http://bitly.ws/sSG6>



სურ. 2.1.1



სურ. 2.1.2



თუმცა მოსაზრება, რომ ბაღდადის ბატარეას ძველ დროში გალვანიზაციისთვის იყენებდნენ, მხოლოდ მოსაზრებად რჩება. მხოლოდ არქეოლოგიური აღმოჩენების საფუძველზე შეიძლება მტკიცება, მითია თუ რეალობა 2000 წლის წინ დაწყებული ელექტრობის ისტორია... მოოქროება არა მარტო გალვანიზაციით, არამედ ამალგამირების (სუფთა ლითონების მიღება მადნიდან ვერცხლისწყლის დახმარებით) მეთოდითაცაა შესაძლებელი, რომელიც უძველეს დროში კარგად იყო ცნობილი. რა მოვლენას ეფუძნება გალვანიზაცია (გალვანოსტეგია) და რა როლს ასრულებს ელექტრული დენი ამ მოვლენის მიმდინარეობისას, ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებ.

2.1.1. ელექტროლიზი

შენ იცი, რომ სითხეც, მყარი სხეულის მსგავსად, ელექტრული დენის გამტარობის თვისებასთან ერთად, შეიძლება გამტარიც იყოს და დიელექტრიკიც. **გამოხდილი (ქიმიურად სუფთა) წყალი დიელექტრიკია, მჟავების, ტუტეებისა და მარილების წყალხსნარები კი – გამტარები.** ამაში კიდევ ერთხელ დარწმუნდები, თუ მარტივ ცდას ჩაატარებ:

ცდა I



ცდისთვის საჭიროა: დენის წყარო (9 V), პატარა ნათურა (ფარნის ან შუქდიოდი), ჩამრთველი, ჭიქა (200მლ), გამოხდილი წყალი, სუფრის მარილი, სადენები კლიპსებით.

სამუშაოს მსვლელობა:

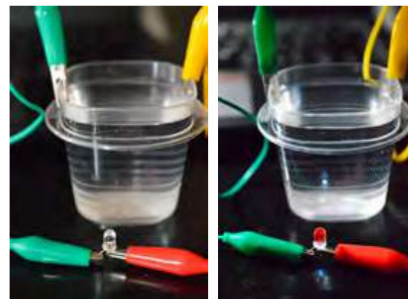
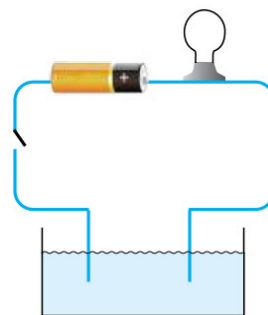
1. მიუერთე დენის წყაროს მიმდევრობით: ჩამრთველი, ნათურა და ჭიქა, რომლის კედლებზეც სადენები კლიპსებითაა მიმაგრებული (სურ.2.1.3).

2. ჩაასხი ჭურჭელში გამოხდილი წყალი ისე, რომ კლიპსები წყალში აღმოჩნდეს, და ჩართე წრედი.

დააკვირდი: აინთო თუ არა ნათურა?

3. ჩაყარე წყალში 1 ჩაის კოვზი სუფრის მარილი (NaCl) თანდათან და დააკვირდი: რა შეიცვალა?

4. **გამოთქვი ჰიპოთეზა:** რა იცვლება წყალში მარილის დამატების შედეგად? შეეცადე, ახსნა ცდის შედეგი.

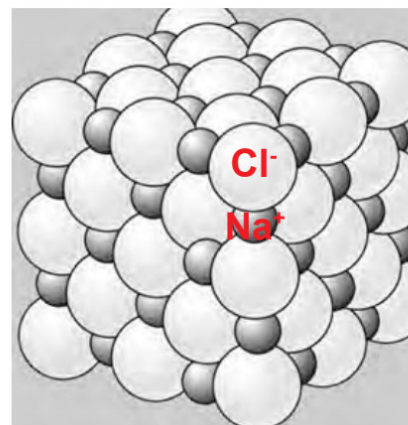


სურ. 2.1.3

I ცდის შედეგის ასახნელად გავიხსენოთ, როგორი აგებულება აქვს წყალს, სუფრის მარილს და რა იცვლება როცა წყალში მარილს ვუმატებთ.

შენ იცი, რომ წყალს მოლეკულური აგებულება აქვს. წყლის მოლეკულები ელექტრულად ნეიტრალური ნაწილაკებია. გამოხდილ, ქიმიურად სუფთა წყალში მუხტის გადამტანი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები არ არის, რის გამოც გამოხდილი წყალი დენს არ ატარებს.

სუფრის მარილს (ნატრიუმის ქლორიდს, NaCl) **იონური აგებულება აქვს:** მისი კრისტალური მესრის კვანძებში ნატრიუმის დადებითი (Na^+) და ქლორის უარყოფითი იონებია (Cl^-) განლაგებული (სურ. 2.1.4), მაგრამ მიუხედავად ამისა, მყარ მდგომარეობაში სუფრის მარილი დიელექტრიკია, რადგან იონებს თავისუფლად გადაადგილება არ შეუძლია (ისინი ერთმანეთთან ელექტროსტატიკური ძალებითაა დაკავშირებული).

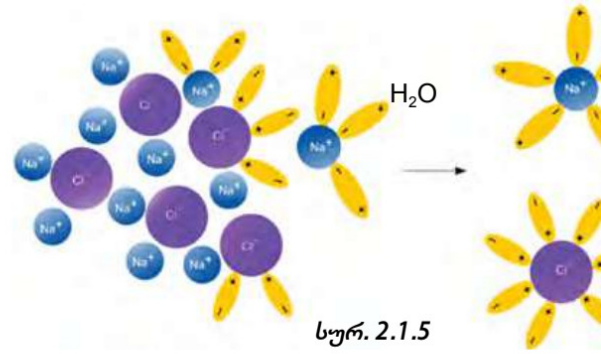


სურ. 2.1.4

რა ხდება, როცა სუფრის მარილს წყალში ვხსნით? გაიხსენე: წყლის მოლეკულები პოლარულ მოლეკულებს, დიპოლებს, წარმოადგენს: მათში დადებითი და უარყოფითი მუხტის განაწილების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა (სურ. 2.1.5).

წყლის დიპოლების ელექტრული ველი Na^+ -ისა და Cl^- -ის იონებს შორის კავშირს ისე ასუსტებს, რომ სითბური მოძრაობის ენერგია საკმარისია მარილის იონური კრისტალის ცალკეულ იონებად დასაშლელად ($\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$) (სურ. 2.1.5).

თუ მარილის წყალხსნარში ელექტრულ ველს შევქმნით (მასში დენის წყაროს სხვადასხვა პოლუსთან მიერთებულ ელექტროდებს ჩავუშვებთ), იონების ქაოსური სითბური მოძრაობა გარკვეულნილად მოწესრიგდება (სურ. 2.1.6): თავისუფალი დადებითი იონები (კათიონები) უარყოფითად დამუხტული ელექტროდისკენ, **კათოდისკენ**, დაიწყებს მიმართულ მოძრაობას, ხოლო უარყოფითი იონები (ანიონები) – დადებითი ელექტროდისკენ, **ანოდისკენ**. შედეგად კი მარილის წყალხსნარში დენი გაივლის (რასაც I ცდის შედეგიც მოწმობს).



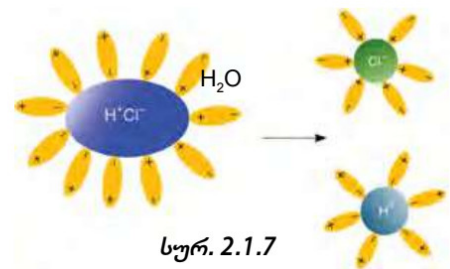
სურ. 2.1.5



სურ. 2.1.6

2.1.1

მარილმჟავას (HCl), სუფრის მარილისგან განსხვავებით, **მოლეკულური აგებულება აქვს**. დააკვირდი სურათ 2.1.7-ს და შეეცადე, აღწერო პროცესი, როგორ იშლება მარილმჟავას მოლეკულა წყლის მოლეკულების მოქმედებით ცალკეულ იონებად (H^+ ; Cl^-).



სურ. 2.1.7

ზოგადად, **ნივთიერებებს, რომლებსაც მხოლოდ იონური გამტარობა ახასიათებს** (გაიხსენე: ლითონებს ელექტრონული გამტარობა ახასიათებს), **ელექტროლიტები** ჰქვია. ხშირად კი, ამ სახელით ისეთ ნივთიერებებს მოიხსენიებენ, რომლებიც იონებად ხსნარებში იშლება. ელექტროლიტების ხსნარებსაც ელექტროლიტებს უწოდებენ და სწორედ მათ მიეკუთვნება მჟავების, ფუძეებისა და მარილების ხსნარები.

2.1.2. ელექტროლიტური დისოციაცია

ელექტროლიტების კრისტალური მესრის (მოლეკულების) დაშლას ცალკეულ იონებად, გამხსნელის (უმეტეს შემთხვევაში – წყლის) პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით, **ელექტროლიტური დისოციაცია** ჰქვია.

მაგ., წყლის დიპოლების ელექტრული ველის გავლენით ცალკეულ იონებად იშლება:

ა) გოგირმჟავას (H_2SO_4) მოლეკულები: $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

ბ) შაბიამნის (სპილენძის სულფატის, CuSO_4) მოლეკულები: $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

დისოციაციის ხარისხი, ანუ გახსნილი ნივთიერების იონებად დაშლილ მოლეკულათა რაოდენობა, დამოკიდებულია ხსნარის კონცენტრაციაზე, გამხსნელის დიელექტრიკულ შეღწევადობასა და ხსნარის ტემპერატურაზე. **ხსნარის ტემპერატურის გაზრდით დისოციაციის ხარისხი იზრდება**: იმატებს სითბური მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და შესაბამისად, თავისუფალი იონების კონცენტრაცია.

2.1.3. ელექტროლიზი და ელექტროლიზის სითხეები

ელექტროლიზის წყალხსნარებში (ან ნაღებებში) მუხტი თავისუფალ, დადებით და უარყოფით, იონებს გადააქვს: თუ ელექტროლიტში ელექტრულ ველს შევქმნით, დადებითი იონები კათოდისკენ დაიწყებენ მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას, ხოლო უარყოფითი იონები – ანოდისკენ. შედეგად, ელექტროლიტში დენი გაივლის.

ელექტრული დენი ელექტროლიტების ხსნარებში ელექტროლიტური დისოციაციის შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი იონების მიმართული მოძრაობაა.

ზოგადად, სითხეს, გარდა იონურისა, შეიძლება ელექტრონული გამტარობაც ახასიათებდეს. მაგ., ასეთი გამტარობა აქვს გამდნარ ლითონს.

ელექტროლიტების ტემპერატურის ზრდასთან ერთად დისოციაციის ხარისხი მატულობს და, შესაბამისად, ელექტროლიტის წინააღობა მცირდება (გაიხსენე: როგორ იცვლება ლითონების წინააღობა ტემპერატურის მატებისას).

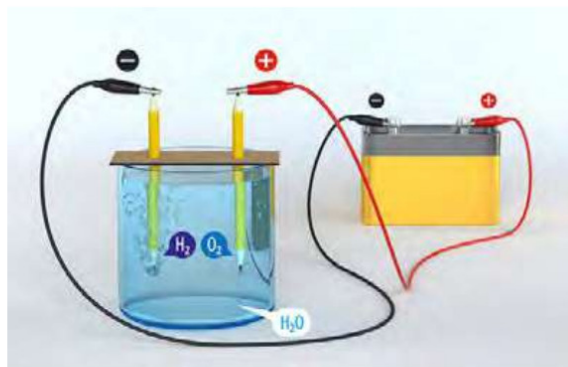
2.1.4. ელექტროლიზი

შენ იცი, რომ ელექტრულ დენს ქიმიური მოქმედება ახასიათებს. გაიხსენე ექსპერიმენტი, რომელიც დენის ქიმიურ მოქმედებაზე დაკვირვებისას ჩავატარეთ (§ 1.1, ცდა IV):

წყალში დენის გავლისას, მასში მოთავსებული ფანქრების (რომლებიც კათოდისა და ანოდის როლს ასრულებს) ნათილ წვერებთან ბუშტუკები გაჩნდა. ეს ქიმიური პროცესის მიმდინარეობაზე მიგვანიშნებს: წყალში დენის გავლისას კათოდსა და ანოდზე, შესაბამისად, წყალბადი და ჟანგბადი გამოიყოფა (სურ. 2.1.8): $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$.

არსებობს გამტართა გარკვეული კლასი, რომლებშიც ელექტრული დენის გავლას ყოველთვის თან სდევს ქიმიური გარდაქმნები. სწორედ ასეთი გამტარებია ელექტროლიტების წყალხსნარები. ელექტროლიტების წყალხსნარებში დენის გავლის შედეგად ელექტროდებზე ნივთიერებების გამოყოფის პროცესს ელექტროლიზი ჰქვია.

მოდით, ჩავატაროთ ცდა და დავაკვირდეთ ელექტროლიზის მოვლენას.



სურ.2.1.8

ცდა II

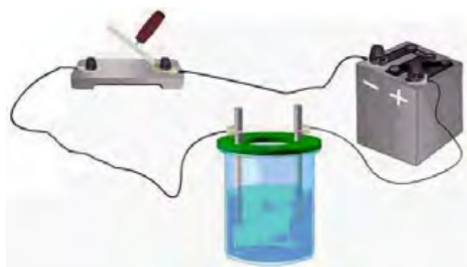


ცდისთვის საჭიროა: ელექტროლიტური აბაზანა – ჭურჭელი, რომლის თავსახურშიც მაგრდება ნახშირის ორი ელექტროდი – გამტარი ღეროები, რომლებიც დენის წყაროს პოლუსებთანაა შეერთებული.

დენის წყარო (12 ვ), რეოსტატი, ჩამრთველი, სადენები, შაბიამანი (CuSO_4).

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ჩაასხი ჭურჭელში შაბიამნის წყალხსნარი და ჩაუშვი შიგ წინასწარ გასუფთავებული ნახშირის ღეროები;
2. ააწყე წრედი 2.1.9 სურათის მიხედვით. ჩართე ჩამრთველი და 2-3 წთ-ის შემდეგ გამორთე;
3. ამოიღე ნახშირის ღეროები ხსნარიდან და დააკვირდი მათ ზედაპირს: კათოდი სპილენძისფრად შეღებილი. როგორ ფიქრობ რატომ?
4. გაიმეორე ცდა რამდენჯერმე. დააკვირდი კათოდზე დალექილი ნივთიერების ფენას, როგორაა დამოკიდებული მისი სისქე (შეამჩნევ თვალით):



სურ. 2.1.9

ა) დენის გავლის დროზე: დააყოვნე დიდხანს (დენის ძალა წრედში და შაბიამნის კონცენტრაცია უცვლელია);

ბ) დენის ძალაზე წრედში: ცვალებადი დენის ძალა წრედში რეოსტატის დახმარებით (დენის გავლის დრო და შაბიამნის კონცენტრაცია უცვლელია);

გ) შაბიამნის კონცენტრაციაზე ხსნარში: ჩაყარე მეტი რაოდენობით შაბიამანი ხსნარში (დენის გავლის დრო და დენის ძალა წრედში უცვლელია);

გამოიტანე დასკვნა: რაზეა დამოკიდებული ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობა?

1800 წლის 30 აპრილს ინგლისელმა ქიმიკოსმა უილიამ ნიკოლსონმა საკუთარი კვლევისთვის ვოლტას სვეტი დაამზადა და მისი გამოცდა გადაწყვიტა. იმისათვის, რომ ვოლტას სვეტის თუთიის ფირფიტასა და მასთან მიერთებულ სპილენძის სადენს შორის კონტაქტი გაეუმჯობესებინა, მეცნიერმა სადენს წყალი დაასხა... და მოულოდნელად აღმოაჩინა, რომ სადენზე ბუშტუკები წარმოიქმნა. ქიმიკოსმა სუნის (!) მიხედვით ივარაუდა, რომ ეს წყალბადი იყო. მან, თავის დამხმარესთან, ქირურგ ენტონი კარლაილთან ერთად, ექსპერიმენტი გაიმეორა: მათ ვოლტას სვეტის გამოყვანილი სადენები წყლიან ჭურჭელში მოათავსეს და პირველად, ელექტრული დენის მოქმედებით, წყალი წყალბადად და ჟანგბადად დაშალეს... მეცნიერების ისტორიაში ორივე მეცნიერი, როგორც ელექტროლიზის აღმომჩენი, ისე შევიდა.

კანონი კი, რომელიც ელექტროლიზის მოვლენას რაოდენობრივად აღწერს, 1833–1834 წელს მაიკლ ფარადეიმ დაადგინა. მანვე შემოიღო ტერმინები: „კათოდი“, „ანოდი“, „ელექტროდი“, „ელექტროლიზი“ და „ელექტროლიტი“. კანონს, მეცნიერის პატივსაცემად, **ელექტროლიზის ფარადეის კანონი** ეწოდა.



სურ. 2.1.10. რაულ დიუფი – მაიკლ ფარადეი

2.1.5. ფარადეის კანონი

რაზეა დამოკიდებული ელექტროლიზის დროს ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა და როგორ გამოვთვალოთ ის? ამის დადგენაში ქიმიის გაკვეთილებზე მიღებული ცოდნა გამოგადგება.

1. ვთქვათ, ელექტროდზე გამოყოფილ ნივთიერებში იონების რაოდენობაა N , ხოლო ერთი იონის მასაა m_0 , მაშინ **ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა** ასე გამოითვლება:

$$m = m_0 N \quad (2.1.1)$$

2. ერთი იონის მასა: $m_0 = \frac{M}{N_A}$, (2.1.2)

სადაც M ნივთიერების მოლური მასაა,

ხოლო N_A ავოგადროს რიცხვია, რომელიც გვიჩვენებს იონების (ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების) რაოდენობას 1 მოლ ნივთიერებაში,

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ მოლი}^{-1};$$

3. ელექტროდზე დალექილი იონების N რიცხვი შეგვიძლია იმ q მუხტის დახმარებით განვსაზღვროთ, რომელიც Δt დროის განმავლობაში ელექტროლიტში გავიდა.

ვთქვათ, ერთი იონის მუხტია q_0 , მაშინ $q = q_0 N$, საიდანაც მივიღებთ, რომ

$$N = \frac{q}{q_0} \quad (2.1.3)$$

4. q მუხტი, რომელიც t დროის განმავლობაში ელექტროლიტში გავიდა, ასე გამოითვლება:

$$q = I \Delta t, \quad (2.1.4)$$

სადაც I ელექტროლიტში Δt დროის განმავლობაში გამავალი დენის ძალაა;

$$5. \text{ იონის მუხტი} \quad q_0 = ne, \quad (2.1.5)$$

სადაც n ნივთიერების (იონის) ვალენტობაა, ხოლო e ელემენტარული მუხტია;

6. თუ გავითვალისწინებთ 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 და 2.1.5 ფორმულებს, 2.1.1 ტოლობიდან მივიღებთ, რომ

$$m = \frac{M}{N_A ne} I \Delta t \quad (2.1.6)$$

N_A და e უნივერსალური მუდმივებია, M და n კი მოცემული ნივთიერებისთვისაა მუდმივი. ასე, რომ შეფარდება, $\frac{M}{N_A ne}$, მოცემული ნივთიერებისთვის მუდმივი რიცხვია. მას k ასოთი აღნიშნავენ:

$$k = \frac{M}{N_A ne} \quad (2.1.7)$$

2.1.7-ის გათვალისწინებით, 2.1.6-დან მივიღებთ:

ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე Δt დროის განმავლობაში გამოყოფილი ნივთიერების მასა დენის ძალისა და დროის პროპორციულია:

$$m = k I \Delta t \quad (2.1.8)$$

ეს **ფარადეის კანონია**, რომელიც მაიკლ ფარადეიმ ექსპერიმენტულად დაადგინა. კანონი აღწერს ელექტროლიზის დროს ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასის დამოკიდებულებას დენის ძალასა და დროს იმ შუალედზე, რომლის განმავლობაშიც ელექტროლიტში დენი გადის.

ფარადეის კანონი სხვაგვარადაც ჩამოყალიბდება: **ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე Δt დროის განმავლობაში გამოყოფილი ნივთიერების მასა ამ დროში ელექტროლიტში გამავალი მუხტის პირდაპირპროპორციულია.**

$$m = k I \Delta t = k q \quad (2.1.9)$$

k პროპორციულობის კოეფიციენტი ნივთიერების გვარობაზეა დამოკიდებული და მოცემული ნივთიერებისთვის მუდმივი სიდიდეა. k -ს **ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი** ჰქვია. **ელექტროქიმიური ეკვივალენტი გამოისახება კილოგრამობით კულონზე (კგ/კ).**

2.1.9 ფორმულიდან ჩანს, რომ k – **ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი** რიცხვობრივად ტოლია ნივთიერების მასისა, რომელიც იონების მიერ 1 კულონი მუხტის გადატანისას ელექტროდზე გამოიყოფა.

რა არის k -ს ფიზიკური არსი? **დააკვირდი:** რადგან $m_0 = \frac{M}{N_A}$ და $q_0 = ne$, მივიღებთ, რომ

$$k = \frac{M}{N_A ne} = \frac{m_0}{q_0} \quad (2.1.10)$$

ანუ, k ტოლია იონის მასის შეფარდებისა იონის მუხტთან.

2.1.6. ფარადეის მუდმივა

ელემენტარული მუხტისა (e) და ავოგადროს რიცხვის (N_A) ნამრავლს **ფარადეის მუდმივა** ჰქვია. ფარადეის მუდმივა F -ით აღინიშნება:

$$F = e N_A \approx 96500 \text{ კ/მოლი} \quad (2.1.11)$$

თუ 2.1.6 ტოლობაში eN_A ნამრავლს ფარადეის მუდმივათი ჩავანაცვლებთ, მივი-

ღებთ, რომ ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე Δt დროის განმავლობაში გამოყოფილი ნივთიერების მასა ასე გამოითვლება:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} I \Delta t \quad (2.1.12)$$

2.1.12-დან ჩანს, რომ

ა) ერთი მხრივ: $F = \frac{1}{m} \frac{M}{n} I \Delta t$ ანუ, ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად ტოლია მუხტისა, რომელიც უნდა გავიდეს ელექტროლიტში, რომ ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა რიცხობრივად გაუტოლდეს მოლური მასის შეფარდებას ვალენტობასთან;

ბ) მეორე მხრივ: $F = e N_A$ ანუ, ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად ტოლია 1 მოლი ელექტრონების მუხტის.

2.1.7. ელექტროლიზის გამოყენება პრაქტიკაში

ცნობილია, რომ ყოველწლიურად კოროზიის (გარემოს ქიმიური ზემოქმედების შედეგად ლითონთა დაშლის) გამო მილიონობით ტონა რკინა გამოუსადეგარი ხდება (სურ. 2.1.11). კოროზიის თავიდან ასაცილებლად რკინის ან, ზოგადად, ადვილად ჟანგვადი მასალისგან დამზადებული სხეულების ზედაპირს ნიკელის ან ქრომის ფენით ფარავენ. ელექტროლიტური მეთოდით ლითონის ზედაპირის სხვა ლითონის ფენით დაფარვის მეთოდს **გალვანოპლასტიკა** ჰქვია. ამ მეთოდს დეკორატიულ-ესთეტიკური მიზნითაც იყენებენ. მაგ., ნაკეთობების მოოქროების, მოვერცხვლისა ან სპილენძით დაფარვის დროს (სურ. 2.1.12).



ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/sSK7>

ელექტროლიზის მოვლენას ემყარება **გალვანოპლასტიკა**, რომელიც ელექტროლიტური ხერხით სხვადასხვა რელიეფური ზედაპირიდან ზუსტი ასლის მიღების პროცესია (სურ. 2.1.13).

ტექნიკაში ფართოდაა გავრცელებული ლითონების მინარევებისგან გასუფთავების ელექტროლიტური ხერხი, ე. წ. **რაფინირება**. მაგ., იმისათვის, რომ მადნიდან მოპოვებული სპილენძი მინარევებისგან გაასუფთაონ, მისგან უზარმაზარ ფირფიტებს ამზადებენ და ელექტროლიტურ აბაზანაში შაბიამნის წყალხსნარში ათავსებენ. ასეთი ფირფიტა ანოდაა – მას დენის წყაროს დადებით პოლუსთან აერთებენ. კათოდის ფუნქციას სუფთა სპილენძისგან დამზადებული ფირფიტა ასრულებს. ელექტროლიზის დროს სპილენძის დადებითი იონები ანოდიდან კათოდისკენ მოძრაობს. მიაღწევს რა კათოდს, სპილენძის კათიონები გადასცემს მას თავის მუხტს და ნეიტრალური ატომების სახით დაილექება. კათოდზე სუფთა სპილენძის ფენა წარმოიქმნება. მინარევები კი, რომლებიც თავის მხრივ ძვირფას და იშვიათ ლითონებს შეიცავს, აბაზანის ფსკერზე ილექება.

ელექტროლიზის დახმარებით იღებენ წყალბადს, მარგანეცის დიოქსიდს, ალუმინს, ნატრიუმს, ასუფთავებენ სასმელ წყალს, გამოიყენება დენის ქიმიურ წყაროებში (მაგ., ტყვიის აკუმულატორებში) და ა.შ.



სურ.2.1.11



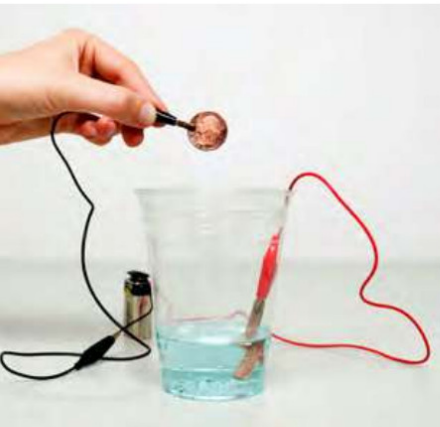
სურ.2.1.12



სურ.2.1.13



პროექტი №5: ელექტრონის მუხტის განსაზღვრა



სურ. 1

XIX საუკუნის ბოლოს ელექტრობა ფართოდ გამოიყენება როგორც მრეწველობაში (ელექტროძრავებში, გენერატორებში), ისე ყოფა-ცხოვრებაში: გამოგონილია ტელეგრაფი, სარგებლობენ ტელეფონით, ელექტრული ნათურები ხელმისაწვდომია... თუმცა ელექტრონის არსებობა ჯერ არ იციან. მეცნიერებს არ აქვთ პასუხი კითხვაზე: მაინც რა არის ელექტრული დენი?

ფარადეი იყო ერთ-ერთი მათგანი, ვინც ვარაუდობდა, რომ ელექტრული დენი ნაწილაკების ნაკადია. მან პირველმა შემოიტანა ტერმინი „იონი“ და გამოთქვა მოსაზრება, რომ იონს უცვლელი მუხტი აქვს. ელექტროლიზის კანონი პირდაპირ მიუთითებდა ნივთიერების მასასთან იონების მუხტის კავშირს....

1881 წელს ირლანდიელმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა ჯორჯ სტონიმ პირველად გამოთვალა ელექტროლიზის დროს ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების **ერთვალენტიანი იონის მუხტი**. 1891 წელს კი სტონიმ, ერთვალენტიანი იონის ელექტრული მუხტის აღსანიშნავად, შემოიტანა ტერმინი – „ელექტრონი“, 1897 წელს კი ჯოზეფ ჯონ ტომსონმა (1856 – 1940) ელექტრონი აღმოაჩინა.

ასე რომ, მანამ, სანამ ელექტრონს აღმოაჩენდნენ, მისი მუხტი (ერთვალენტიანი იონის მუხტი) **ფარადეის ელექტროლიზის კანონის** დახმარებით განსაზღვრეს. სცადე შენც. ამისათვის ძალიან მარტივი ექსპერიმენტის ჩატარება დაგჭირდება, მაგრამ მანამდე გაიხსენე **ფარადეის კანონი**:

$$m = k \Delta t = \frac{M}{N_A n e} \Delta t \quad (1)$$

თუ ფარადეის კანონიდან **ელემენტარულ მუხტს** გამოსახავ, მიიღებ:

$$e = \frac{M}{m N_A n} \Delta t \quad (2)$$

დააკვირდი მე-2 გამოსახულებას: იმისათვის, რომ ელემენტარული მუხტი განსაზღვრო, რამდენიმე სიდიდე გჭირდება. ზოგი მათგანი მოცემული ნივთიერებისთვის ცნობილი სიდიდეა, ზოგი კი ექსპერიმენტულად უნდა გაზომო.

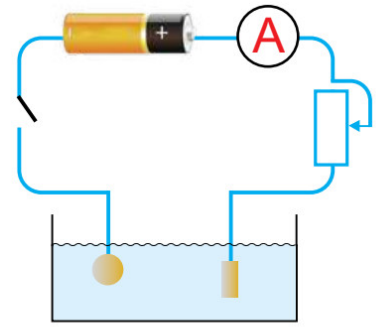
სიდიდეები, რომლებიც ცნობილია მოცემული ნივთიერებისთვის:	სიდიდეები, რომლებიც ექსპერიმენტულად უნდა გაზომო:
M, N_A, n	$m, I, \Delta t$

ექსპერიმენტისთვის დაგჭირდება: დენის წყარო (12 V), მინის ჭურჭელი (1 ლ), წყალი, შაბიამანი (200 გ), 20-თეთრიანი მონეტა, სპილენძის ფირფიტა, ელექტრონული სასწორი, ამპერმეტრი (მულტიმეტრი), რეოსტატი, კლიპსებიანი სადენები, საათი.

ექსპერიმენტის ეტაპები:

1. აწონე მონეტა ელექტრონულ სასწორზე და აიღე ანათვალა (m_1) მაქსიმალური სიზუსტით (რის საშუალებასაც სასწორი გაძლევს);
2. ჩაასხი ჭურჭელში შაბიამნის წყალხსნარი და მოათავსე მასში კლიპსიანი ორი სადენი ერთი ბოლოთი: ერთი სადენის ბოლოზე კლიპსით მონეტა მიამაგრე, მეორე სადენის ბოლოზე კი – სპილენძის ფირფიტა;

3. ააწყვე წრედი მე-2 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით: შეაერთე დენის წყაროსთან მიმდევრობით: ჩამრთველი, ამპერმეტრი, რეოსტატი, ჭურჭელი მასში ჩაშვებული სადენების გარეთ დარჩენილი ბოლოებით. (გაითვალისწინე: მონეტა კათოდის როლში უნდა იყოს;

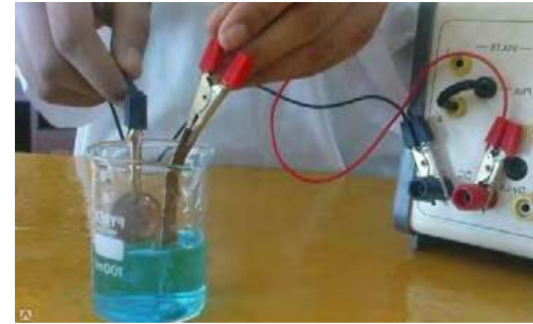


სურ. 2

4. ჩართე წრედი და ჩაინიშნე ცდის დაწყების დრო;

5. რეოსტატის მცოცავი კონტაქტით არეგულირე მისი წინაღობა ისე, რომ ექსპერიმენტის მსვლელობისას წრედში დენის ძალა მუდმივი იყოს. აიღე ამპერმეტრის ჩვენება (I);

6. გამორთე დენი 15-20 წუთის შემდეგ. ამოიღე მონეტა ხსნარიდან, გადაავლე გამოხდილი წყალი და გააშრე ხელსაწმენდ ქაღალდზე (სურ. 3). ანონე მონეტა და ჩაინიშნე მისი მასა (m_2);



სურ. 3

7. ცდა გაიმეორე ორჯერ;

8. მოიძიე სხვა საჭირო სიდიდეები, გამოთვალე ელემენტარული მუხტი მე-2 ფორმულის დახმარებით ყოველი ცდის ბოლოს;

9. გადაიხაზე 1-ლი ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსე.

10. შეაფასე გაზომვის ფარდობითი ცდომილება:

$$\varepsilon = \frac{\Delta e}{e} = \frac{|e_{\text{საშ}} - e|}{e},$$

სადაც e ელემენტარული მუხტის სიდიდეა, ხოლო $e_{\text{საშ}}$ ელემენტარული მუხტის ექსპერიმენტულად მიღებული საშუალო მნიშვნელობა.

ცხრილი 1.

ცდის №	მონეტის საწყისი მასა, m_1 , კგ	მონეტის საბოლოო მასა, m_2 , კგ	მონეტაზე გამოყოფილი სპილენძის მასა, m , კგ	დენის ძალა წრედში, I , ა	დენის გავლის დრო Δt , წმ	გამოთვლის შედეგი $e_{\text{ექსპ}}$	ელემენტარული მუხტის საშუალო მნიშვნელობა $e_{\text{საშ}}$	საბოლოო შედეგი $e_{\text{საშ}} \pm \Delta e$
1								
2								

წარმოადგინე კვლევის შედეგები და მოამზადე პრეზენტაცია თემაზე: „ელემენტარული მუხტის განსაზღვრის ხერხები“. პრეზენტაციაში უნდა ჩანდეს:

1. სამუშაოს ცალკეული ეტაპის აღწერა და მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომელსაც კვლევისას დააკვირდი (მაგ., რა ფაქტორები განსაზღვრავს სითხეში დენის აღძვრას, რაზეა დამოკიდებული ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობა);

2. ელემენტარული მუხტის განსაზღვრის სხვა ისტორიულად ცნობილი ხერხი, რომლის მიმდინარეობის აღწერა შესაძლებელია შენი ცოდნის საფუძველზე (მაგ., მილიკენის ცდა).



სურ. 1. რაულ დიუფი – „ელექტრობის ჯადოქარი“

პარიზში, თანამედროვე ხელოვნების მუზეუმში, მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე დიდი ფერწერული ტილოა გამოფენილი (სურ. 1). მისი სიმაღლე 10, ხოლო სიგანე 60 მეტრია. მონუმენტური პანო რაულ დიუფის ეკუთვნის, რომელმაც ნახატი 1937 წელს, მსოფლიო გამოფენისთვის შექმნა. მას „ელექტრობის ჯადოქარი“ უწოდა. ტილოზე იმ 110 გამოჩენილი მეცნიერის ფიგურაა აღბეჭდილი, რომლებსაც ელექტროდინამიკის განვითარებაში მნიშვნელოვანი წვლილი მიუძღვით, დაწყებული თალეს მილეტელიდან, დამთავრებული ედისონითა და ლორენცით. ნახე ვიდეოზე ეს შთამბეჭდავი ტილო: <http://bitly.ws/okEX>



სურ. 2. რაულ დიუფი – ბენჯამინ ფრანკლინი

დამთვალეირებელთა ყურადღებას ბენჯამინ ფრანკლინის (1706 – 1790) ფიგურა იპყრობს (სურ. 2). ეს არის ადამიანი, რომელიც ამერიკის ისტორიაში შევიდა, როგორც სახელმწიფო და პოლიტიკური მოღვაწე, დიპლომატი, ამერიკის შეერთებული შტატების დამოუკიდებლობის დეკლარაციისა და კონსტიტუციის ერთ-ერთი შემოქმედი... და ამავდროულად გამომგონებელი, პირველი ამერიკელი ფიზიკოსი, რომლის ექსპერიმენტებმა და აღმოჩენებმა იმდროინდელი მსოფლიოს სამეცნიერო წრეები ერთიანად შეძრა. მისი ექსპერიმენტები ჩანაფიქრის სინატიფით, შესრულების სიმარტივითა და შთამბეჭდავი შედეგებით გამოირჩეოდა. ფრანკლინის ფიზიკის განსხვავებული სფეროები ერთნაირად აინტერესებდა და ყველა მიმართულებით იკვლევდა მოვლენებს, დაწყებული მყარი სხეულების თბოგამტარობით, დამთავრებული ბგერის გავრცელებით ჰაერსა და წყალში. თუმცა განსაკუთრებული წარმატება და საყოველთაო აღიარება მას, როგორც მეცნიერს, ელექტრული მოვლენების კვლევამ მოუტანა. ის იყო პირველი, რომელმაც „ცას ელვა გამოსტაცა“ და დაამტკიცა, რომ **ელვას ელექტრული ბუნება აქვს**. ფრანკლინის დამსახურება ამერიკელი ხალხის წინაშე იმდენად დიდია, რომ ის შეერთებული შტატების ეროვნული ღირსების ერთ-გვარ საზომად იქცა: ფრანკლინის პორტრეტი მაღლიერმა ამერიკელებმა 100 დოლარიან კუპიურაზე გამოსახეს.

პროექტის I ნაწილი – ელვა. მესამე რიდი



დავლება 1. შენ იცი, რომ ზოგჯერ, მაგ., ტანსაცმელთან შეხებისას, ადამიანის სხეული იმუხტება და განმუხტვისას ნაპერწკალი და ტკაცუნის ხმა წარმოიქმნება. ეს **ელექტროსტატიკური მოვლენაა**, რომლის ანალოგი ბუნებაში, ოღონდ უფრო მასშტაბური, ღრუბლებს შორის გამკრთალი ელვაა. ისიც ნაპერწკალია, ოღონდ გიგანტური ზომის. თუ ნაპერწკალი დედამიწასა და ღრუბლებს შორის ჩნდება, ეს უკვე მეხია!

ჩაატარე ცდა: შექმენი „ელვა“ სახლში

გაეცანი ინფორმაციას: <http://bitly.ws/t36t> <http://bitly.ws/pcul>
 ითამაშე „ელვით“: <http://bitly.ws/pcr3>

ცდისთვის დაგჭირდება: ალუმინის ფორმა კექსისთვის (ან თავად დაამზადე ფოლგისგან თეფში); შალის ნაჭერი (ან შალის ძაფის გორგალი), პენოპლასტის ერთჯერადი თეფში ან საკვებისთვის განკუთვნილი კონტეინერი, ფანქარი, რომლის ბოლოზე საშლელია მიმაგრებული, ლითონის ჭიკარტი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ალუმინის ფორმის ქვედა მხრიდან, ცენტრში ჩაარჭე ჭიკარტი (სურ.3);
2. დაამაგრე ფანქარი საშლელის დახმარებით ფორმის მეორე, ჩაღრმავებულ მხარეს, ჭიკარტის წვეტიან ბოლოზე (ფანქარი ფორმისთვის სახელურის როლს შეასრულებს);
3. მოათავსე პენოპლასტის თეფში მაგიდაზე, ფსკერით ზემოთ და ფსკერზე შალის ქსოვილი 1 წუთის განმავლობაში სწრაფად ახახუნე;
4. მოკიდე ხელი ალუმინის ფორმის სახელურს (ფანქარს) და მოათავსე პენოპლასტის თეფშზე;
5. შეეხე თითოთ ალუმინის ფორმას. შენ უმნიშვნელო დარტყმას იგრძნობ და თუ ცდას ბნელ ოთახში ჩაატარებ, ნაპერწკალსაც დაინახავ.

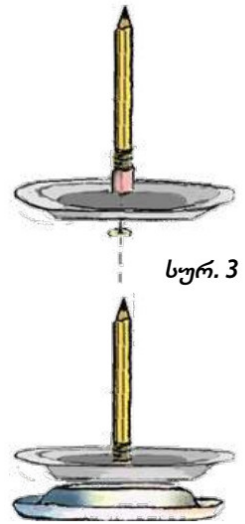
დააკვირდი: როგორ არის დამოკიდებული ნაპერწკლის სიძლიერე დროზე, რომლის განმავლობაშიც პენოპლასტის თეფშს მუხტავ?

უყურე ვიდეოს. ის ცდის წარმატებულად ჩატარებაში დაგეხმარება:
<http://bitly.ws/pco9>

ახსენი:

1. ჰაერი, ჩვეულებრივ, დიელექტრიკია. არადა, განმუხტვის დროს ჰაერში ღრუბლებს შორის (ან ღრუბლებსა და დედამიწას შორის), ელექტრული მუხტი გადაიტანება. რით აიხსნება ეს? რა პირობებში ხდება ჰაერი გამტარი? რატომ ახლავს გაელვებას ჭექა-ქუხილი (ბგერითი ტალღის წარმოქმნა)? ახსენი ელვისა (ნაპერწკლის) და ჭექა-ქუხილის წარმოქმნის მექანიზმი.
2. აღწერე ენერგიის გარდაქმნა ელვის არხში (ანუ, რა სახის ენერგიად შეიძლება გარდაიქმნას ელვის არხში გამოყოფილი ენერგია).

ფრანკლინი მიხვდა, როგორ შეიძლებოდა თავის დაცვა „ღმერთების მახვილისგან“ – მეხისგან – და **მესამე რიდი** შექმნა. პირველ ხანებში საზოგადოებამ სათანადოდ ვერ შეაფასა ფრანკლინის ახალი გამოგონების მნიშვნელობა, მას მოწინააღმდეგეები გამოუჩნდნენ: ისინი თვლიდნენ, რომ მესამე რიდი საშიში იყო ადამიანებისთვის.



სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5



ისტორიამ შემოგვინახა შემთხვევა, რომელიც საფრანგეთის ქალაქ სენტ-ომერში მოხდა: ერთ-ერთმა მცხოვრებმა სახლის სახურავზე მეხამრიდი დაამაგრა. შეშინებულმა მეზობლებმა, რომლებიც თვლიდნენ, რომ მეხამრიდი მათ საფრთხეს უქმნიდა, სასამართლოში უჩივლეს. საინტერესო ისაა, რომ სასამართლოზე მეხამრიდის პატრონს ადვოკატი მაქსიმილიენ რობესპიერი იცავდა, ხოლო ბრალმძებელი – მედიცინის დოქტორი, ექიმი ჟან-პოლ მარატი იყო (შემდგომში ორივე მათგანი საფრანგეთის რევოლუციის (1789-1799) გმირი და გამოჩენილი პოლიტიკური მოღვაწე გახდა).

სასამართლო ოთხ წელს გრძელდებოდა და საბოლოოდ, რობესპიერის გამარჯვებით დამთავრდა. შედეგად კი მეხამრიდმა არსებობის უფლება მოიპოვა და მალე ისეთი პოპულარული გახდა, რომ ადამიანები წაწვეტებულ რკინის ღეროებს ქოლგებზეც კი ამაგრებდნენ (სურ. 5). ისინი თვლიდნენ, რომ ამგვარი მეხამრიდი ელვას „აშინებს“ (როგორ ფიქრობ, შეეძლოთ თუ არა მათ ამ მეთოდით მეხისგან თავის დაცვა? რატომ?).

დავალემა 2.

მეხი ბუნების ერთ-ერთი ყველაზე საშიში მოვლენაა. მას შეუძლია, დაანგრის შენობები, ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენები, ინდუსტრიულ საწარმოთა მიწები, გააჩინოს ხანძარი. ის სახიფათოა სიცოცხლისთვის. მაგრამ ხშირად ადამიანები თავადვე იგდებენ თავს საფრთხეში: მათ არ იციან, უსაფრთხოების რა ზომები უნდა მიიღონ ჭექა-ქუხილის დროს.

გახსოვდეს! მეხი უფრო ხშირად მაღალ და წვეტიან სხეულებს ეცემა, ერთი სიმაღლის მქონე სხეულებიდან კი – იმას, რომელიც უკეთესი გამტარია.

ახსენი:

1. მეხის წარმოქმნის მექანიზმი;
2. რატომ ეცემა მეხი უფრო ხშირად მაღალ და წვეტიან სხეულებს?
3. რატომაა ზამთარში მეხი უფრო იშვიათი?
4. რატომაა, რომ მეხი ხმელეთზე უფრო ხშირად ეცემა, ვიდრე ოკეანეებისა და ზღვების ზედაპირზე?
5. რა არის მეხამრიდი და როგორია მისი მოქმედების პრინციპი? რას ეფუძნება ის?

გაეცანი ინფორმაციას: <http://bitly.ws/t37b>

დავალემა 3. გამოთვალე:

1. დედამიწაზე დღე-ღამეში დაახლოებით 300-მდე მეხი ეცემა, რომლის დროსაც დენის ძალა ღრუბლებსა და დედამიწას შორის 1800-დან 2500 ა-მდე აღწევს (თუმცა დენის ძალამ შესაძლოა 25 000 ა-მდე მიაღწიოს).

გამოთვალე უარყოფითი საშუალო მუხტი, რომელიც ამ დროს დღე-ღამის განმავლობაში ღრუბლებიდან დედამიწის ზედაპირზე გადადის.

2. გამოთვალე დედამიწის ზედაპირის მახლობლად ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ ცნობილია, რომ, მიახლოებით, დედამიწის უარყოფითი მუხტის



სურ. 6



სურ. 7. მეხამრიდი



მოდულია $6 \cdot 10^5$ კ, ხოლო დედამიწის რადიუსი $R \approx 6400$ კმ-ია. ჩათვალი, რომ დედამიწის მუხტი თანაბრადაა გადანაწილებული დედამიწის ზედაპირზე.

3. ჭექა-ქუხილის ღრუბლების ქვედა ნაწილი ხშირად დედამიწის ზედაპირიდან 3 – 4 კმ-თაა დაშორებული. გამოთვალე პოტენციალთა სხვაობა ღრუბლის ქვედა ნაწილსა და დედამიწის ზედაპირს შორის (ჩათვალი, რომ დედამიწის ელექტრული ველი ამ მანძილზე ერთგვაროვანია).

4. ცალკეულ შემთხვევებში წრფივი ელვის

ა) სიგრძე 20 კმ-საც აღწევს;

ბ) არხში დენის ძალა შეიძლება 200 კა-მდე გაიზარდოს (ძირითადად, 10 – 20 კა-ს უტოლდება);

გ) არხში განმუხტვის წინ, ცალკეულ მონაკვეთებზე ველის დაძაბულობა 1600 ვ/სმ-ს აღემატება (ძირითადად, 100 – 300 ვ/სმ-ს უტოლდება).

გამოთვალე: წრფივი ელვის

ა) არხის ბოლოებს შორის ძაბვა;

ბ) არხში გამოყოფილი საშუალო ენერგიის რაოდენობა.

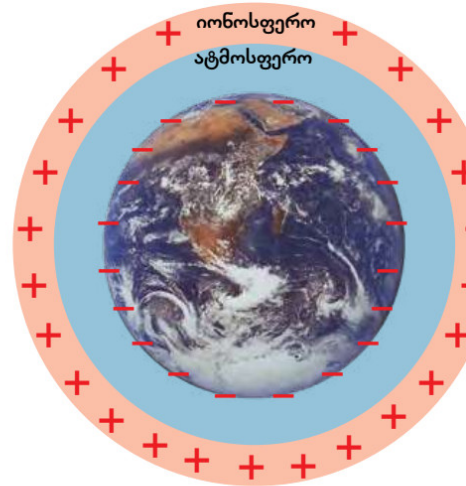
ცნობილია, რომ წრფივი ელვის

ა) ძირითადი არხის სიგრძე 3 კმ-ია;

ბ) არხში ველის დაძაბულობა 100 ვ/სმ-ია;

გ) არხში დენის ძალა 20 კა-ია;

დ) ელვის ხანგრძლივობა 10^{-2} წმ-ია.



სურ. 8



სურ. 9

პროექტის II ნაწილი – იონური ქარი

მოვლენა, რომელიც ელვის წარმოშობას უდევს საფუძვლად და ასევე მიზეზია იმისა, თუ რატომ ეცემა მეხი წამახვილებულ სხეულებს, ფრანკლინმა თავისი „ბორბლის“ შესაქმნელად გამოიყენა (სურ.9). თუ სასკოლო ლაბორატორიაში „ფრანკლინის ბორბალს“ ვერ იპოვი, მისი დამზადება შენც მარტივად შეგიძლია ხელმისაწვდომი საშუალებებით:

„ფრანკლინის ბორბალი“ (სურ. 10) საერთო ცენტრის მიმართ რადიალურად განლაგებული ლითონის წვეტიანი ჩხირების (1) ერთობლიობაა, რომელთა რაოდენობა 3 ან 3-ზე მეტია. ჩხირები ძალიან წამახვილებულია და ყველა ჩხირის ბოლო, ერთი მიმართულებით, 90 გრადუსითაა მოხრილი. თვალსაჩინოებითვის ჩხირებზე ფერად ნიშნულებს უკეთებენ...



დავალბა 4. ჩაატარე ცდა: <http://bitly.ws/t5w9>

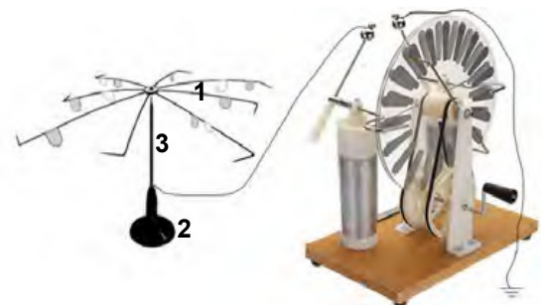
ცდისთვის საჭიროა: „ფრანკლინის ბორბალი“ სადგამით (სურ.10); ელექტროფორული მანქანა, შემაერთებული სადენი.

სამუშაოს ეტაპები:

1. მოათავსე „ბორბლის“ ცენტრი იზოლირებულ სადგამში (სურ.10, (2)) ჩამაგრებულ ლითონის ღეროს (3) წვეტზე ისე, რომ „ბორბალი“ საყრდენის გარშემო თავისუფლად ბრუნავდეს;

2. მიუერთე ლითონის ღერო ელექტროსტატიკური მანქანის ერთ-ერთ ბურთულას (კონდუქტორს). მანქანის მეორე კონდუქტორი კი დაამიწე (სურ. 10);

3. აბრუნე ელექტროსტატიკური მანქანის სახელური: „ბორბალი“ ბრუნვას თანდათან დაიწყებს;



სურ. 10





დააკვირდი: როგორ არის დამოკიდებული „ბორბლის“ ბრუნვის სიჩქარე მანქანის სახელურის ბრუნვის სიჩქარეზე? ბრუნვის ხანგრძლივობაზე?



გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული „ბორბლის“ ბრუნვის სიჩქარე ელექტროსტატიკური მანქანის კონდუქტორებს შორის დაბვაზე?



ბორბლის ბრუნვის მიზეზი, ე.წ. **იონური ქარია**. გაიგე უფრო მეტი:

<http://bitly.ws/t38m> <http://bitly.ws/t38q>

<http://bitly.ws/t38s>

იონური ქარის აღძვრას სხვა, უფრო მარტივი ცდითაც დააკვირდები:

დავალემა 5.



ცდისთვის საჭიროა: ელექტროფორული მანქანა, შემაერთებული სადენი, ლითონის ჩხირი წამახვილებული წვეტი (მაგ., საქსოვი ჩხირი), სანთელი.



სამუშაოს ეტაპები:

1. ჩაამაგრე შტატივის იზოლირებულ თათში გრძელი წამახვილებული ლითონის ჩხირი ჰორიზონტალურად;

2. მიუერთე ჩხირი ელექტროფორული მანქანის ერთ-ერთ კონდუქტორს;

3. მოათავსე ჩხირის წვეტის წინ ანთებული სანთელი ძალიან ახლოს (დაახლოებით 5 – 7 მმ-ის ტოლ მანძილზე);

4. აბრუნე ელექტროფორული მანქანის სახელური და დააკვირდი სანთლის ალს: ის წვეტიდან მოპირდაპირე მხარეს გადაიხრება.

5. **დააკვირდი:** როგორ არის დამოკიდებული სანთლის ალის გადახრის კუთხე ელექტროსტატიკური მანქანის კონდუქტორებს შორის დაბვაზე?

6. **ახსენი:** რატომ იხრება სანთლის ალი? რა „უბერავს“ მას?



სურ. 11



სურ. 12

დავალემა 6. ახსენი იონური ქარის წარმოშობის მიზეზი.

„ფრანკლინის ბორბლისა“ და სანთლის ალის გადახრის მიზეზი **ელექტრონული**, ანუ **იონური ქარია** (ბრიზია), რომელიც ე.წ. **მომავლის ძრავების – იონური ძრავების** მოქმედებასაც უდევს საფუძვლად: ის საფრენ აპარატებს ტურბინებისა და პროპელერების გარეშე ფრენის შესაძლებლობას მისცემს. იონური ძრავა, რომელიც სამეცნიერო ხასიათის ფანტასტიკას უფრო ჰგავს, ჯერ კიდევ 1709 წელს ფრენისის ჰოკსბიმ აღწერა.

2018 წელს კი მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის ფიზიკოსთა და ინჟინერთა ჯგუფმა, სტივენ ბარეტის ხელმძღვანელობით, პირველი საცდელი საფრენი აპარატი შექმნა (სურ. 13), რომელიც იონური ქარის ზემოქმედების შედეგად დაფრინავს. მართალია, ხუთმეტრიანმა აპარატმა ჯერ მხოლოდ 60 მეტრი იფრინა, მაგრამ კვლევები გრძელდება... და, ალბათ, უახლოეს მომავალში ჩვენ კიდევ ერთხელ გავხვდებით მოწმე იმისა, თუ როგორ იქცა ფიზიკის წყალობით ფანტასტიკა რეალობად...

ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t39f> გაიგე მეტი: <http://bitly.ws/t39g>



სურ. 13

წარმოადგინე კვლევის შედეგები პრეზენტაციის სახით.



ნარმოიდგინე, რომ იმყოფები საჰაერო ბურთში, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან 50 კმ მანძილზე, ატმოსფეროს ზედა ფენებში, **სტრატოსფეროშია...**

შენ ხედავ, როგორ იკლავება ელვა ღრუბლებსა და დედამიწას შორის, მაგრამ ეს უამინდობა საჰაერო ბურთს არაფრით ემუქრება, რადგან ჭექა-ქუხილი და ელვა ატმოსფეროს ქვედა ფენაში, **ტროპოსფეროში** მიმდინარე ელექტრული მოვლენებია და დედამიწის ზედაპირიდან სულ რაღაც 8 – 20 კმ-ითაა დაშორებული.

შენს ყურადღებას სულ სხვა რამ იპყრობს: მოულოდნელად ჭექა-ქუხილის ღრუბლებს ზევით, მედუზასმაგვარი, მკვეთრი წითელი ფერის უზარმაზარი ნათება „სულივით“ გამოგეცხადება და სანამ მის აღქმას მოასწრებ, ქრება...

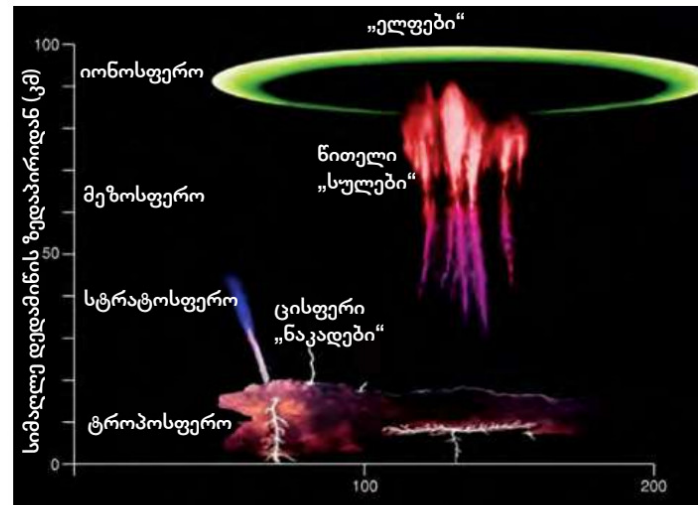
ასეთ წითელ „სულებს“ დიდი ხნის განმავლობაში ბევრი მფრინავი ხედავდა, მაგრამ „სული“ იმდენად სწრაფად ქრებოდა (1 – 2 მწმ-ში), რომ მფრინავები თვალებს არ უჯერებდნენ და ეს ყველაფერი საკუთარი ფანტაზიის ნაყოფი ეგონათ, ზოგჯერ კი დაღლილობას აბრალებდნენ.

1989 წელს მინესოტის უნივერსიტეტის ფიზიკოსმა, ჯონ ვინკლერმა, პირველმა შეძლო, ვიდეოკამერის საშუალებით ფირზე აღებეჭდა ეს საოცარი წითელი ნათება და მხოლოდ მას შემდეგ ირწმუნეს მისი არსებობა. მოგვიანებით, კოსმოსურ ხომალდებში, თვითმფრინავებში და დედამიწაზე მყოფმა მკვლევარებმა განსხვავებული ნათებებიც აღმოაჩინეს და სახელებიც გარეგნული მახასიათებლების მიხედვით შეურჩიეს: „ელფები“ („elves“), ლურჯი „ნაკადები“ („blue jets“), „ტროლები“, „გნომები“, „მოჩვენებები“...

წითელი „სულები“ („sprites“, ლათინურად „spiritus“ სულს ნიშნავს) ატმოსფეროს ზედა ფენებში (40 – 90 კმ სიმაღლეზე) ჩნდება და მათი სიმაღლე 50 – 95 კმ-ია, სიგანე კი 50 კმ-ს აღწევს. „ელფები“ წითელი ფერის სწრაფად მზარდ დისკოებს ჰგავს, რომელთა რადიუსი 200 კმ-ია, ლურჯი „ნაკადები“ ვერტიკალური, ლურჯად მნათი სვეტების სახით გვევლინება (სურ. 2.2.1). ყველა ამ მოვლენას ერთი რამ აქვს საერთო: მათი ხანგრძლივობა რამდენიმე მილიწამიდან არა უმეტეს 2 წამამდე გრძელდება... ნათება თვალის დახამხამებაში ქრება სწორედ მაშინ, როცა თვალი მხოლოდლა იწყებს მათ აღქმას. სწორედ მოუხელთებლობა იყო მიზეზი იმისა, რომ მათი აღმოჩენა და შესწავლა დაგვიანდა, მიუხედავად იმისა, რომ მსგავს მოვლენებს ცალკეული მეცნიერები 1800 წლიდან აღწერდნენ.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში ხანმოკლე ნათებას მეცნიერებმა **მყისიერი ნათების მოვლენები** (transient luminous event, TLE) უწოდეს. მყისიერი ნათების მოვლენები ატმოსფეროს ზედა ფენებში მიმდინარე **ელექტრული განმუხტვითაა** გამოწვეული. მეცნიერები ამ მოვლენებს „ატმოსფეროს ზედა ფენების ელვას“ ან „იონოსფეროს ელვას“ უწოდებენ. თუმცა ჩვეულებრივი, ტროპოსფეროს ელვისგან განსხვავებით, რომელშიც ელექტრული მუხტი გავარვარებულ არხში გადის, მყისიერი სინათლის მოვლენებში ელექტრული განმუხტვა „**ცივი**“ **პლაზმის** ნათებას უკავშირდება... თავისი ბუნებით ეს მოვლენები უფრო სარეკლამო განათებებში მიმდინარე განმუხტვას ჰგავს, ვიდრე ჩვეულებრივი ელვის დროს... **ნახე ვიდეო:** <http://bitly.ws/sVhy>

გაიგე ამ მოვლენების შესახებ უფრო მეტი: <http://bitly.ws/sVhz> <http://bitly.ws/sVhC>



სურ. 2.2.1



რა არის **აირის განმუხტვა**, როგორ მიმდინარეობს ეს მოვლენა და რა არის **პლაზმა**, ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებ. მანამდე კი ჩავატაროთ ცდა და დავაკვირდეთ, რა პირობებში ატარებს დენს აირი, რომელიც ჩვეულებრივ დიელექტრიკია...

2.2.1. აირის არათავისუფალი განმუხტვა



ცდისთვის საჭიროა: ელექტროფორული მანქანა, კონდენსატორი, ელექტრომეტრი, შემაერთებული სადენები, სპირტქურა.

ცდა I



1. კონდენსატორის ფირფიტები ერთმანეთის პარალელურად მოათავსე და დამუხტე ელექტროფორული მანქანით;
2. კონდენსატორის ერთი შემონაფენი ელექტრომეტრის ლეროსთან, ხოლო მეორე ელექტრომეტრის კორპუსთან შეაერთე (სურ. 2.2.2). ელექტრომეტრის ისარი გადაიხრება.
3. **დააკვირდი:** განიმუხტება თუ არა კონდენსატორი, თუ მას ელექტროფორული მანქანით აღარ ვმუხტავთ? რაზე მიანიშნებს ეს? ატარებს თუ არა ჰაერი (კონდენსატორის შემონაფენებს შორის) ელექტრულ დენს?
4. შეიტანე დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის სპირტქურის ალი (სურ. 2.2.3) და **დააკვირდი:** შეიცვალა თუ არა ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხე? რაზე მიანიშნებს ეს?
5. **გამოიტანე დასკვნა:** შეიძლება თუ არა, რომ გარკვეულ პირობებში აირი (ამ შემთხვევაში – ჰაერი) გამტარი გახდეს?



სურ. 2.2.2



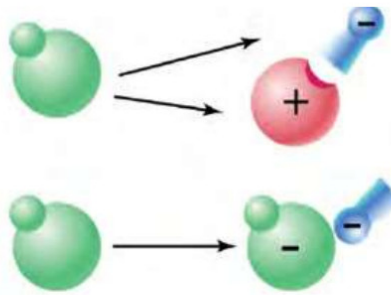
სურ. 2.2.3

ჰაერი რომ დიელექტრიკია, დიდი ხანია, იცო: წრედში ჩამრთველის მოქმედებაც ხომ სწორედ ამ ფაქტს ეფუძნება. წრედში დენი რომ გადიოდეს, აუცილებელია, მის ნებისმიერ ორ წერტილს შორის გამტარი არე არსებობდეს. თუ სადმე წრედი განწყდება, დენი აღარ გაივლის სწორედ იმის გამო, რომ წყვეტის ადგილას ჰაერიანი შუალედი წარმოიქმნება.

დიელექტრიკია არა მარტო ჰაერი, არამედ ნებისმიერი აირი, რადგან ჩვეულებრივ პირობებში, აირები, ძირითადად ნეიტრალური მოლეკულებისგან (ან ატომებისგან) შედგება.

რა ხდება, როცა აირის ტემპერატურა მატულობს? ტემპერატურის მატებისას მისი შემადგენელი ნაწილაკების (მოლეკულების, ატომების) სითბური მოძრაობის საშუალო სიჩქარე იმატებს, ზოგი მათგანის სიჩქარე კი იმდენად იზრდება, რომ სხვა ნაწილაკებთან „შეჯახებისას“ იონებად გარდაიქმნება: მოლეკულების (ატომების) „შეჯახებისას“ ელექტრონები დამატებით ენერგიას იღებს და ატომებს სწყდება. ამის შედეგად **აირში თავისუფალი ელექტრონები და დადებითი იონები ჩნდება** (შესაძლოა, თავისუფალი ელექტრონების ნაწილი ნეიტრალურმა ატომებმა მიიერთოს და უარყოფითი იონებიც წარმოიქმნას (სურ. 2.2.4), თუმცა აირში უარყოფითი მუხტის ძირითადი გადამტანი თავისუფალი ელექტრონებია): რაც უფრო მაღალია აირის ტემპერატურა, მით მეტია წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკების რიცხვი.

აირის ნეიტრალური მოლეკულების იონებად გარდაქმნის პროცესს **აირის იონიზაცია** ჰქვია. იონიზაციის შედეგად მასში წარმოქმნილი დადებითი და უარყოფითი იონები, ასევე თავისუფალი ელექტრონები, გარე ელექტრული ველის (მაგ., კონდენსატორის ფირფიტებს შორის არსებული ველის) მოქმედებით მიმართულად დაიწყებს მოძრაობას: დადებითი იონები უარყოფითად დამუხტული ფირფიტისკენ გადაადგილდება, უარყოფითი იონები და თავისუფალი ელექტრონები კი – დადებითი ფირფიტისკენ. შედეგად ფირფიტებს შორის დენი გაივლის. აირში დენის გავლის პროცესს **აირის განმუხტვა**



სურ. 2.2.4

ენოდება. აირის განმუხტვას შესაძლოა, სითბური და სინათლის ენერგიის გამოყოფა მოჰყვეს: აირი გათბეს და ნათება წარმოიქმნას.

ამრიგად, აირს ახასიათებს, როგორც ელექტრონული (ისევე, როგორც ლითონს), ისე იონური (როგორც ელექტროლიტის ხსნარსა და ნადნობს) გამტარობა: აირში მუხტის ძირითადი გადამტანები თავისუფალი ელექტრონები და დადებითი იონებია.

იონიზაციის გამომწვევი მიზეზი, ანუ იონიზატორი, გარდა ტემპერატურის მატებისა, შესაძლოა, იყოს გამოსხივებაც (კოსმოსური სხივები, რადიოაქტიური და ულტრაიისფერი გამოსხივება), სწრაფი ელექტრონების ნაკადი და ა.შ.

I ცდაში ჰაერის განმუხტვა გარე იონიზატორის (სპირტქურის ალის) ზემოქმედების შედეგია. გარე იონიზატორის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ, როცა ყველა ელექტრონი და იონი ელექტროდებს მიაღწევს, განმუხტვა შეწყდება (რადგან აირში იონთა სხვა წყარო არ არის). გარდა ამისა, თავისუფალი ელექტრონებისა და დადებითი იონების „შეჯახებისას“, შეიძლება, კვლავ ნეიტრალური ატომები წარმოიქმნას. ამ პროცესს ნაწილაკთა რეკომბინაცია ჰქვია.

როცა გარე იონიზატორი არ არის, რეკომბინაციის გამო თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა თანდათან შემცირდება და შედეგად, აირი დიელექტრიკი ხდება.

განმუხტვას, რომელიც აირში მხოლოდ გარე ზემოქმედების (იონიზატორის) გავლენით აღიძვრება და შენარჩუნდება, არათავისთავადი განმუხტვა ჰქვია.

2.2.2. ატომის იონიზაცია

აირის ტემპერატურის მატებისას მისი ნეიტრალური მოლეკულების (ან ატომების) ნაწილი იონებად გარდაიქმნება. იმისათვის, რომ ელექტრონი ატომს მოწყდეს, საჭიროა, იმ კულონური ძალების (მიზიდვის) საწინააღმდეგოდ შესრულდეს მუშაობა, რომლებიც დადებითად დამუხტულ ატომბირთვსა და მის გარშემო მოძრავ უარყოფითი მუხტის მქონე ელექტრონს შორის არსებობს. ატომიდან ელექტრონის მოწყვეტის პროცესს ატომის იონიზაცია ჰქვია, ხოლო იმ უმცირეს ენერგიას, რომელიც უნდა დაიხარჯოს იმისათვის, რომ ელექტრონი ატომს მოწყდეს – იონიზაციის ენერგია.

იონიზაციის ენერგიას ელექტრონვოლტებით (ევ) გამოსახავენ: ელექტრონული ველის ორ წერტილს შორის ელექტრონის გადაადგილებისას ველი ასრულებს 1 ევ-ის ტოლ მუშაობას, თუ მოცემულ ორ წერტილს შორის ძაბვა 1 ვოლტია.

$$1 \text{ ევ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ} \cdot 1 \text{ ვ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ}$$

მაგ., იონიზაციის ენერგია წყალბადის ატომისთვის 13,6 ევ-ია, ჟანგბადის მოლეკულისთვის – 12 ევ, აზოტის მოლეკულისთვის კი – 16 ევ.

ატომს ელექტრონი შეიძლება მოწყდეს სხვა ნაწილაკებთან „შეჯახების“ შედეგად. მოლეკულებისა და ატომების სითბური მოძრაობის კინეტიკური ენერგია პირდაპირპროპორციულია ტემპერატურისა, ამიტომ აირის ტემპერატურის მომატებისას ნაწილაკების „შეჯახების“ რიცხვი იზრდება და, შესაბამისად, იზრდება წარმოქმნილი იონების რიცხვიც. მაღალ ტემპერატურაზე თავისუფალი ელექტრონებისა და დადებითი იონების წარმოქმნის პროცესს, აირის ნაწილაკების „შეჯახების“ შედეგად, აირის სითბური იონიზაცია ჰქვია.

ნაწილობრივ ან სრულად იონიზირებულ აირს, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების სიმკვრივე (სიგრძის, ფართობის ან მოცულობის ერთეულში მუხტის რაოდენობა) პრაქტიკულად ერთნაირია, პლაზმა ჰქვია (იხ. გვ.152).

იონიზირებული ატომების რიცხვი ტემპერატურის ზრდასთან ერთად სწრაფად იზრდება. მაგ., თუ დაახლოებით $10\,000^{\circ}\text{C}$ -ზე წყალბადის ყველა ატომის 10%-ია იონიზირებული, $20\,000^{\circ}\text{C}$ -ზე ზევით წყალბადი მთლიანად იონიზირებულია.

დაბალ ტემპერატურაზე ნებისმიერი აირი დიელექტრიკია, მაღალ ტემპერატურაზე კი აირი პლაზმურ მდგომარეობაში გადადის და ელექტრული დენის გამტარი ხდება.

2.2.3. დარტყმითი იონიზაცია

დაბალ ტემპერატურაზეც კი, მაშინ, როცა აირი დიელექტრიკია, ნებისმიერ აირში (მათ შორის ჰაერშიც) თავისუფალი ელექტრონებისა და იონების გარკვეული რაოდენობა არსებობს, მაგრამ მათი კონცენტრაცია ნორმალურ პირობებში ძალიან მცირეა. მაგ., თუ ლითონის 1 სმ^3 -ში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი 10^{23} -ს აღწევს, აირებში, იმავე მოცულობაში, დაახლოებით 10^9 თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკია (იონები და ელექტრონები). გარე ელექტრულ ველში აირის მოთავსებისას ველის მოქმედებით თავისუფალი ელექტრონი აჩქარდება, მისი კინეტიკური ენერგია „დაჯახებიდან“ „დაჯახებამდე“, ელექტრული ველის მხრიდან მოქმედი ძალის მუშაობის ($A_{\text{ელ}}$) შედეგად, გაიზრდება:

$$\frac{mv^2}{2} = A_{\text{ელ}} = eEl, \quad (2.2.1)$$

სადაც e ელექტრონის მუხტის აბსოლუტური სიდიდეა, E ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული, ხოლო l ელექტრონის თავისუფალი განარბენის სიგრძეა (ანუ, მანძილი ორ მომდევნო „დაჯახებას“ შორის).

თუ ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ატომის იონიზაციის ენერგიას გადააჭარბებს, მაშინ ელექტრონის ატომთან „შეჯახება“, ატომის იონიზაციას გამოიწვევს. ამ მოვლენას **ელექტრონული დარტყმითი იონიზაცია** ჰქვია.

დააკვირდი ტოლობა 2.2.1-ს: ელექტრონის კინეტიკური ენერგია პროპორციულია ველის დაძაბულობისა და ელექტრონის თავისუფალი განარბენის სიგრძისა. ელექტრონის კინეტიკური ენერგია შეიძლება გაიზარდოს:

ა) თავისუფალი განარბენის გაზრდით (თუ ჭურჭლიდან, რომელშიც აირია მოთავსებული, აირის ნაწილს ამოვტუმბავთ, უცვლელი დაძაბულობის პირობებში, ელექტრონის კინეტიკური ენერგია მეტად გაიზრდება. ამ საკითხს დანერგვით ე.წ. მღვივარი განმუხტვის გაცნობისას დავუბრუნდებით, როცა იონიზაცია საკმარისად მცირე დაძაბულობის ელექტრულ ველში მოთავსებულ გაიშვიათებულ აირში ხდება);

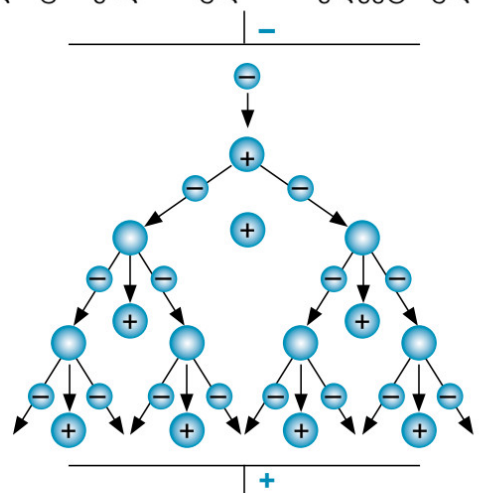
ბ) ელექტრული ველის დაძაბულობის გაზრდით (აირის უცვლელი კონცენტრაციის დროს).

2.2.4. თავისთავადი განმუხტვა

თუ ველის დაძაბულობას გავზრდით, როგორც პირველადი, ისე დარტყმითი იონიზაციის შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი ელექტრონების კინეტიკური ენერგია გაიზრდება და ისინიც, თავის მხრივ, შემხვედრი ნაწილაკების იონიზაციას გამოიწვევს (თუ 2.2.1 პირობა სრულდება). ამგვარად წარმოქმნილი თავისუფალი ელექტრონებისა და იონების რაოდენობა სწრაფად, ზვავისებურად იზრდება (სურ. 2.2.5).

დამუხტული ნაწილაკების წარმოქმნის ამ ზვავისებრ პროცესში გარე იონიზატორი საჭირო არაა: ნეიტრალური მოლეკულები თავად ხდება ახალი ელექტრონებისა და იონების წარმომქმნელები.

აირში ელექტრული დენის გავლას, რომელიც გარე იონიზატორის მოქმედებაზე დამოკიდებული არ არის, **თავისთავადი განმუხტვა** ჰქვია.



სურ. 2.2.5

2.2.5. ნაჯერი დანი

აირის განმუხტვაზე დასაკვირვებლად მინის მილს იყენებენ, რომელშიც ლითონის კათოდი და ანოდი მოთავსებული (სურ. 2.2.6)

ვთქვათ, გარე იონიზატორის გავლენით აირში დამუხტული ნაწილაკების (დადებითი მუხტის მქონე იონებისა და ელექტრონების) გარკვეული რაოდენობა წარმოიქმნება.

მილის ელექტროდებს შორის მცირე ძაბვის დროს, დადებითი იონები კათოდისკენ, ხოლო უარყოფითი ელექტრონები კი – ანოდისკენ მიმართულად ამოძრავდება. მილში დანი აღიძვრება, ანუ **აირის განმუხტვა** ხდება.

ყველა დამუხტული ნაწილაკი ელექტროდებამდე ვერ აღწევს: მათი ნაწილი რეკომბინაციის შედეგად ნეიტრალურ ნაწილაკებს წარმოქმნის. ელექტროდებს შორის ძაბვის გაზრდისას იზრდება ელექტროდებს მიღწეული დამუხტული ნაწილაკების რიცხვი და, შესაბამისად, იზრდება განმუხტვის დენის ძალა (სურ. 2.2.7).

გარკვეული დროის შემდეგ, თუ გარე იონიზატორი არ იცვლება, წონასწორობა მყარდება: ძაბვის გარკვეულ $U_{\text{ნაჯ}}$ მნიშვნელობაზე, აირის მთელ მოცულობაში წამში წარმოქმნილი ყველა დამუხტული ნაწილაკი იმავე დროში ელექტროდებამდე აღწევს. დენის ძალა მეტად აღარ გაიზრდება, ანუ, დანი **ნაჯერი** ხდება (სურ. 2.2.7). თუ იონიზატორის მოქმედება შეწყდება, განმუხტვაც შეწყდება (რადგან აირში იონთა სხვა წყარო არ არის).

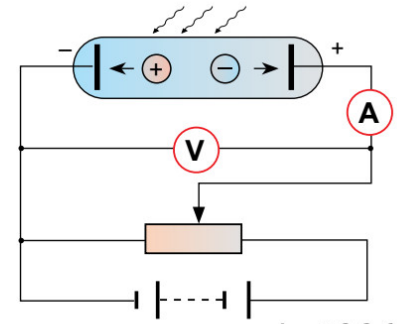
რა მოხდება მას შემდეგ, რაც განმუხტვის დანი ნაჯერობას მიაღწევს და ელექტროდებს შორის ძაბვას კვლავ გაზრდით? თუ ძაბვას კვლავ გაზრდით, როცა ის გარკვეულ მნიშვნელობას ($U_{\text{თავ}}$) მიაღწევს, ელექტრონული დარტყმების ხარჯზე ახლად წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა ზვავისებურად მოიმატებს, თავისთავადი განმუხტვა დაიწყება და განმუხტვის დანი აირში მკვეთრად გაიზრდება. ამ მოვლენას **აირის ელექტრონიკის გარღვევა** ჰქვია. თუ ამ მომენტიდან გარე იონიზატორის მოქმედებას შევწყვეტთ, განმუხტვა კვლავ გაგრძელდება.

თუმცა ელექტრონული დარტყმების ხარჯზე თავისთავადი განმუხტვა ვერ შენარჩუნდება: როდესაც დარტყმების შედეგად წარმოქმნილი ყველა ელექტრონი ანოდს მიაღწევს, თავის „მისიას ამოწურავს“ და ახალი დამუხტული ნაწილაკების წარმოქმნის პროცესში აღარ მონაწილეობს. განმუხტვის შენარჩუნებისთვის აუცილებელია კათოდიდან ელექტრონების **ემისია – კათოდის ზედაპირიდან თავისუფალი ელექტრონების ამოსვლა**, რაც სხვადასხვა მიზეზითაა გამოწვეული:

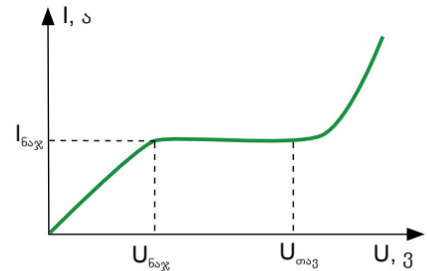
1. დადებითი მუხტის მქონე იონები, კათოდისკენ მოძრაობისას, დიდ კინეტიკურ ენერგიას შეიძენს, სწრაფი იონების კათოდთან „შეჯახებისას“ კი – კათოდიდან ელექტრონები ამოიყრება;

2. თუ კათოდს გავახურებთ, მაღალ ტემპერატურაზე მისგან თავისუფალი ელექტრონების ამოსვლა დაიწყება. ამ პროცესს **თერმოელექტრონული ემისია** ჰქვია (ამ მოვლენას მომდევნო გაკვეთილებზე კიდევ დავუბრუნდებით). მრავალ მყარ ნივთიერებაში თერმოელექტრონული ემისია ისეთ ტემპერატურაზე იწყება, რომლის დროსაც თვით ნივთიერების აორთქლება უმნიშვნელოა. სწორედ ასეთი ნივთიერებისგან ამზადებენ კათოდს.

თავისთავადი განმუხტვის დროს, დადებითი მუხტის მქონე იონებით „ბომბარდირების“ შედეგად, კათოდი შეიძლება გახურდეს და ელექტრონები მისგან თერმოელექტრონული ემისიის შედეგად გამოვიდეს.



სურ. 2.2.6



სურ. 2.2.7

იცი თუ არა, რომ...

1. პლაზმა – ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობა:

გარდა ნივთიერების სამი აგრეგატული მდგომარეობისა (მყარი, თხევადი და აირადი), არსებობს მეოთხე მდგომარეობა – დაადგინა 1879 წელს ინგლისელმა ქიმიკოსმა და ფიზიკოსმა **უილიამ კრუქსმა...**

1928 წელს ამერიკელმა ქიმიკოსმა, ნობელის პრემიის ლაურეატმა ქიმიკოსმა, **ირვინგ ლენგმიურმა** ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობას **პლაზმა** უწოდა.

პლაზმა ნაწილობრივ ან მთლიანად იონიზირებული აირია. მიუხედავად ამისა, მისი ნებისმიერი მოცულობა ელექტრულად

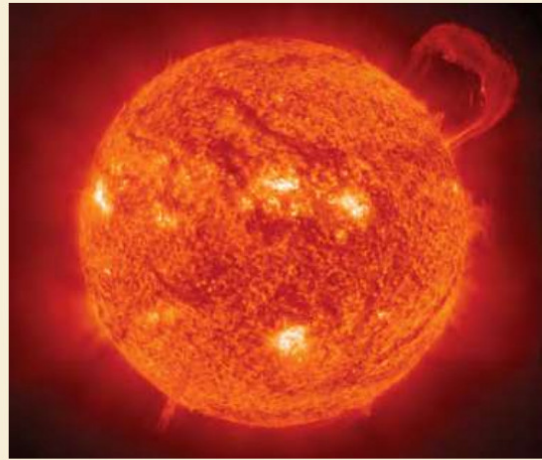
ნეიტრალურია: დადებითი და უარყოფითი მუხტების სიმკვრივე (სიგრძის, ფართობის ან მოცულობის ერთეულში მუხტის რაოდენობა) პრაქტიკულად ერთნაირია. **მუხტის გადამტანები პლაზმაში ელექტრონები და დადებითი იონებია,** რომლებიც აირის იონიზაციის შედეგად წარმოიქმნა.

პლაზმას აქვს თვისებები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს, ის განვიხილოთ, როგორც ნივთიერების მეოთხე, განსაკუთრებული მდგომარეობა. გაიხსენე: დეფორმირებულ დრეკად სხეულში დრეკადობის ძალა აღიძვრება, რომელიც დეფორმაციის საპირისპიროდ მიმართული და ცდილობს, სხეული პირვანდელ მდგომარეობას დაუბრუნოს. ანალოგიურად „იქცევა“ პლაზმაც. თავისი თვისებებით ის დრეკად სხეულს მოგვაგონებს: როცა მისი რომელიმე უბნის ნეიტრალურობა ირღვევა, რასაც ერთნაირნიშნის მუხტების ერთ ადგილას თავმოყრა იწვევს, აღძრული ელექტრული ველი მანამ გადაადგილებს პლაზმის დამუხტულ ნაწილაკებს, სანამ ნეიტრალურობა არ აღდგება და ელექტრული ველი არ მოიშპობა. ასე რომ, აირისგან განსხვავებით, პლაზმის ნაწილაკები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად არ მოძრაობს. პლაზმის თითოეული ნაწილაკი უამრავ გარემომცველ ნაწილაკთან ურთიერთქმედების კულონური ძალებითაა შეკავშირებული. ამის გამო, გარდა იმისა, რომ პლაზმის თითოეული ნაწილაკი ქაოსურად მოძრაობს, ისინი მონესრიგებულ გუნდურ მოძრაობებშიც მონაწილეობს. პლაზმაში ტალღები და რხევები აღიძვრება.

პლაზმას, რომლის ტემპერატურა 10000°C -ზე ნაკლებია, **დაბალტემპერატურული პლაზმა** ჰქვია. ასეთი პლაზმა გვხვდება აირების განმუხტვისას, ცეცხლის ალში, ვარსკვლავთა ატმოსფეროში, ვარსკვლავთაშორის და გალაქტიკის ნისლეულებში.

დაბალტემპერატურულ პლაზმურ მდგომარეობაშია ატმოსფეროს ზედა ფენა ($100 - 300$ კმ სიმაღლეზე) – **იონოსფერო**. ატმოსფეროს ამ ფენაში ჰაერის იონიზაცია მზის ულტრაიისფერი გამოსხივებისა და მზიდან ამოტყორცნილი დამუხტული ნაწილაკების ნაკადის ზემოქმედების შედეგია. იონოსფეროში პლაზმა გაცილებით „ცივია“, ვიდრე ჩვეულებრივი ელვის არხში, რომელშიც ტემპერატურა $16649 - 27760^{\circ}\text{C}$ -მდე აღწევს.

პლაზმას, რომლის ტემპერატურა მილიონ გრადუსს აღემატება ($t \geq 10^6^{\circ}\text{C}$) **მაღალტემპერატურული პლაზმა** ჰქვია. მზე და სხვა ვარსკვლავები სრულიად იონიზირებული, მაღალტემპერატურული პლაზმისგან შედგება (სურ. 1). მაღალტემპე-



სურ. 1

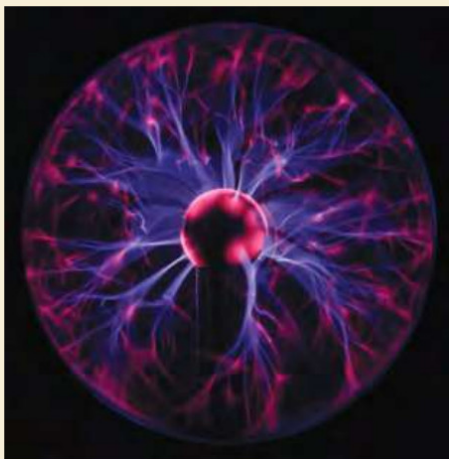
რატურულ პლაზმას ლაბორატორიაში მართვადი თერმობირთვული რეაქციების შესასწავლად იყენებენ.

ხელოვნურ პირობებში პლაზმა აირში ყველა სახის განმუხტვისას წარმოიქმნება. ასეთ პლაზმას **განმუხტვის პლაზმა** ჰქვია. განმუხტვის პლაზმა, მზისა და ვარსკვლავების „ცხელი“ პლაზმისაგან განსხვავებით, „ცივი“, დაბალტემპერატურული პლაზმაა.

იმის გამო, რომ პლაზმა თავისუფალი ელექტრული მუხტების დიდი კონცენტრაციით გამოირჩევა, ის ელექტრული დენის საუკეთესო გამტარია. ელექტრულ და მაგნიტურ ველებში პლაზმის ნაწილაკების მოძრაობის მართვა შესაძლებლობას იძლევა, თანამედროვე ტექნიკაში სხვადასხვა მოწყობილობა (მაგ., პლაზმოტრონი) შეიქმნას, რომლებშიც პლაზმის ჭავლის კინეტიკური ენერგია პირდაპირ ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება (იხ. პლაზმოტრონის დამზადება, გვ.183).

2. პლაზმური ნათურა სათამაშო არ არის:

პლაზმური ნათურა ანუ, როგორც მას ხშირად უწოდებენ, **პლაზმა-ბურთი**, უმეტეს



სურ. 2

შემთხვევაში მინის სფეროა, რომლის ცენტრში ერთი, მაღალი ძაბვის (2 –5 კვ) ელექტროდია მოთავსებული. განმხოლოებული ელექტროდი ნათურის შიგნით ელექტრულ ველს ქმნის.

მინის სფეროში, მეტწილად, ნეონი და ზოგჯერ სხვადასხვა ინერტული აირის (არგონის, ქსენონის, კრიპტონის) ნარევი, ატმოსფერულთან მიახლოებული წნევის ქვეშ.

ნათურაში აირის განმუხტვისას (ე.წ. მღვივარი განმუხტვისას) ელექტროდიდან სფეროს კედლამდე, ყველა მიმართულებით, სფეროს მთელ მოცულობაში, პლაზმის მანათობელი „ძაფები“ იქმნება. სხვადასხვა ფერის ნათებას განსხვავებული აირები იწვევს.

თუ სფეროს თითხე შეახებ, პლაზმის „ძაფები“ შეხების წერტილისკენ კონცენტრირდება: ადამიანის კარგი გამტარი სხეული (რომლის წინააღობა ოთახის ტემპერატურაზე, დაახლოებით, 1000 ომი) აირის დამუხტული ნაწილაკებისთვის გაცილებით მომხიბვლელ, ნაკლები წინააღობის მქონე მარტივ გზას ქმნის, ვიდრე სხვა რომელიმე წერტილი მინის (დიელექტრიკის) სფეროს ზედაპირზე...

პრინციპი, რომელსაც პლაზმური ნათურის მუშაობა ეფუძნება, ელექტროტექნიკის ჯადოქრის (როგორც მას ხშირად უწოდებენ ხოლმე), **ნიკოლა ტესლას**, მიერაა აღმოჩენილი 1894 წელს. ტესლამ თავის მანათობელ მოწყობილობას ასე უწოდა: „განმუხტვის მილი ინერტული აირებით“. ნათურის თანამედროვე დიზაინი კი მეცნიერსა და გამომგონებელს, ჯეიმს ფალკს ეკუთვნის, რომელიც 1970-1980 წლებში პლაზმურ ნათურებს კოლექციონერებისა და სამეცნიერო მუზეუმებისთვის ამზადებდა. **ნახე ვიდეო:** <http://bitly.ws/sVoo>

თავისი გარეგნული მომხიბვლელობის გამო, პლაზმური ნათურა ძალიან საინტერესოა ადამიანებისთვის, განსაკუთრებით, ბავშვებისთვის. ჩართულ მდგომარეობაში პლაზმური ნათურა არცთუ უსაფრთხოა, ამიტომ **აუცილებელია უსაფრთხოების წესების დაცვა:**



■ არ შეიძლება ნათურასთან შეხება ლითონის საგნით (მაგ., ბეჭდით, მონეტით). შეხების ადგილი ხურდება, რამაც შეიძლება მინის სფერო დაზიანოს. ამ დროს შეიძლება დენის სუსტი დარტყმაც კი იგრძნო;

■ საშიშია ჩართულ პლაზმურ ნათურასა და დამინებულ სხეულთან (მაგ., გათბობის მილებთან) ერთდროული შეხება. ეს დენის დარტყმას იწვევს;

■ გაითვალისწინე: ჩართული პლაზმური ნათურის ელექტრული ველი არასასურველ გავლენას ახდენს მის სიახლოვეს არსებული ელექტრონული მოწყობილობების მუშაობაზე.

3. ლისტენბერგის ფიგურები მინაში ჩაჭერილი „ელვა“:

ეს საოცრად ლამაზი სანახაობა, რომელიც დიელექტრიკში მაღალი ძაბვის დროს განმუხტვისას წარმოიქმნება, პირველად, 1777 წელს, გერმანელმა მეცნიერმა და მწერალმა გეორგ კრისტოფ ლისტენბერგმა შეამჩნია. პოლარიზებული დიელექტრიკის (ორგანიზის, პლექსიგლასის) ზედაპირზე პატარა ლურსმანს ჩაქურჩს ურტყამენ: დარტყმის ადგილას დიელექტრიკის მოლეკულებიდან ელექტრონები ამოიყრება და განმუხტვის ზვავისებური პროცესი იწყება... სწორედ განმუხტვის შედეგად ჩნდება დიელექტრიკში „ელვის“ ის კვალი, რომელსაც მე-3 სურათზე ხედავ.

გაიგე ლისტენბერგის ფიგურების შესახებ უფრო მეტი:
<http://bitly.ws/sVoC>



სურ. 3



სურ. 4

4. ფულგურიტი გაქვავებული „ელვა“:

ელვის არხში გავარვარებული პლაზმის ტემპერატურამ შეიძლება 30000°C -ს მიაღწიოს, რაც დაახლოებით ხუთჯერ აღემატება ტემპერატურას მზის ზედაპირზე. თუ მეხი დედამიწის ზედაპირზე ქვიშიან უბნებს ეცემა, შეიძლება ქვიშა გადნეს (მისი დნობის ტემპერატურა $1600 - 2000^{\circ}\text{C}$ -ია). გადნება თუ არა ქვიშა, დამოკიდებულია მეხის ზემოქმედების ხანგრძლივობაზეც: ის შეიძლება რამდენიმე ათეული მიკროწამიდან წამის მეთათედებამდე გრძელდებოდეს. მეხის დაცემის ადგილას დენის ძალამ, შესაძლოა, 100 კა-ს გადააჭარბოს. ამ დროს „იბადება“ ფულგურიტი: გამდნარი ქვიშის გაცივებისას მეხის ნაკვალევზე ულამაზესი ფორმების „მიწები“ ჩნდება (სურ.4). „ფულგურიტი“ („fulgur“) ლათინურად „ელვას“ ნიშნავს და სწორედ ამიტომ ფულგურიტებს „გაქვავებულ ელვასაც“ უწოდებენ.



სურ. 2.3.1



სურ. 2.3.2



სურ. 2.3.3



სურ. 2.3.4

ძველი დროის ისტორიკოსები ჩანაწერებში ხშირად აღწერდნენ „სასწაულს“, რომელსაც ღამით ზღვაში ხომალდის ანძებზე ხედავდნენ (სურ. 2.3.1): ეს „ცივი ცეცხლი“ იყო. მას ღამლამობით ჯარისკაცების შუბების წვერზე ძალიან დაკვირვებული მოწმე – რომელთა სახელგანთქმული მხედართმთავარი, იულიუს კეისარიც ხედავდა. ამ „ცეცხლის“ შესახებ კოლუმბი და მაგელანიც ჰყვებოდნენ... ასეთი „ცეცხლი“ საფრანგეთის ერთ-ერთ ქალაქში წმინდა ელმოს ეკლესიის ძალიან მაღალი გუმბათის წვერზეც ხშირად ციმციმებდა და მას ხალხმა „წმინდა ელმოს ცეცხლი“ შეარქვა...

... სპარსეთის მეფე ქსერქსე (ძვ. წ. IV საუკუნე) საბერძნეთზე გალაშქრებას აპირებდა, რაც მის მრჩეველს, არტაბანს, მაინცდამაინც არ მოსწონდა და, ლაშქრობის თავიდან ასაცილებლად, ხელმწიფეს უთხრა: „შეხედე, როგორ სჯიან ღმერთები ცეცხლოვანი მახვილით დიდ ცხოველებს, არ აძლევენ მათ უფლებას, რომ გაკადნიერდნენ. პატარა არსებები ღმერთებს არ აღიზიანებენ, ისინი მახვილს მხოლოდ დიდი სახლებისა და ყველაზე მაღალი ხეებისკენ მიმართავენ. ჩანს, ღმერთებს უყვართ მათი დამცირება, ვინც თავის თავს ყველაზე მაღლა აყენებს....“

... თუ ჩართულ პლაზმურ ნათურას ახლოს მიუტან ნეონის ან ლუმინესცენციურ ნათურას (სურ. 2.3.2), ეს უკანასკნელი ნათებას იწყებს იმ შემთხვევაშიც, თუ მწყობრიდანაა გამოსული.

ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/sVoU>

რა არის სინამდვილეში „წმინდა ელმოს ცეცხლი“, რა იგულისხმება ღმერთების „ცეცხლოვან მახვილში“, რატომ ინთება ნეონისა და ლუმინესცენციური ნათურა პლაზმური ნათურის სიახლოვეს, ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებ...

იმის მიხედვით, თუ როგორია აირის მდგომარეობა და თვისებები, ელექტროდებზე მოდებული ძაბვა, აირში სხვადასხვა სახის თავისთავადი განმუხტვა ხდება. თავისთავადი განმუხტვა სხვადასხვა სახისაა. არსებობს **ნაპერწკლისებრი, მღვივარი, გვირგვინისებრი და რკალური განმუხტვა.**

2.3.1. ნაპერწკლისებური განმუხტვა

ნაპერწკლისებრი განმუხტვა ჰაერში ელექტრული ველის დიდი დაძაბულობისას აღიძვრება. გარეგნულად ის კაშკაშა ზიგზაგისებრი ზოლების ერთობლიობაა, რომელიც სხვადასხვა მიმართულებით განშტოვდება (სურ. 2.3.3). მისთვის დამახასიათებელია სწრაფი მიმდინარეობა ჰაერის ელექტრული გარღვევის შემდეგ. ელვა ნაპერწკლისებური განმუხტვის მაგალითია (სწორედ ელვას გულისხმობდა არტაბანი ღმერთების ცეცხლოვან მახვილში (სურ. 2.3.4)).



2.3.2. მლვივარი განმუხტვა

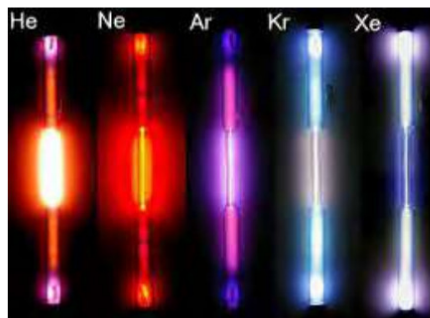
მლვივარი განმუხტვა კათოდის შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე და აირში მცირე წნევის (300 – 500 პა) დროს მიმდინარეობს. ამგვარი განმუხტვისთვის საკმარისია, ელექტროდებს შორის ძაბვა რამდენიმე ასეული ვოლტის ტოლი იყოს (ზოგჯერ კი გაცილებით ნაკლები).

მლვივარი განმუხტვისას აირით სავსე თითქმის მთელი მილი, გარდა კათოდის მიმდებარე უბნისა, ერთგვაროვნადაა განათებული. განათებულ ნაწილს **დადებით სვეტს** (ანოდის მიმდებარე უბანი) უწოდებენ.

იმის მიხედვით, თუ რომელ აირში მიმდინარეობს განმუხტვა, ნათება სხვადასხვაფერია: მაგ., ნეონი ნათელი შეფერილობის ნათებას იძლევა, არგონი – იისფერს და ა. შ. ამ მოვლენას ფართოდ იყენებენ სარეკლამო განათებებში (სურ. 2.3.5). ვერცხლისწყლის ორთქლში მლვივარ განმუხტვას **ლუმინესცენციურ ნათურებში** იყენებენ (სურ. 2.3.6).

ლუმინესცენციური ნათურა მინის გრძელი, ჰერმეტიკულად დახშული მილია (ან სპირალურადაა დახვეული), რომელშიც გაიშვიათებული ინერტული აირია (ძირითადად, არგონი) მცირე რაოდენობის ვერცხლისწყალთან ერთად (აირის წნევა ნათურაში ატმოსფერული წნევის 0,3% –ს შეადგენს).

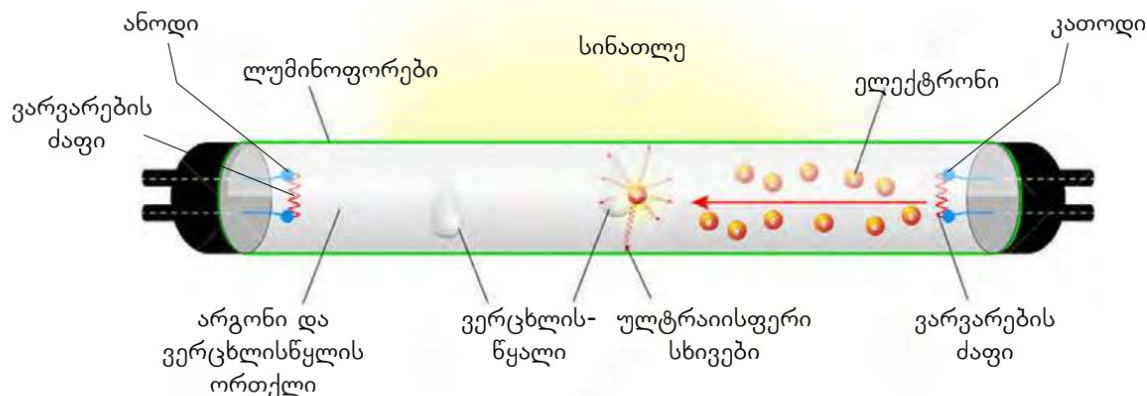
ვერცხლისწყალი ნათურის მუშაობის პროცესში აირად მდგომარეობაში გადადის. ნათურის შიგნით ორი ელექტროდია (სურ. 2.3.7), რომლებიც დენის წყაროსთანაა მიერთებული. ქსელში ჩართვის შემდეგ ელექტროდების ტემპერატურა იზრდება და როცა ის განსაზღვრულ მნიშვნელობას მიაღწევს, კათოდიდან, თერმოელექტრული ემისიის შედეგად, ელექტრონები ამოიფრქვევა. ელექტრონების ვერცხლისწყლის ატომებთან „შეჯახების“ შედეგად ულტრაიისფერი გამოსხივება მიიღება. ნათურის კედლები დაფარულია ე.წ. **ლუმინოფორის** ფხვნილით (ჰალოფოსფატისა და კალციუმის ნარევი სხვადასხვა ქიმიურ ელემენტებთან), რომელიც ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით ნათებას იწყებს. ლუმინოფორების შემადგენლობაზეა დამოკიდებული, როგორი (ყვითელი თუ ნეიტრალური, „თბილი“ თუ „ცივი“) სინათლით ანათებს ნათურა.



სურ. 2.3.5



სურ. 2.3.6



სურ. 2.3.7



სურ. 2.3.8

ელექტრულ ველში და მაშინაც, თუ მას შალის ქსოვილზე გავახახუნებთ, რადგან მღვივარი განმუხტვის აღძვრისთვის ძალიან მაღალი ძაბვა აუცილებელი არ არის..

ნახე ვიდეო:

<http://bitly.ws/sVqz>

<http://bitly.ws/sVqA>

<http://bitly.ws/sVqB>



ლუმინესცენციური ნათურა გაცილებით ეკონომიურია ვარვარების ნათურასთან შედარებით: მისი ვარვარების ძაფი მხოლოდ თერმოელექტრონული ემისიისთვისაა განკუთვნილი და არა სინათლის მისაღებად. ლუმინესცენციურ ნათურაში ძაფის ტემპერატურა მუშა მდგომარეობაში გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივ ნათურაში (შესაბამისად, ენერგიის დანაკარგი მცირეა). სწორედ ეკონომიურობის გამო ჩაანაცვლა თანდათან ვარვარების ნათურა ლუმინესცენციურმა ნათურებმა.

გაითვალისწინე: ვერცხლისწყლის ორთქლი მომწამვლელია. ის საკმაოდ მძიმე ზეგავლენას ახდენს გარემოზე და ადამიანის ჯანმრთელობისთვის უკიდურესად საშიშია. ლუმინესცენციურ ნათურებში ვერცხლისწყალი მცირე რაოდენობითაა (3-5 მგ) და ერთი ნათურის გატეხის შემთხვევაში ადამიანს საფრთხე არ ემუქრება (თუმცა ნამსხვრევების ფრთხილად შეგროვება, სველი წესით დალაგება და ოთახის განიავება ასეთ დროს აუცილებელია). დიდი რაოდენობით ნათურების გადაყრისას კი (მაგ., ნაგვის ბუნკერებში), გარემოში გამოფრქვეული ვერცხლისწყლის მხრიდან მოსალოდნელი საფრთხე იზრდება. მწყობრიდან გამოსული ნათურები სპეციალურ, ე.წ. **უტილიზაციის პუნქტებში** უნდა ბარდებოდეს, სადაც ვერცხლისწყლის გაუვნებელყოფა (დემერკურიზაცია) ხდება.



გაიგე მეტი ამ საფრთხეების შესახებ: <http://bitly.ws/sVri>

2.3.3. გვირგვინისებრი განმუხტვა



სურ. 2.3.9

გვირგვინისებრი განმუხტვა ელექტრულ ველში მოთავსებული წამახვილებული გამტარი სხეულების ან წვრილი სადენების გარშემო დიდი ძაბვის დროს აღიძვრება. მისი ძირითადი თავისებურება არის ის, რომ ჰაერის იონიზაციას წამახვილებული სხეულების ახლოს გვირგვინის ფორმის ნათება ახასიათებს და სახელიც ამის გამო დაერქვა. სწორედ გვირგვინისებრი განმუხტვაა ე. წ. „წმინდა ელმოს ცეცხლი“, რომელიც ჭექა-ქუხილის დროს

(როცა ატმოსფეროში ელექტრული ველის დაძაბულობა განსაკუთრებით ძლიერია) ჩნდება გემის ანძის ან თვითმფრინავის ფრთების წამახვილებულ ადგილებთან (სურ. 2.3.9), განმარტოებით მდგარი ხეების კენწეროებზე (სურ. 2.3.10), მეტიც, ეს მოვლენა ჭექა-ქუხილის დროს შესაძლოა, ადამიანის თავზე ან მალლა აწეული ხელის გარშემოც კი იხილოთ.

როგორც იცი, ელექტროენერგია დიდ მანძილებზე წერილი ელექტროსადენებით მაღალი ძაბვით გადაეცემა, რის გამოც ხშირად სადენებს შორის გვირგვინისებრი განმუხტვა აღიძვრება. ამ მოვლენას ელექტროენერგიის კარგვა ახლავს თან. დააკვირდი ვიდეომასალაზე სადენებს შორის გვირგვინისებრი განმუხტვის მოვლენას მისამართზე: <http://bitly.ws/t2K8>



2.3.4. რკალური განმუხტვა

რკალური განმუხტვა პირველად (1801 წელს) ბრიტანელმა ქიმიკოსმა ჰემფრი დეივიმ აღმოაჩინა. თუ ვინმეს შეიძლება ენოდოს პირველი ელექტრული ნათურის შემქმნელი, ეს ჰემფრი დეივია, რომელმაც სინათლე რკალური განმუხტვის შედეგად მიიღო. „დეივის სინათლე“ ხანმოკლე და თვალისმომჭრელი იყო, რის გამოც მისი მისი პრაქტიკაში გამოყენება ვერ მოხერხდა.

დენის წყაროს სხვადასხვა პოლუსთან მიერთებული ნახშირის ღეროების (ელექტროდების) ერთმანეთთან შეხების ადგილზე, ელექტრული დენის სითბური მოქმედების გამო, ელექტროდების ტემპერატურა ძალიან იზრდება (მათი დიდი წინააღობის გამო). ერთმანეთისგან დაშორებისას გავარვარებულ ელექტროდებს შორის დამაბრმავებელი სიკაშკაშის რკალის ფორმის ალი წარმოიქმნება, რომელსაც **ელექტრულ რკალს** უწოდებენ (სურ. 2.3.11.).



ნახე ვიდეო: <http://bitly.ws/t2K3>

რკალური განმუხტვა სინათლისა და სითბოს მძლავრი წყაროა, რის გამოც მას იყენებენ საპროექციო აპარატებში, კინოაპარატებში, პროექტორებში და, ასევე, ლითონთა შესადულებლად (სურ. 2.3.12).

რკალური განმუხტვის ენერგია გამოყენებული ე. წ. „ქსენონის“ ნათურებში, რომლებიც, ჩვეულებრივი ნათურებისგან განსხვავებით, გაცილებით უფრო კაშკაშა და მძლავრ სინათლეს იძლევა (სურ. 2.3.13).



სურ. 2.3.10



სურ. 2.3.11



სურ. 2.3.12



სურ. 2.3.13

ტომას ედისონი თავის ნათურას ფართო საზოგადოების წინაშე 1879 წლის ბოლოს წარადგენს (სურ. 2.4.1). მანამდე კი... არც ერთი ნუთით არ შეწყვეტილა ექსპერიმენტები. უამრავ ცდას ატარებს ედისონი და მისი თანაშემწეები. ცდილობენ, გააუმჯობესონ ნათურის ვარვარების ძაფი, გაზარდონ მისი მუშაობის ხანგრძლივობა... ათასობით მასალას ცდიან, ვაკუუმტუმბოს სხვადასხვა ვერსიას ამუშავებენ, რათა უკეთესი ვაკუუმი მიიღონ ნათურაში... მინის ჩაბერვის ცნობილი ოსტატები მუშაობენ ნათურის კოლბის დამზადებაზე...

1880 წელი. ედისონი ცდილობს, დაადგინოს მიზეზი, რომლის გამოც ნათურის ვარვარების ძაფი კვლავ განყდა. მან ნათურაში, საიდანაც ჰაერი ამოტუმბული იყო, ლითონის დამატებითი ელექტროდი (1) მოათავსა და მისი ბოლო დენის წყაროს დადებით პოლუსთან მიაერთა, ნათურის **გავარვარებული** ძაფი კი (2) – დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან (სურ. 2.4.2).

ედისონმა შეამჩნია, რომ გალვანომეტრის (3) (ხელსაწყო, რომელიც გამოიყენება წრედში სუსტი ელექტრული დენის აღმოსაჩენად. ის, ამპერმეტრისგან განსხვავებით, დენის ძალას არ ზომავს) ისარი გადაიხარა: ნათურაში დენი გადიოდა, მიუხედავად იმისა, რომ ლითონის ელექტროდი და ვარვარების ძაფი ერთმანეთთან შეერთებული არ იყო (მეტიც: ნათურაში „ვაკუუმი“ იყო შექმნილი, რაც დამუხტული ნაწილაკების არსებობას პრაქტიკულად გამორიცხავდა). აღნიშნული მოვლენის გამომწვევი მიზეზი იმ დროისთვის უცნობი იყო (არ იყო აღმოჩენილი ელექტრონი). ედისონმა აღმოჩენა დააპატენტა და მოვლენას „ედისონის ეფექტი“ უწოდეს. „ედისონის ეფექტის“ ახსნა კი მხოლოდ მას შემდეგ შეძლეს, რაც ელექტრონი აღმოაჩინეს. თავად მოვლენას სახელი შეუცვალეს და **თერმოელექტრონული ემისია** უწოდეს.

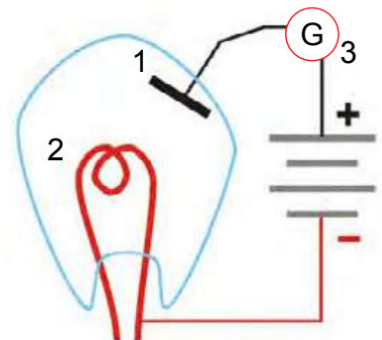
რატომ იხრებოდა გალვანომეტრის ისარი ედისონის ცდაში, ანუ როგორ აღიძვრება ელექტრული დენი ვაკუუმში (გაიშვიათებული აირის პირობებში)? ამ კითხვაზე პასუხს მოგვიანებით გავცემთ. მანამდე კი **თერმოელექტრონული ემისია** უფრო დანვრილებით განვიხილოთ.

2.4.1. თერმოელექტრონული ემისია

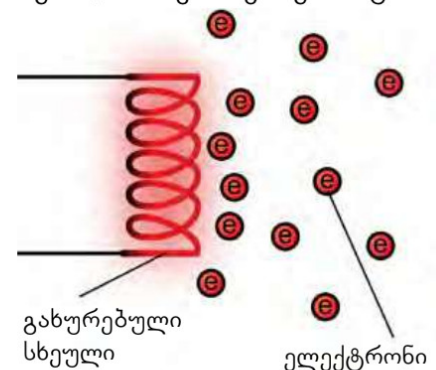
შენ უკვე იცი, რომ გახურებული სხეულიდან თავისუფალი ელექტრონების ამოსვლას **თერმოელექტრონული ემისია** ჰქვია. თერმოელექტრონული ემისია შეიძლება განვიხილოთ, როგორც სხეულის ზედაპირიდან ელექტრონების „აორთქლება“ (სურ. 2.4.3): იმისათვის, რომ თავისუფალმა ელექტრონმა სხეულის ზედაპირიდან ამოსვლა („ემისია“) შეძლოს, მან დადებითი ატომბირთვების მიზიდულობა უნდა დაძლიოს. მიზიდულობის ძალების დასაძლევად კი საჭიროა მუშაობის შესრულება. ამ მუშაობას **გამოსვლის მუშაობა** ($A_{\text{გამოს}}$) ჰქვია.



სურ. 2.4.1. რაულ დიუფი – ტომას ედისონი



სურ. 2.4.2



სურ. 2.4.3

გამოსვლის მუშაობა ნივთიერების გვარობასა და ზედაპირის მდგომარეობაზეა დამოკიდებული. სუფთა ლითონებისთვის გამოსვლის მუშაობა 2-დან 6 ევ-მდე მერყეობს.

ოთახის ტემპერატურაზე იმ თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი, რომელთა კინეტიკური ენერგია საკმარისია ატომბირთვების მიზიდულობის დასაძლევად, ძალიან მცირეა, მაგრამ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, მათი რიცხვი უფრო და უფრო იზრდება. მაგ., ლითონებიდან თერმოელექტრონული ემისია შესამჩნევი ხდება მაშინ, როცა ისინი 1500°C – 2000°C -მდეა გახურებული.

სხეულის ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, მის ზედაპირზე თავისუფალი ელექტრონების კინეტიკური ენერგია იზრდება. თუ ელექტრონების კინეტიკური ენერგია (E) იმდენად დიდი გახდება, რომ გაუტოლდება ან გადააჭარბებს გამოსვლის მუშაობას ($E \geq A_{\text{გამოს.}}$), მაშინ ისინი სხეულის ზედაპირიდან გარეთ გამოიტყორცნება.

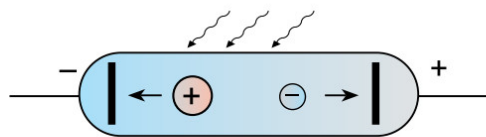
თერმოელექტრონული ემისიის მოვლენას ეფუძნება იმ **ვაკუუმური ელექტრონული მოწყობილობების** მუშაობა, რომლებშიც **დენი ვაკუუმში გადის.**

2.4.2. დენის წყარო ვაკუუმში

„ვაკუუმი“ და „ელექტრული დენი“ თითქოს ერთმანეთს გამორიცხავს: ელექტრული დენი დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობაა (ნაკადია), ვაკუუმში კი ისეთ გარემოს აღნიშნავს, რომელშიც არანაირი ნაწილაკი (ცხადია, არც დამუხტული) არ არსებობს! არადა ტექნიკაში (რადიომიმღებებში, ტელევიზორებში) ხშირად იყენებდნენ ვაკუუმურ ელექტრონულ მოწყობილობებს, მაგ., **ელექტრონულ მილაკს**, რომელშიც დენი სწორედ ვაკუუმში გადის. როგორ მიიღება ვაკუუმურ მოწყობილობებში დამუხტული ნაწილაკების ნაკადი?

განვიხილოთ **ელექტრონული მილაკი** – ორელექტროდიანი მინის მილი (სურ. 2.4.4). თუ მილში აირის წნევა $0,0001$ მმ. ვწყ. სვ.-ზე მაღალია, აირის თავისთავადი განმუხტვა შესაძლებელია. თუ მილიდან აირს ამოვტუმბავთ, გავაიშვიათებთ (გავაუხშოვებთ) და აირის წნევა $0,0001$ მმ. ვწყ. სვ.-ზე დაბალი გახდება, განმუხტვა შეწყდება (ანუ დენის ძალა მილში ნულს გაუტოლდება მაშინ, როცა ელექტროდებზე ძაბვა ნულისგან განსხვავებულია). ეს ასე აიხსნება: მილში აირის შემადგენელი ნაწილაკების (მოლეკულების, ატომების) სიმცირის გამო, იონიზაცია შეწყდება. გაუხშოებული აირი შეიძლება გამტარი გახდეს გარე იონიზატორის ზეგავლენით (არათავისთავადი განმუხტვა).

თუ აირის ამოტუმბვას გავაგრძელებთ, შეიძლება მის ისეთ კონცენტრაციას მივაღწიოთ, როცა შემადგენელი ნაწილაკები მილში მოძრაობისას ერთმანეთს არ ეჯახება. აირის ასეთი მდგომარეობა მაქსიმალურადაა მიახლოებული **ვაკუუმთან**, რომელშიც დენის გავლა მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ მასში **დამუხტული ნაწილაკების წყაროს** შევიტანთ. ხშირად ასეთი წყაროს მოქმედება თერმოელექტრონული ემისიის მოვლენას ეფუძნება: უმეტეს შემთხვევაში **ვაკუუმურ ელექტრომოწყობილობებში დამუხტული ნაწილაკების წყარო გახურებული ელექტროდია (კათოდა).**



სურ. 2.4.4

2.4.3. ვაკუუმური დიოდი

როგორ აღიძვრება ვაკუუმში დენი? იმისათვის, რომ ამ კითხვაზე პასუხი გავცეთ, ვნახოთ, როგორაა მოწყობილი ორელექტროდიანი ელექტრონული მილაკი, რომელსაც **ვაკუუმური დიოდი** ჰქვია (ბერძნულად „დი“ ორს ნიშნავს, ხოლო „ოდა“ – გზას). ვაკუუმური დიოდი მინის (ან ლითონკერამიკის) მილაკია, საიდანაც ჰაერი ამოტუმბულია (აირის წნევა მილაკში 10^{-6} – 10^{-7} მმ. ვწყ. სვ.-ია). **მილაკში ორი ელექტროდია მოთავსებული** (სურ. 2.4.5):

1. **კათოდი** („ცხელი“ ელექტროდი, რომელსაც დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან აერთებენ) – ლითონის წვრილი ცილინდრი, რომელიც დაფარულია ტუტემინა ლითონების (ბარიუმის, სტრონციუმის, კალციუმის) ოქსიდების შრით. „ცხელი“ ელექტროდის (კათოდის) შიგნით ვარვარების ძაფია – იზოლირებული გამტარი, რომელიც ცალკე წრედშია ჩართული. ძაფი ვარვარდება მასში დენის გავლისას და „კათოდს“ აცხელებს.

2. **ანოდი** („ცივი“ ელექტროდი, რომელსაც დენის წყაროს დადებით პოლუსთან აერთებენ) – ცილინდრია, რომლის შიგნით კათოდია მოთავსებული.

თუ ელექტროდებს შორის ძაბვა არ არის (ელექტროდები დენის წყაროსთან მიერთებული არ არის), გახურებული ელექტროდიდან ამოტყორცნილი ელექტრონები ელექტროდის ირგვლივ ელექტრონულ „ღრუბელს“ წარმოქმნის (სურ. 2.4.6): ელექტრონების დაკარგვის გამო დადებითად დამუხტული ელექტროდი ელექტრონებს თავის გარშემო აკავებს: რაც უფრო მაღალია ელექტროდის ტემპერატურა, მით მეტია ელექტრონული „ღრუბლის“ სიმკვრივე. ელექტრონების ნაწილი, კარგავს რა თავისი ენერგიის ნაწილს, კათოდის მიზიდულობის შედეგად „ღრუბლიდან“ ისევ ელექტროდში ბრუნდება. ნონასწორობის მდგომარეობაში გახურებული ელექტროდიდან დროის ერთეულში გამოსული ელექტრონების რიცხვი იმავე დროში უკან ჩაბრუნებული ელექტრონების რიცხვის ტოლია.

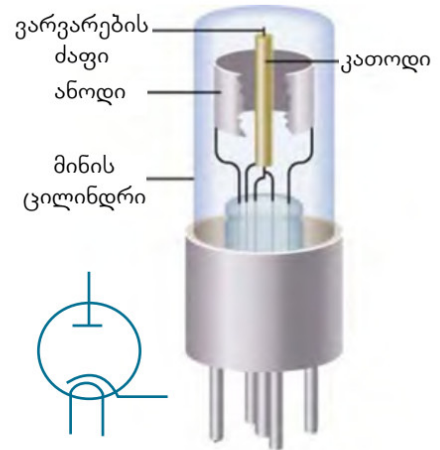
„ცივი“ და „ცხელი“ ელექტროდების დენის წყაროსთან მიერთების შემდეგ, მათ შორის ძაბვა აღიძვრება:

ა) ვთქვათ, დენის წყაროს დადებით პოლუსთან მიერთებულია „ცივი“ ელექტროდი (ანოდი), უარყოფით პოლუსთან კი „ცხელი“ ელექტროდი (კათოდი) (სურ. 2.4.7). ელექტროდთა ასეთ ჩართვას პირდაპირი ჩართვა ჰქვია.

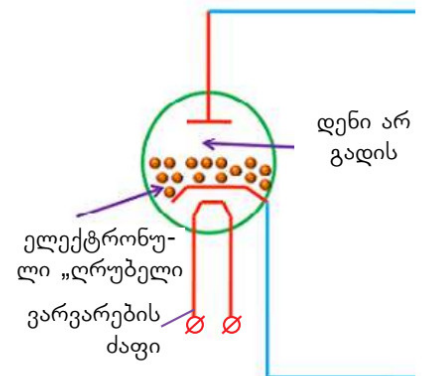
გახურებული კათოდიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების ნაწილი ელექტრული ველის მოქმედებით ანოდისკენ დაიწყებს მიმართულ მოძრაობას: ელექტრული ველის დაძაბულობა „ცხელი“ კათოდისკენაა მიმართული, ელექტრონები კი ველის დაძაბულობის საწინააღმდეგოდ, „ცივი“ ანოდისკენ მოძრაობს მიმართულად. ელექტრული წრედი შეიკვრება და მილაკის შიგნით, ვაკუუმში, დენი გაივლის.

ვაკუუმში დენი თერმოელექტრონული ემისიის შედეგად კათოდიდან ამოსული ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა.

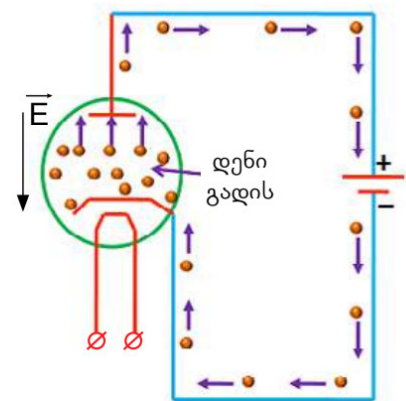
ბ) ვთქვათ, დენის წყაროს დადებით პოლუსთან მიერთებულია „ცხელი“ ელექტროდი, უარყოფით პოლუსთან კი „ცივი“ ელექტროდი (სურ. 2.4.8). ელექტროდთა ასეთ ჩართვას შექცეული ჩართვა ჰქვია.



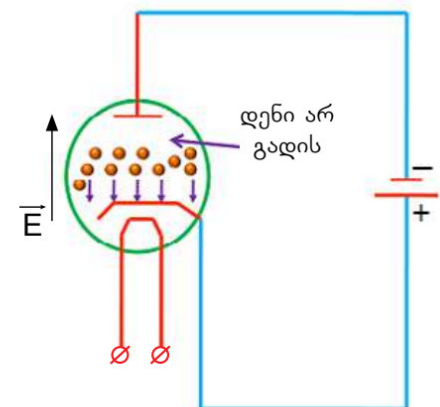
სურ. 2.4.5



სურ. 2.4.6



სურ. 2.4.7



სურ. 2.4.8

გახურებული ელექტროდიდან (ანოდის) ამოტყორცნილი ელექტრონები ელექტრონული ველის მოქმედებით ისევ ანოდში დაბრუნდება: ველის დაძაბულობა ამ შემთხვევაში „ცივი“ კათოდისკენაა მიმართული, ელექტრონები კი ველის დაძაბულობის საწინააღმდეგოდ, „ცხელი“ ანოდისკენ მოძრაობს მიმართულად. **ელექტრონი წრედი არ შეიკვრება** და მილაკის შიგნით **დენი არ გაივლის**.

ასე რომ, **ვაკუუმური დიოდი დენს ცალმხრივად, ერთი მიმართულებით ატარებს**.

... 1897 წელს, მას შემდეგ, რაც ჯოზეფ ტომსონმა ელექტრონი აღმოაჩინა, „ედისონის ეფექტის“ ახსნა შესაძლებელი გახდა: ცხადი იყო, რომ ედისონის ნათურის ვაკუუმში (გაიშვიათებული აირის პირობებში) დენის აღძვრა ნათურის გავარვარებული ძაფიდან (კათოდიდან) ელექტრონების ამოსვლამ განაპირობა. მას შემდეგ, რაც ელექტრონები ლითონის დამატებით ელექტროდს (ანოდს) მიაღწევდნენ, წრედი იკვრებოდა და გალვანომეტრის ისარი გადაიხრებოდა...

ბედნიერი შემთხვევითობა იყო ის, რომ ედისონმა ვარვარების ძაფი დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან მიაერთა და აღმოჩენამდე მივიდა (თუმცა აღმოჩენის პრაქტიკულ მნიშვნელობას ვერ მიხვდა). თუ ნათურის ვარვარების ძაფს დენის წყაროს დადებით პოლუსთან, ხოლო დამატებით ელექტროდს უარყოფით პოლუსთან შეაერთებდა, გალვანომეტრის ისარი არ გადაიხრებოდა... ნათურაში ასეთ შემთხვევაში დენი არ გაივლიდა... (სურ. 2.4.8)

2.4.4. დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

ნებისმიერი ელექტრონული მოწყობილობის მართვისთვის, მნიშვნელოვანია მისი **ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის**, ანუ მოწყობილობაში გამავალი დენის ძალის დაბეჭდვით დამოკიდებულების ხასიათის ცოდნა.

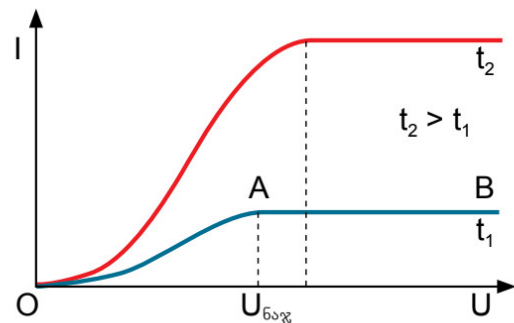
სურათ 2.4.9-ზე გამოსახულია **დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი**. გრაფიკიდან ჩანს, რომ დასაწყისში, როცა დაბეჭდვა კათოდსა და ანოდს შორის (ანოდური დაბეჭდვა) მცირეა (OA უბანი), დენის ძალა ანოდური დაბეჭდვის გაზრდასთან ერთად **არაწრფივად** იზრდება (გაიხსენე: ლითონის გამტარისთვის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი მცირე დაბეჭდვის დროს წრფივია (იხ. სურ. 1.4.5)).

ლითონებისგან განსხვავებით, დიოდში დენს ის თავისუფალი ელექტრონები წარმოქმნის, რომლებიც გახურებული კათოდიდან შეზღუდული რაოდენობით ამოდის. ამას გარდა,

ელექტრონების მოძრაობაზე გავლენას ელექტროდებს შორის არსებული ელექტრონული ველის გარდა, ელექტრონული „ღრუბლის“ ველიც ახდენს: გავარვარებული კათოდიდან ამოსული ელექტრონების გარკვეული ნაწილი უკან, კათოდში ბრუნდება.

რაც უფრო მეტია ანოდური დაბეჭდვა, მით უფრო მეტი ელექტრონი აღწევს ანოდად. დენის ძალა იზრდება და როცა დაბეჭდვა გარკვეულ სიდიდეს ($U_{\text{ნაჯ}}$) მიუახლოვდება, დენი **ნაჯერი** ხდება: კათოდიდან დროის ერთეულში გამოსული ყველა ელექტრონი იმავე დროში ანოდად აღწევს და დენი აღარ იზრდება (AB უბანი).

თუ კათოდის ტემპერატურას გავზრდით, კათოდს მეტი ელექტრონი დატოვებს და ნაჯერობის დენი კიდევ უფრო მაღალი დაბეჭდვას მიიღება (სურ. 2.4.9).



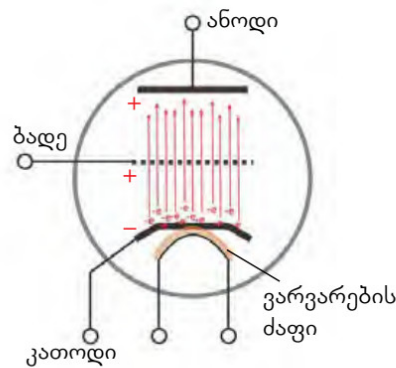
სურ. 2.4.9

2.4.5. ვაკუუმური ტრიოდი

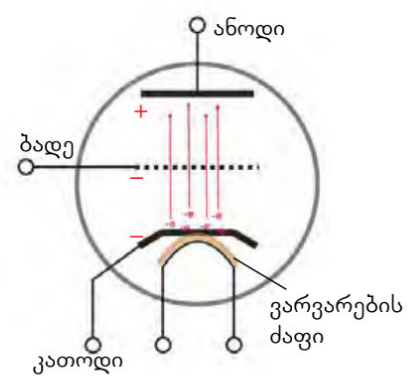
ვაკუუმურ ტრიოდს, დიოდისგან განსხვავებით მესამე, დამატებითი ელექტროდი, ე.წ. **ბადე** აქვს (სურ. 2.4.10).



სურ. 2.4.10



სურ. 2.4.11



სურ. 2.4.12

როცა ბადეს კათოდის მიმართ დადებითი პოტენციალი აქვს, ბადესა და კათოდს შორის აღძრული დამატებითი ელექტრონული ველის გავლენით, კათოდის გარშემო ელექტრონულ „ღრუბელს“ მეტი ელექტრონი ტოვებს და მას შემდეგ, რაც ისინი ბადეში „გაძვრება“, ანოდისკენ მიმართულად მოძრაობს. იზრდება ანოდამდე მიღწეული ელექტრონების რიცხვი და, შესაბამისად, იზრდება წრედში გამავალი დენის ძალა (სურ. 2.4.11).

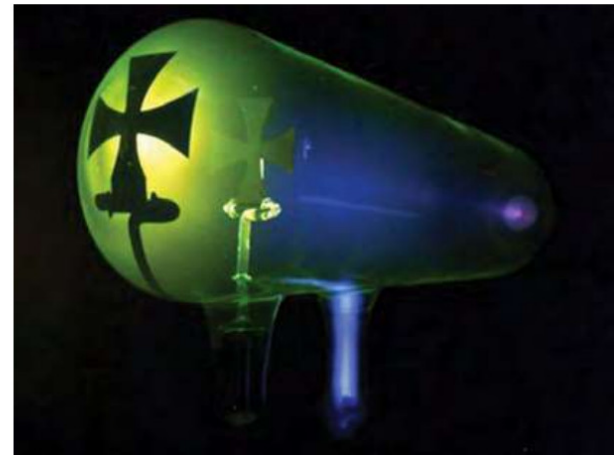
როცა ბადეს კათოდის მიმართ უარყოფითი პოტენციალი აქვს, მაშინ ბადესა და კათოდს შორის აღძრული დამატებითი ელექტრონული ველი ანოდისკენ მიმავალ ელექტრონების მოძრაობას შეაფერხებს და შესაბამისად, მცირდება წრედში გამავალი დენის ძალა (სურ. 2.4.12). ასე, რომ ტრიოდის დახმარებით შესაძლებელია წრედში დენის ძალის რეგულირება.

2.4.6. ელექტრონული კონა-კათოდური სხივები

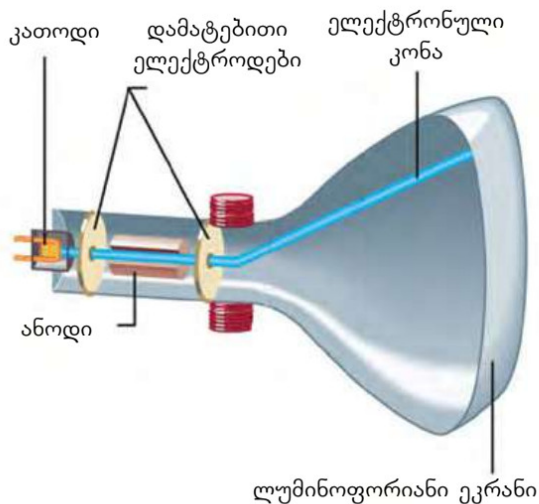
1870 წელს უილიამ კრუქსმა ვაკუუმური ელექტრონული მილი შექმნა, რომლის დახმარებითაც გაიშვიათებულ აირებში დენის გავლის პროცესს აკვირდებოდა (სურ.2.4.13). მან შეამჩნია, რომ განმუხტვისას ანოდის მიღმა მილი ანათებდა. მილის განათებული კედლის ფონზე კი ანოდის (ჯვრის) ჩრდილი ჩანდა. ისეთი შთაბეჭდილება იქმნებოდა, თითქოს განათებას რაღაც უხილავი სხივები იწვევდა, რომლებიც კათოდიდან ანოდის მიმართულებით წრფივად ვრცელდებოდა, ანოდს გარს ვერ უვლიდა და მინის კედელზე ანოდის ჯვრის ფორმის ჩრდილი მიიღებოდა...

კრუქსის მილი სწორედ ის „ნათურაა“, რომელიც ასე წააგავს გარეგნულად დენდერას „ნათურას“, თუმცა კრუქსის მილში მიმდინარე პროცესის შექმნა ძველი ეგვიპტელებისთვის, ცხადია, შეუძლებელი იყო მთელი რიგი ტექნოლოგიური სირთულეების გამო, რომ აღარაფერი ვთქვათ დენის წყაროზე, თერმოელექტრონულ ემისიაზე და ა.შ.

რატომ ჩნდებოდა ჩრდილი კრუქსის ნათურაში? თუ ელექტრონული მილაკის ანოდს ნახვრეტს გაუვკეთებთ, მაშინ ელექტრონული ველის მიერ აჩქარებული ელექტრონების ნაწილი ამ ნახვრეტში გავა და ანოდის უკან სწრაფი ელექტრონების ვიწრო ნაკადი,



სურ. 2.4.13



სურ. 2.4.14

ზესუფთა ლითონების დნობისთვის იყენებენ... სწრაფი ელექტრონების დამუხრუჭება რენტგენის გამოსხივებას იწვევს, რომელსაც უფროს კლასებში შეისწავლი...

ზოგიერთი ნივთიერება, ე. წ. **ლუმინოფორები**, სწრაფი ელექტრონებით „დაბომბვის“ შედეგად ნათებას იწყებს. ისინი ელექტრონული კონის ენერგიის დაახლოებით 25%-ს სინათლის ენერგიად გარდაქმნიან.

ელექტრონული კონა იხრება ელექტრულ ველში, მაგ., კონდენსატორის ფირფიტებს შორის გავლისას კონა უარყოფითიდან დადებითი ფირფიტისკენ იხრება.

ელექტრონული კონა იხრება მაგნიტურ ველშიც (ამ საკითხს მომდევნო კლასში შევისწავლით).

ელექტრული ან მაგნიტური ველით ელექტრონული კონის მართვა და კონის გავლენით ლუმინოფორიანი ეკრანის ნათება საფუძვლად დაედო ვაკუუმური ელექტრონული მოწყობილობის – **ელექტრონულ-სხივური მილაკის** შექმნას (სურ. 2.4.14). **ელექტრონულ-სხივური მილაკი** (ე.წ. კინესკოპი) ძველი თაობის ტელევიზორისა და კომპიუტერის ძირითადი ნაწილი იყო.

თერმოელექტრონული ემისიის მოვლენა ფუნდამენტური მეცნიერული აღმოჩენაა, რომელმაც შემდგომში მთელი ეპოქა შექმნა ელექტრონიკაში. ვაკუუმური ელექტრონული მილაკების საინტერესო შესაძლებლობები და თვისებები განსაზღვრავდა პრაქტიკაში მათ შეუცვლელ როლს: **დენის ცალმხრივად, მხოლოდ ერთი მიმართულებით გატარების უნარის გამო ვაკუუმური მილაკები ცვლადი დენის მუდმივად გარდაქმნის საშუალებას იძლეოდა**. ისინი გამოიყენებოდა ტელევიზორებში, გამომთვლელ მანქანებში, რადიოაპარატურაში და ა.შ.

ელექტრონული მილაკების მთავარი ნაკლი მისი ზომა იყო, რაც მნიშვნელოვნად ზრდიდა იმ ელექტრომოწყობილობების ზომებსაც, რომელთა მთავარ ნაწილს ის წარმოადგენდა. გარდა ამისა, კათოდის გასაცხელებლად ენერგიის დამატებითი წყარო იყო საჭირო, ასევე აუცილებელი იყო გამაცივებელი საშუალება, რომელიც გამოყოფილი სითბოს შედეგად გადახურებისგან დაიცავდა ხელსაწყოს. ვაკუუმური დიოდის უალტერნატივოდ გამოიყენებოდა ტექნიკაში მანამ, სანამ ის **ნახევარგამტარულმა დიოდმა და ტრანზისტორმა** არ შეცვალა.

ელექტრონულ კონა მიიღება (სურ. 2.4.14). თუ კათოდსა და ანოდს შორის დამატებით ელექტროდს მოვათავსებთ, მაშინ მისი პოტენციალის შეცვლით შეგვიძლია, ვცვალოთ ელექტრონების რაოდენობა კონაში.

სწორედ სწრაფი ელექტრონების კონაა ის უცნობი ე.წ. **კათოდური სხივები**, რომელთა არსებობა კრუქსმა ივარაუდა, ხოლო ექსპერიმენტულად 1895 წელს ჟან პერენმა დაადასტურა.

ელექტრონულ კონას საინტერესო თვისებები აქვს, რის გამოც ის ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში. ასე, მაგ.,

სხეულზე მოხვედრისას, ელექტრონული კონა მის გახურებას იწვევს. ამ თვისებას ვაკუუმში

1947 წელს სამმა ამერიკელმა ფიზიკოსმა უილიამ შოკლიმ, უოლტერ ბრატეინმა და ჯონ ბარდინიმ მსოფლიოში პირველი **ტრანზისტორი** შექმნა, რითაც ვაკუუმური ელექტრონული მილაკების ეპოქის დასასრული დაიწყო... სამივე მათგანს ამ გამოგონებისთვის ნობელის პრემია მიენიჭა.

ოღონდ პირველ ეტაპზე თავიანთ გამოგონებას ელექტრონული მილაკების ანალოგიით **ნახევარგამტარული ტრიოდი** დაარქვეს. თანამედროვე დასახელება ორი სიტყვის გაერთიანების შედეგია: „transfer“ და „resistor“, რაც „წინააღმდეგობის გარდამქმნელს“ ნიშნავს. ტრანზისტორი ცვლის დენის ძალას წრედში სწორედ ისე, როგორც ონკანით ვარეგულირებთ წყლის ნაკადს და ეს ნახევარგამტარული მოწყობილობის შინაგანი წინააღმდეგობის ცვლილების ხარჯზე ხდება...

ტრანზისტორს (სურ. 2.5.1) ყველა იმ ფუნქციის შესრულება შეუძლია, რასაც მანამდე ვაკუუმური ელექტრონული მილაკები (დიოდი, ტრიოდი) ასრულებდა, ოღონდ ის **ნახევარგამტარული** მასალისგანაა დამზადებული...

მას შემდეგ რაც ტრანზისტორული „ჯინი“ ჯადოსნური „ლამპარიდან“ გათავისუფლდა, ელექტრონული მილაკების გამოყენება თითქმის ყველა სფეროში თანდათან შეიზღუდა, თუმცა მთლიანად არ გაქრა: მაგ., ელექტრონული მილაკები დღესაც გამოიყენება მაღალი ძაბვის ხაზებით ენერგიის გადაცემისას, რადგან მათ შეუძლიათ უფრო დიდი სიმძლავრის გენერირება, ვიდრე მათ **ნახევარგამტარულ** ეკვივალენტებს. ელექტრონულ მილაკებს იყენებენ მაგნიტორეზონანსულ ტომოგრაფებში, მიკროტალღურ ლუმენებში, აუდიოსისტემებში. თუმცა ელექტრონულ მილაკებს თავისი დიდების ხანა უკვე ჰქონდა. დღეს სამყარო ტრანზისტორებზე დგას:

ტრანზისტორები საიმედოობითა და მუშაობის ხანგრძლივი პერიოდით გამოირჩევა. ვაკუუმური მილაკები კი, ისევე როგორც ნათურები, პერიოდულად შეცვლას საჭიროებდა...

ტრანზისტორის მუშაობისთვის გაცილებით დაბალი ძაბვაა საჭირო...

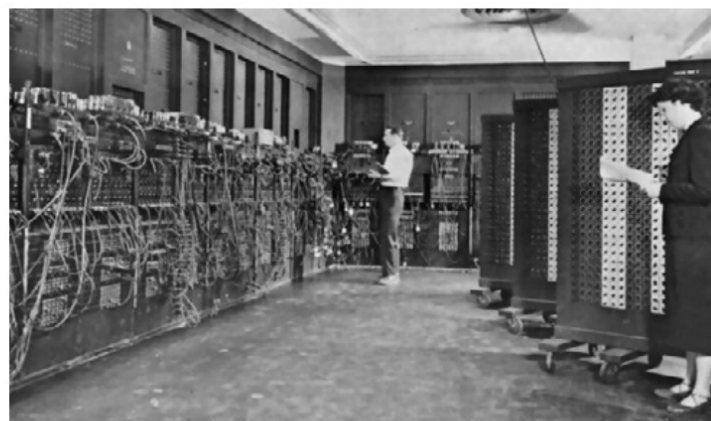
ტრანზისტორებს ვარვარების ძაფი არ აქვს, რომლის გახურებას დამატებითი ენერგია სჭირდება...

ტრანზისტორი ზომით გაცილებით პატარაა, ვიდრე ელექტრონული მილაკები.

მაგ., პირველი თაობის კომპიუტერს ათასამდე ელექტრონული მილაკი სჭირდებოდა, რომლებიც რკინის კარადებში იყო განთავსებული და უზარმაზარ ადგილს იკავებდა (სურ. 2.5.2). ასეთი კომპიუტერი ათობით ტონას იწონიდა და მის ასამუშავებლად ელექტროსადგური იყო საჭირო. კომპიუტერს გადახურებისგან მძლავრი გამაგრილებელი სისტემა იცავდა... მიუხედავად ამისა, ადრინდელი კომპიუტერები გაცილებით ნაკლები სიმძლავრის იყო, ვიდრე თანამედროვე კომპიუტერი, რომელთაგან ზოგიერთს ჯიბეშიც მოითავსებ... და ეს **ტრანზისტორის** დამსახურებაა.



სურ. 2.5.1



სურ. 2.5.2

ნებისმიერ ელექტრონულ მოწყობილობაში, საათში, ტელეფონში, კომპიუტერში, რადიოაპარატურაში, შენ ნახავ ტრანზისტორს... უფრო სწორად კი, შენ მათ მილიარდობით ნახავ. ტრანზისტორები ერთგვარი „ატომებია“ თანამედროვე ელექტროტექნიკაში.

კომპიუტერული ტექნოლოგიების სფეროში მოღვაწე ამერიკელმა ინჟინერმა, გამომგონებელმა და უდიდესი კორპორაციის (intel-ის) დამფუძნებელმა, გორდონ მურმა, 1950 წელს საკუთარი დაკვირვებების შედეგად კანონი დაადგინა, რომელსაც მისივე სახელი ეწოდა. **მურის კანონის** თანამედროვე ფორმულირების თანახმად:

ტრანზისტორების რაოდენობა მიკროსქემაზე ორჯერ იზრდება ყოველ 24 თვეში!

მურის კანონი, ფიზიკის ბევრი კანონის მსგავსად, ფუნდამენტური კანონი არ არის, თუმცა ჯერჯერობით ის სრულდება: ბოლო წლების მონაცემებით მიკროსქემის 1 მმ² ფართობზე განლაგებული ტრანზისტორების რაოდენობამ 100 მილიარდს მიაღწია! ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მათი ზომები თანდათან მცირდება: რაც უფრო მცირე ზომისაა ტრანზისტორი, მით უფრო ნაკლებ ენერგიას მოიხმარს და მით უფრო სწრაფად მუშაობს ტრანზისტორებზე დაფუძნებული მოწყობილობა (მაგ., კომპიუტერის პროცესორი).

მილიარდები კვადრატულ მილიმეტრზე...ეს შთამბეჭდავი რიცხვები უფრო ფანტასტიკას ჰგავს, ვიდრე – რეალობას. ტრანზისტორი კი უფრო ყოვლისშემძლედ მოჩანს, ვიდრე მეზღაპრეების მიერ ყბადაღებული ჯინი. რა მომავალი ელის ელექტრონიკას როცა მურის კანონი თავის თავს ამოწურავს? ჰორიზონტზე კვანტური კომპიუტერები უკვე მოჩანს და არავის შეუძლია იმის წარმოდგენა, სად მიგვიყვანს ტექნიკური პროგრესის ტალღა... მაგრამ მანამდე გავეცნოთ რა არის **ნახევარგამტარი**, როგორ აღიძვრება მასში ელექტრონული დენი და როგორია **ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპი**.

2.5.1. ნახევარგამტარები

ნახევარგამტარები ისეთ ნივთიერებებს ჰქვია, რომლებსაც, ელექტრონული დენის გამტარობის თვალსაზრისით, შუალედური მდგომარეობა უკავია ლითონებსა და დიელექტრიკებს შორის: ლითონების კუთრი წინაღობა $10^{-8} - 10^{-6}$ ომი·მ-ია, დიელექტიკებისა კი $10^{12} - 10^{14}$ ომი·მ. ნახევარგამტარების კუთრი წინაღობა კი ოთახის ტემპერატურაზე 10^{-3} -დან 10^7 ომი·მ-ის ფარგლებშია.

ნახევარგამტარები დენის ისეთი კარგი გამტარები არ არის, როგორც ლითონები, თუმცა არც „კარგ“ დიელექტრიკებს მიეკუთვნება.

ნახევარგამტარები შეიძლება იყოს როგორც კრისტალურ, ისე თხევად და ამორფულ მდგომარეობაში, მაგრამ ნახევარგამტარული მოწყობილობების (მაგ., დიოდის, ტრანზისტორის) დასამზადებლად კრისტალური აგებულების ნახევარგამტარებს იყენებენ.

ნახევარგამტარებია, მაგ., სილიციუმი, გერმანიუმი, სელენი, ფოსფორი, ასევე უამრავი მინერალი, სხვადასხვა ოქსიდი, სულფიდები, ტელურიდები და სხვა. **დააკვირდი** ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილის ცენტრალურ ნაწილს (სურ. 2.5.3): სწორედ ამ ნაწილს იკავებენ III – V ჯგუფის ის ქიმიური ელემენტები, რომლებიც ნახევარგამტარებს მიეკუთვნება.

დიდი ხნის განმავლობაში ეს ნივთიერებები მეცნიერთა ყურადღების მიღმა რჩებოდა სწორედ იმის გამო, რომ ისინი, ერთი მხრივ, გაცილებით ცუდად ატარებენ დენს, ვიდრე ლითონები, ხოლო, მეორე მხრივ, საკმაოდ ცუდი იზოლატორები არიან.

XX საუკუნის 40 – 60-იან წლებში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად კი აღმოაჩინეს, რომ ნახევარგამტარებს ძალიან ბევრი შესანიშნავი ფიზიკური თვისება აქვს. დაიწყეს მათი წარმატებით გამოყენება უამრავ ელექტრომოწყობილობაში, რომელ-

	IIIA	IVA	VA	VIA	
	5	6	7	8	
	B Boro	C Carbonio	N Azoto	O Ossigeno	
	13	14	15	16	
	Al Alluminio	Si Silicio	P Fosforo	S Zolfo	
	31	32	33	34	
	Zn Zinco	Ga Gallio	Ge Germanio	As Arsenico	Se Selenio
	48	49	50	51	52
	Cd Cadmio	In Indio	Sn Stagno	Sb Antimonio	Te Tellurio
	80	81	82	83	84
	Hg Mercurio	Tl Tallio	Pb Piombo	Bi Bismuto	Po Polonio

გამტარები
 ნახევარგამტარები
 დიელექტრიკები

სურ. 2.5.3

თა დასამზადებლად ლითონები და დიელექტრიკები გამოუსადეგარია. თანამედროვე მიკროელექტროტექნიკა კი, უბრალოდ, წარმოუდგენელია ნახევარგამტარების გარეშე. მოდი, ჩავატაროთ ცდები და დავაკვირდეთ, ნახევარგამტარის ზოგიერთ თვისებას.

2.5.2. ნახევარგამტარის წინააღმდეგობის დამოკიდებულება გარე ფაქტორებზე

ცდებისთვის დაგეგმვა: დენის წყარო (9 – 12 V), მილიამპერმეტრი (mA), ჩამრთველი, სინჯარა, წყლიანი ცეცხლგამძლე ჭურჭელი, წყლის თერმომეტრი, სპირტქურა, შტატივი ჭურჭლის სადგამით, მუქი ფერის გაუმჭვირვალე ყუთი, ფარანი.

თერმო- და ფოტორეზისტორები (სურ. 2.5.4) – ნახევარგამტარული მოწყობილობებია, რომელთა მოქმედება იმ ნახევარგამტარების თვისებებზეა დამყარებული, რომლებიც მათ მთავარ ნაწილს წარმოადგენს. ნახევარგამტარი მოწყობილობის კერამიკულ კორპუსშია მოთავსებული და აქვს გამომყვანები (დენის წყაროსთან მიმყვანი სადენები).

თერმო- და ფოტორეზისტორების მოქმედების პრინციპს გაკვეთილის მსვლელობისას გავეცნობით.



ცდა I



1. ააწყვე წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული დენის წყაროს, მილიამპერმეტრის, ჩამრთველისა და თერმორეზისტორისგან (სურ. 2.5.5);

2. მოათავსე თერმორეზისტორი და თერმომეტრი სინჯარაში და სინჯარა წყლიან ჭურჭელში ჩაუშვი (სურ. 2.5.6);

3. შეათბე წყლიანი ჭურჭელი სპირტქურის ალზე;

4. ჩართე ჩამრთველი. აიღე ანათვალთ თერმომეტრსა და მილიამპერმეტრზე ცდის დასაწყისში და ყოველი 0,5 – 1 წუთის შემდეგ.

5. გადაიხაზე ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსე ცდის გაზომვის შედეგების მიხედვით:

t°C				
I, mA				

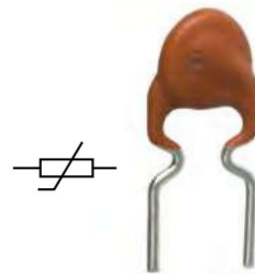
6. გათბობის პროცესში კვლავ დააკვირდი მილიამპერმეტრს: შეიცვალა თუ არა მისი ჩვენება? როგორ?

7. შეწყვიტე თერმორეზისტორის გათბობა 3 – 4 წუთის შემდეგ და აიღე ანათვალთ თერმომეტრსა და მილიამპერმეტრზე. შეავსე ცხრილი.

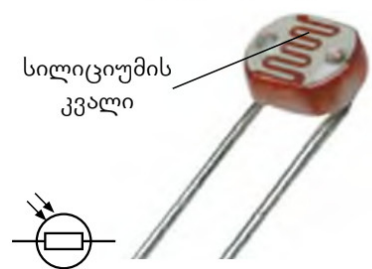
8. ააგე დენის ძალის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი: $I = I(t)$;

9. გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული თერმორეზისტორის წინააღმდეგობა ტემპერატურაზე?

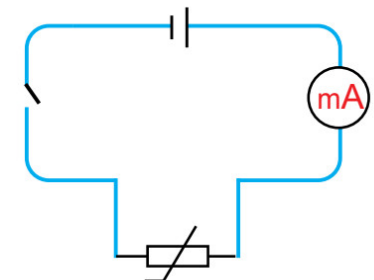
თერმორეზისტორი



ფოტორეზისტორი



სურ. 2.5.4



სურ. 2.5.5

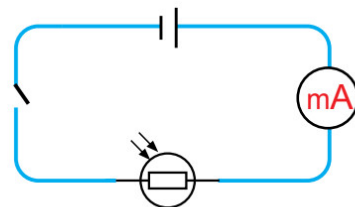


სურ. 2.5.6

ცდა II



1. ააწყვე წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული დენის წყაროს, მილიამპერმეტრის, ჩამრთველისა და ფოტორეზისტორისაგან (სურ. 2.5.7).



სურ. 2.5.7

2. დაფარე ფოტორეზისტორი მუქი ფერის გაუმჭვირვალე ყუთით და ჩართე ჩამრთველი. **დააკვირდი** ამპერმეტრის ჩვენებას: გადის თუ არა წრედში დენი?

3. ახადე ყუთი ფოტორეზისტორს. კვლავ **დააკვირდი** მილიამპერმეტრს: შეიცვალა თუ არა მისი ჩვენება? როგორ?

4. ფოტორეზისტორს ჯერ მიუახლოვე, შემდეგ კი დააშორე ანთებული ფარანი; **დააკვირდი** მილიამპერმეტრს: იცვლება თუ არა მისი ჩვენება ამ ხნის განმავლობაში?

5. **გამოიტანე დასკვნა:** არის თუ არა დამოკიდებული ფოტორეზისტორის წინაღობა განათებაზე? როგორია ამ დამოკიდებულების ხასიათი?

გაიხსენე: როგორ იცვლება ტემპერატურის ცვლილებისას ლითონების, ელექტროლიტების წინაღობა. **ნახევარგამტარები სწორედ წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათით განსხვავდება ლითონებისგან: ნახევარგამტარების წინააღობა ტემპერატურის მომატებისას მცირდება.**

ტემპერატურის შემცირებისას ნახევარგამტარის წინააღობა იზრდება (მსგავსად დიელექტრიკებისა) და ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე ნახევარგამტარი დიელექტრიკი ხდება.

ნახევარგამტარები (მაგ., სილიციუმი, რომლის თხელი ფენა კვალის სახითაა დატანილი ფოტორეზისტორის ზედაპირზე) სიბნელეში დენს არ ატარებს, სინათლეში კი კარგი გამტარობით ხასიათდება.

ასე რომ, **ნახევარგამტარების წინააღობა დამოკიდებულია გარე ფაქტორებზე: ტემპერატურასა და ნახევარგამტარის ზედაპირის განათებულობაზე** (რასაც I და II ცდის შედეგებიც ადასტურებს): ტემპერატურისა და განათებულობის მომატებით ნახევარგამტარის წინააღობა მცირდება.

სწორედ ნახევარგამტარის წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებას ეფუძნება **თერმორეზისტორის** მოქმედება. თერმორეზისტორი (თერმისტორი) რეაგირებს გარემოს ტემპერატურის ცვლილებაზე (ატარებს ან არ ატარებს დენს, თიშავს ან რთავს წრედს) და, შესაბამისად, იყენებენ ისეთ მოწყობილობებში, როგორიცაა ხანძარსაწინააღმდეგო სიგნალიზაციის სისტემა, ტემპერატურის მარეგულირებელი შენობებში, ელექტროჩაიდანის, მაცივარი და ა.შ.

ფოტორეზისტორი განათებულობაზე რეაგირებს: მას იყენებენ ქუჩის განათებებში, კარების ავტომატური გაღება-დახურვისთვის, მეტროს ტურნიკეტებში (მოწყობილობა, რომელიც ხალხის ნაკადს არეგულირებს, უშვებს მხოლოდ ერთ ადამიანს) და ა.შ.

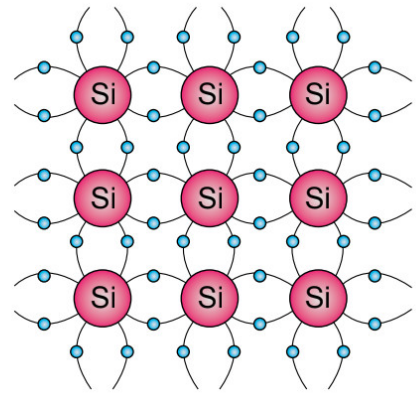
2.5.3. ნახევარგამტარის აგებულება

რით აიხსნება ნახევარგამტარების წინააღობის დამოკიდებულება ტემპერატურასა და განათებაზე?

ნახევარგამტარის ელექტროგამტარობის მექანიზმის ასახსნელად, განვიხილოთ მათგან ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული ნივთიერების, **სილიციუმის (Si)**, კრისტალური მესრის აგებულება (სურ. 2.5.8).

სილიციუმი ოთხვალენტიანი ელემენტია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მისი ატომების გარე შრეზე ოთხი სავალენტო ელექტრონია, რომლებიც შედარებით სუსტადაა და-

კავშირებული ბირთვთან. სილიციუმის კრისტალში თითოეული ატომის უახლოეს, მეზობელ ატომთან რიცხვით ოთხია. ყოველ ორ მეზობელ ატომს შორის **კოვალენტური კავშირია**, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათ შორის ურთიერთქმედება ელექტრონთა წყვილით ხორციელდება (წყვილელექტრონული კავშირი). კოვალენტური კავშირის შექმნაში თითოეული ატომიდან თითო სავალენტო ელექტრონი მონაწილეობს. სავალენტო ელექტრონი სწყდება ატომს და მეზობელ ატომთან შორის სივრცეში გადაადგილდება.



სურ. 2.5.8

სილიციუმის წყვილელექტრონული კავშირი საკმაოდ ძლიერია, ამიტომ ნახევარგამტარებში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია ოთახის ტემპერატურაზე, უმნიშვნელოა (მილიარდჯერ ნაკლებია, ვიდრე ლითონებში!). დაბალ ტემპერატურებზე ნახევარგამტარის კუთრი წინაღობა ახლოსაა დიელექტრიკის კუთრი წინაღობასთან და, შესაბამისად, დაბალ ტემპერატურებზე ელექტრულ ველში მოთავსებული ნახევარგამტარი დენს არ ატარებს.

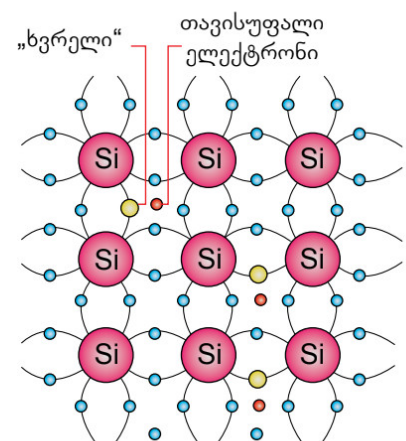
2.5.4. ნახევარგამტარის საკუთარი გამტარობა

ნახევარგამტარის გატობისას ან სინათლით დასხივებისას სავალენტო ელექტრონები დამატებით კინეტიკურ ენერგიას შეიძენენ. თუ ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ისე გაიზრდება, რომ საკმარისი აღმოჩნდება კოვალენტური კავშირის გასაწყვეტად, ელექტრონი **თავისუფალი, მუხტის გადამტანი** ხდება.

ნახევარგამტარებს მიეკუთვნება კრისტალები, რომლებშიც ელექტრონის გათავისუფლებისთვის საჭირო ენერგია, არა უმეტეს 1,5 – 2 ევ-ია (კრისტალები, რომლებშიც ელექტრონის გათავისუფლებისთვის საჭირო ენერგია ამ ნიშნულს აღემატება, დიელექტრიკებია).

ტემპერატურის ან განათების ზრდასთან ერთად ნახევარგამტარის კრისტალში განწყვეტილი კავშირებისა და, შესაბამისად, თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა იზრდება, რაც ნახევარგამტარის კუთრი წინაღობის შემცირებას იწვევს.

კრისტალში ის ადგილი, რომელიც სავალენტო ელექტრონმა კოვალენტური კავშირის განწყვეტისას დატოვა, ელექტრულად ნეიტრალური აღარ არის: იქ **„ხვრელი“** ჩნდება, რომელსაც ელექტრონი აკლია (სურ. 2.5.9). „ხვრელი“ დადებითად დამუხტული თავისუფალი ნაწილაკის მსგავსად იქცევა:



სურ. 2.5.9

„ხვრელი“, შესაძლებელია, სხვა ადგილიდან „გადმო-მხტარმა“ ელექტრონმა შეავსოს და მაშინ კოვალენტური კავშირი აღდგება. იმ ადგილას კი, საიდანაც ელექტრონი „გადმოხტა“, ახალი ხვრელი ჩნდება და ა. შ. შედეგად, მთელ კრისტალში „ხვრელები“ უწყვეტად გადაადგილდება. გარე ელექტრულ ველში მოთავსებისას ნახევარგამტარის კრისტალში ერთი მიმართულებით ელექტრონების დრეიფი აღიძვრება, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებით – „ხვრელების“ დრეიფი („ხვრელები“ იმ მიმართულებით გადაადგილდება უპირატესად, საითაც, წესით, დადებითი მუხტები უნდა გადაადგილდებოდნენ).

ნახევარგამტარში ელექტრული დენი „ხვრელებისა“ და მუხტის გადამტანი თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა.

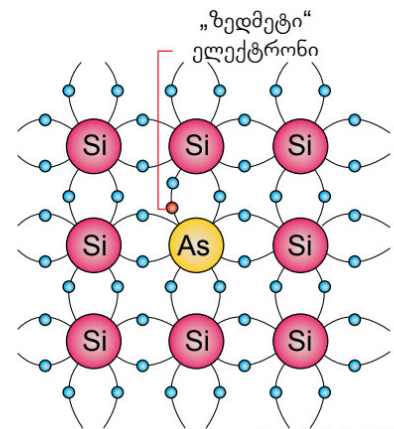
გაითვალისწინე: „ხვრელების“ მოძრაობაში, რეალურად, ელექტრონების ერთი ატომიდან მეორისკენ გადანაცვლებისას წარმოქმნილი „ვაკანტური“ ადგილების მოძრაობა იგულისხმება. თუმცა არა თავისუფალი ელექტრონების, არამედ იმ ელექტრონების, რომლებიც ატომებს შორის კოვალენტური კავშირის შექმნაში მონაწილეობს.

ასე, რომ **ნახევარგამტარს ახასიათებს როგორც ელექტრონული, ისე ხვრელური გამტარობა**. სწორედ ამ ორი ტიპის გამტარობით განისაზღვრება სუფთა (მინარეების გარეშე) **ნახევარგამტარის საკუთარი გამტარობა**, რომელიც ჩვეულებრივ დიდი არაა, რადგან ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია დაბალია. მაგ., ცნობილია, რომ გერმანიუმის 1სმ^3 მოცულობაში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი ამავე მოცულობაში ატომთა საერთო რაოდენობის დაახლოებით ათმემილიარდედი ნაწილია.

2.5.5. მინარეული გამტარობა

ნახევარგამტარს ძალზე საინტერესო თავისებურება აქვს: მასში მინარეების არსებობისას საკუთარ გამტარობასთან ერთად იქმნება დამატებითი, **მინარეული გამტარობა**.

მაგ., სილიციუმში, ხუთვალენტიანი დარიშხანის (As) მინარევის არსებობისას, თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი ძალიან იზრდება. მოდი, ავხსნათ ამის მიზეზი: დარიშხანის ხუთი სავალენტო ელექტრონიდან ოთხი სილიციუმის ატომებთან კოვალენტურ კავშირში მონაწილეობს (სურ. 2.5.10), ხოლო მეხუთე სავალენტო ელექტრონი („ზედმეტი“ ელექტრონი) სუსტადაა დაკავშირებული ატომთან:



სურ. 2.5.10

ენერგია, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ მეხუთე სავალენტო ელექტრონმა დარიშხანის ატომთან კავშირი განწყვიტოს, გაცილებით ნაკლებია იმ ენერგიაზე, რომელიც ელექტრონს სილიციუმის ატომისგან „თავის დასაღწევად“ სჭირდება. ამიტომ **ოთახის ტემპერატურაზე დარიშხანის თითქმის ყველა ატომი ერთ ელექტრონს**

კარგავს (გასცემს) და დადებით იონად გარდაიქმნება. ამასთან, დარიშხანი ხვრელების რაოდენობას არ ზრდის: მის დადებით იონს არ შეუძლია, რომ სილიციუმის მეზობელ ატომებს ერთი ელექტრონი „მოსტაცოს“ (ელექტრონის კავშირი სილიციუმის ატომთან საკმაოდ ძლიერია).

მინარევეს, რომელიც ელექტრონებს გასცემს ისე, რომ იმავე რაოდენობის „ხვრელებს“ არ წარმოქმნის (ანუ, ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვს ზრდის), **დონორული (გამცემი) მინარევი** ჰქვია.

ნახევარგამტარში, რომელიც დონორულ მინარევეს შეიცავს, თავისუფალი ელექტრონები მუხტის ძირითადი გადამტანებია, თუმცა არა ერთადერთი: ნახევარგამტარის საკუთარი ატომების მცირე ნაწილი იონიზირებულია და, შესაბამისად, კრისტალში „ხვრელების“ გარკვეული რაოდენობაცაა (თუმცა გაცილებით ნაკლები, ვიდრე თავისუფალი ელექტრონების).

ნახევარგამტარს, რომელშიც მუხტის ძირითადი გადამტანებია ელექტრონები, ხოლო ხვრელები – არაძირითადი, n ტიპის ნახევარგამტარი ეწოდება (ლათინური სიტყვიდან „negativus“ – უარყოფითი).

თუ სილიციუმში მინარევედ გალიუმს (Ga) გამოვიყენებთ, სილიციუმის გამტარობის ხასიათი შეიცვლება. გალიუმის ატომს სამი სავალენტო ელექტრონი აქვს, რომელთაგან თითოეული სილიციუმის სამ მეზობელ ატომთან კოვალენტურ კავშირს ქმნის (სურ. 2.5.11). სილიციუმის მეოთხე ატომთან სრულყოფილი კავშირისთვის გალიუმის

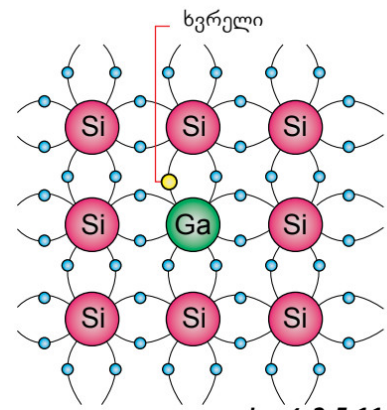
ატომს ერთი ელექტრონი აკლია, ამიტომ ის ნახევარგამტარის უახლოესი ატომებიდან ელექტრონს „მიიტაცებს“ და უარყოფით იონად გარდაიქმნება. „მიიტაცებული“ ელექტრონის ადგილას კი „ხვრელი“ ჩნდება (ხვრელების რაოდენობა გაიზრდება, თავისუფალი ელექტრონებისა კი – არა).

ხვრელების რიცხვი ნახევარგამტარის კრისტალში მინარევების ატომთა რიცხვის ტოლია. მინარევს, რომელიც ნახევარგამტარში ხვრელების რიცხვს ზრდის ისე, რომ ამ დროს თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა არ იზრდება, აქცეპტორული (მიმღები) მინარევი ეწოდება.

დაბალ ტემპერატურებზე ნახევარგამტარში, რომელშიც აქცეპტორული მინარევი, „ხვრელები“ მუხტის ძირითადი გადამტანებია, ხოლო თავისუფალი ელექტრონები – არაძირითადი.

ნახევარგამტარს, რომელშიც „ხვრელების“ კონცენტრაცია თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციას აღემატება, **p ტიპის ნახევარგამტარი** ჰქვია (ლათინური სიტყვიდან „positivus“ – დადებითი).

ასე, რომ მინარევს შეუძლია ნახევარგამტარის გამტარობის გაზრდა (ამ დროს მისი კუთრი წინაღობა მკვეთრად მცირდება).



სურ. 2.5.11

ამოცანა 2.5.1

ოთახის ტემპერატურაზე, სუფთა (მინარევების გარეშე) სილიციუმში ატომების კონცენტრაცია $n_{\text{Si}} = 10^{28} \text{ მ}^{-3}$ -ია (ანუ, 1 მ^3 სილიციუმში 10^{28} ატომია).

სილიციუმში მინარევის სახით დარიშხანი ძალიან მცირე, უმნიშვნელო რაოდენობით შეიტანეს: სილიციუმის ყოველ მილიონ ატომზე – 1 ატომი დარიშხანი (As).

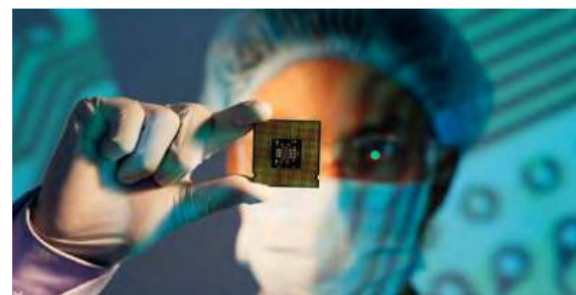
გამოთვალე, რამდენჯერ გაიზრდება თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი სილიციუმში, თუ ცნობილია, რომ მათი კონცენტრაცია სილიციუმში ოთახის ტემპერატურაზე $n_0 = 10^{16} \text{ მ}^{-3}$ -ია. (რაც იმას ნიშნავს, რომ სილიციუმის ყოველ 1 ტრილიონ ატომზე ერთი თავისუფალი ელექტრონი მოდის!).

ამოხსნა:

ამოცანის პირობიდან გამომდინარე, დარიშხანის ატომების კონცენტრაცია სილიციუმში ასე გამოითვლება: $n_{\text{As}} = \frac{n_{\text{Si}}}{10^6} = 10^{-6} n_{\text{Si}} = 10^{22} \text{ მ}^{-3}$

თუ ჩავთვლით, რომ ხუთვალენტიანი დარიშხანის 1 ატომი 1 თავისუფალი ელექტრონის დონორია, მივიღებთ: თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია სილიციუმში დარიშხანის შერევისას, 10^{22} მ^{-3} -ის ტოლი გახდება, ანუ 10^6 -ჯერ (მილიონჯერ!) გაიზარდა სუფთა სილიციუმთან შედარებით (და, შესაბამისად, ამდენჯერ გაიზარდა სილიციუმის ელექტროგამტარობა!) სწორედ ამიტაა შესანიშნავი ნახევარგამტარების მინარევილი გამტარობა.

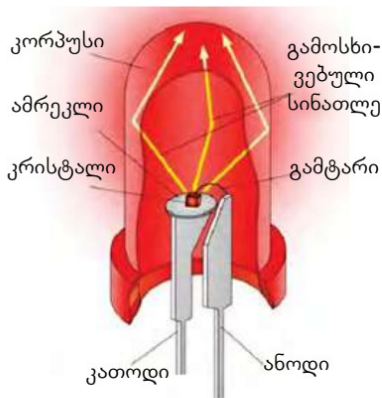
ნახევარგამტარები წარმოუდგენლად „მგრძნობიარეები“ არიან მინარევების მიმართ, ამიტომ საწარმოებში, რომლებშიც ნახევარგამტარულ მოწყობილობებს ამზადებენ, ფანტასტიკური სისუფთავეა. მომუშავე პერსონალი სპეციალურ გამწმენდ ფილტრებს გადის საწარმოში შესვლამდე, მათ ზედმიწევნით სისუფთავე მოეთხოვებათ: მუშაობენ სპეციალური აღჭურვილობით (პირბადით, ხელთათმანებით და სპეცტანსაცმლით) (სურ. 2.5.12)



სურ. 2.5.12



სურ. 2.6.1



სურ. 2.6.2



სურ. 2.6.3

1907 წელი. ბრიტანელმა ინჟინერმა ჰენრი ჯოზეფ რაუნდმა სილიციუმის კარბიდის კრისტალის ოდნავ შესამჩნევი ნათება აღმოაჩინა. მოვლენა გაუგებარ ელექტრულ გარდაქმნას მიაწერეს...

1962 წელი. ილინოისის (აშშ) უნივერსიტეტის მეცნიერთა ჯგუფი, ნიკ ჰოლონიაკის ხელმძღვანელობით, სამეცნიერო საზოგადოების წინაშე პირველ ნახევარგამტარულ დიოდს წარადგენს, რომელშიც ელექტრული ენერგია სინათლის ენერგიად გარდაიქმნება: ეს დღე სინათლის ნახევარგამტარული წყაროების, **შუქდიოდების**, დაბადების დღედ ითვლება...

იმავე წელს ჰოლონიაკმა წითელი სინათლის გამომსხივებელი შუქდიოდი შექმნა, რომლის ფასი იმდენად სოლიდური იყო, რომ მხოლოდ ძვირადღირებულ ექსპერიმენტებში იყენებდნენ სამეცნიერო ლაბორატორიები..

10 წლის შემდეგ მწვანე და ყვითელი შუქდიოდები დაამზადეს, თუმცა მათი გამოყენება მხოლოდ ელექტრონულ მოწყობილობებში იყო შესაძლებელი (მათ ინდიკატორად, დენის აღმომჩენად იყენებდნენ).

1993 წელი. იაპონელმა ფიზიკოსმა სიუჯი ნაკამურამ ლურჯი ფერის შუქდიოდი შექმნა. აღმოჩენამ, რომლისთვისაც ნაკამურამ ნობელის პრემია მიიღო, სამყარო შეცვალა: წითელი, ყვითელი და ლურჯი ფერების კომბინაციით შეეძლოთ ნებისმიერი (მათ შორის თეთრი) ფერის სინათლის მიღება, რაც იმას ნიშნავდა, რომ შუქდიოდები სამეცნიერო ლაბორატორიებს გასცდებოდა და მისი გამოყენების მასშტაბები გაიზრდებოდა.

ასეც მოხდა: მილიარდობით დიოდი მზადდება დღეს და ეს მხოლოდ დასაწყისია. ძნელი წარმოსადგენია ადგილი, სადაც მას არ იყენებენ: დაწესებულებებში, სახლებში, ქუჩებსა თუ სტადიონებზე, აეროპორტებში, ტელევიზორებსა თუ მობილურ ტელეფონებში, მანქანის პანელებსა და შუქნიშნებში განათება შუქდიოდების დამსახურებაა...

Led (Light Emitting Diode) – „დიოდი, რომელიც სინათლეს ასხივებს“, ასე უწოდეს სინათლის ნახევარგამტარულ წყაროს, რომელსაც ჩვენ შუქდიოდის (ან **Led-** ნათურის) სახელით ვიცნობთ.

შუქდიოდი ნახევარგამტარული მოწყობილობაა, დიოდია, რომელშიც ელექტრული ენერგია სინათლის ენერგიად გარდაიქმნება. მისი კონსტრუქცია მკვეთრად განსხვავებულია ვარვარებისა და ლუმინესცენციური ნათურისგან (სურ. 2.6.2): კორპუსი საკმაოდ გამძლეა, არ აქვს ადვილად მსხვრევადი ნაწილები. ეკონომიურია და ამავდროულად ეკოლოგიურიც: არ შეიცავს ვერცხლისწყალს, მასში ულტრაიისფერი გამოსხივება არ მიიღება.

შუქდიოდის მთავარი ნაწილი ნახევარგამტარული კრისტალია (სურ. 2.6.2), რომელიც არაგამტარ საფენზეა მოთავსებული და გარემოს ზემოქმედებისგან კორპუსი იცავს. კრისტალს დენის წყაროსთან გამომყვანი სადენებით (კათოდითა და ანოდით) აერთებენ.

სინათლის ფერი დამოკიდებულია ნახევარგამტარსა და მასში სხვადასხვა სახის მინარევებზე. როგორც წესი, შუქდიოდში ერთი კრისტალია, მაგრამ მეტი სიმძლავრის ან სხვადასხვა ფერის სინათლის მისაღებად შუქდიოდში ხშირად რამდენიმე კრისტალს ათავსებენ (სურ. 2.6.3).

რა არის ნახევარგამტარული დიოდი და რა მოვლენას ეფუძნება მისი მოქმედება ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ გაიგებ.

6.2.1. p-n გადასასვლელი

აღმოჩნდა, რომ უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა იმ მოვლენას აქვს, რომელსაც ორი სხვადასხვა, p და n ტიპის, ნახევარგამტარის ერთმანეთთან შეხება (კონტაქტი) იწვევს. ამისათვის n ტიპის ნახევარგამტარის კრისტალში ქმნიან გარემოს p ტიპის გამტარობით (ან პირიქით): ნახევარგამტარის კრისტალის გაზრდისას ან უკვე მზა კრისტალში მინარევის ატომები შეჰყავთ.

მაგ., ერთ-ერთი ხერხი ასეთია: სილიციუმის (ან გერმანიუმის) ფირფიტაზე ინდიუმის პატარა ტაბლეტს ათავსებენ (სურ. 2.6.4) და ე.წ. ვაკუუმურ ლუმელში მაღალ ტემპერატურამდე ახურებენ.

(ვაკუუმში საჭიროა იმისათვის, რომ ჰაერის მავენე ზეგავლენა თავიდან აიცილონ: ინდიუმი და ნახევარგამტარული ფირფიტა ჰაერში იჟანგება).

გახურებისას ინდიუმი დნება და მისი ატომები სილიციუმის ფირფიტაში დიფუნდირებენ. შედეგად, სილიციუმის კრისტალში წარმოიქმნება მინარევიათი გარემო, p ტიპის გამტარობით.

ასე, რომ ნახევარგამტარის ერთ კრისტალში (მონოკრისტალში) n ტიპისა (სილიციუმი, რომელშიც ინდიუმის ატომებმა ვერ შეაღწია) და p ტიპის (ინდიუმის მინარევიათი გარემო) ნახევარგამტარები ერთმანეთს ეხება. დიფუზიის შედეგად თავისუფალი ელექტრონები n ტიპის (დონორული) ნახევარგამტარიდან p ტიპის (აქცეპტორულ) ნახევარგამტარში გადავა (სურ. 2.6.5). ხვრელები კი ამ დროს p ტიპის ნახევარგამტარიდან n ტიპის ნახევარგამტარში გადაინაცვლებს.

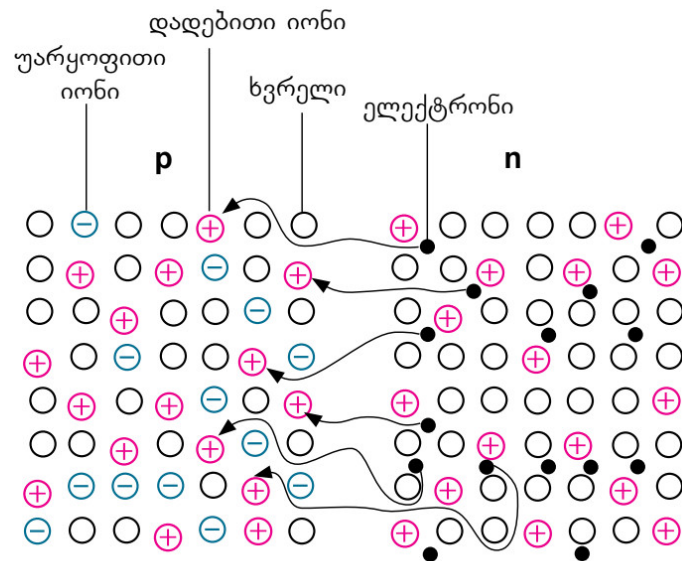
ასე, რომ p და n ტიპის ნახევარგამტარების შეხების საზღვარზე, ელექტრონულ-ხვრელური გადასასვლელი ანუ, p - n გადასასვლელი ჩნდება.

შედეგად, p - n გადასასვლელზე:

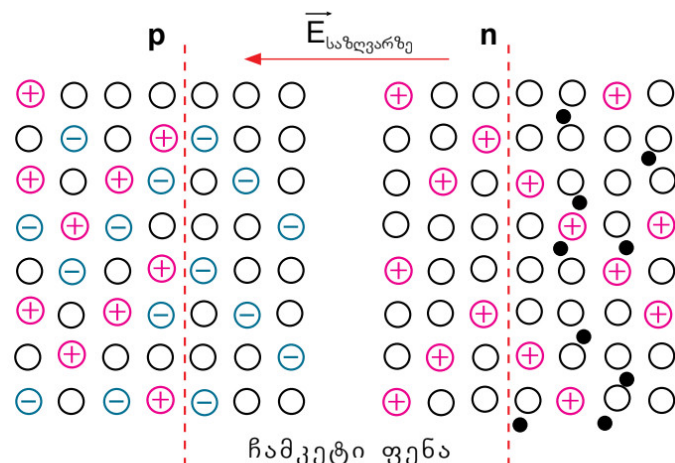
ა) n ტიპის ნახევარგამტარის საზღვართან დადებითი ჭარბი მუხტი ჩნდება (სურ. 2.6.6), რადგან ელექტრონების გადასვლის გამო მასში დადებითი იონების მუხტი გაუკოპენსირებელია.



სურ. 2.6.4



სურ. 2.6.5



სურ. 2.6.6

ბ) p ნახევარგამტარის საზღვრთან უარყოფითი ჭარბი მუხტი ჩნდება, რადგან გადასული ელექტრონები ხვრელებს აღადგენენ და აქცეპტორული მინარევის უარყოფითი იონების მუხტი გაუკომპენსირებელი აღმოჩნდება.

ასე, რომ p – n გადასასვლელზე საზღვრის ორივე მხარეს გაუკომპენსირებელი სხვადასხვანაირი მუხტი ჩნდება და შედეგად, სასაზღვრო ფენაში ელექტრული ველი აღიძვრება, რომლის დაძაბულობა n-იდან p-ტიპის ნახევარგამტარისკენაა მიმართული (სურ. 2.6.6).

ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტის დაგროვებასთან ერთად იზრდება და სულ უფრო მეტ წინააღმდეგობას უწევს ელექტრონებისა და ხვრელების გადასვლას საზღვარზე. დგება მომენტი, როცა ელექტრონებისა და ხვრელების გადასვლა წყდება და სასაზღვრო ფენა პრაქტიკულად დიელექტრიკი ხდება. ამ ფენას **ჩამკეტ ფენას** უწოდებენ (სურ. 2.6.6).

ვთქვათ, **p-n გადასასვლელის მქონე ნახევარგამტარის კრისტალი გამომყვანებით დენის წყაროსთანაა მიერთებული.**

სურათ 2.6.7-ზე გამოსახულია ნახევარგამტარის კრისტალი, რომლის ერთი მხარე n ტიპის ნახევარგამტარია, ხოლო მეორე – p ტიპის ნახევარგამტარი.

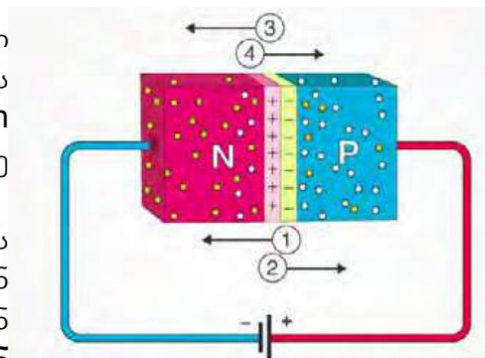
პირდაპირი ჩართვა

დააკვირდი სურათ 2.6.7-ს: ნახევარგამტარის კრისტალი წრედში ისეა ჩართული, რომ **p ტიპის ნახევარგამტარი დენის წყაროს დადებით პოლუსთანაა მიერთებული, n ტიპის კი – დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან.** წრედში ნახევარგამტარის ასეთ ჩართვას **პირდაპირი ჩართვა** ჰქვია.

პირდაპირი ჩართვისას:

1. დენის წყაროს პოლუსებს შორის აღძრული **გარე ელექტრული ველის (1)** დაძაბულობა იმ ველის (2) საწინააღმდეგოდაა მიმართული, რომელიც p-n გადასასვლელზე ჩამკეტ ფენაშია აღძრული: გარე ველი ჩამკეტი ფენის ველს შეასუსტებს.

2. გარე ველის მოქმედებით კრისტალში მუხტის ძირითადი **გადამტანების** მოძრაობა დაიწყება: p-დან n-სკენ „ხვრელები“ (3) გადაინაცვლებს, n-დან p-სკენ კი თავისუფალი ელექტრონები (4). **დენი წრედში p-დან n-ის მიმართულებით გაივლის.**



სურ. 2.6.7

n ტიპის ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების, ხოლო p ტიპისაში ხვრელების კონცენტრაცია დიდია, ამიტომ p-n გადასასვლელზე **პირდაპირი ჩართვისას p-დან n-ის მიმართულებით მნიშვნელოვანი დენი გაივლის: პირდაპირი ჩართვისას ნახევარგამტარის კრისტალის წინააღობა მცირეა, გამტარობა კი – დიდი.**

შექცეული ჩართვა

დააკვირდი სურათ 2.6.8-ს: ნახევარგამტარის კრისტალი ისეა წრედში ჩართული, რომ **p ტიპის ნახევარგამტარი დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთანაა მიერთებული, n ტიპის ნახევარგამტარი კი – დენის წყაროს დადებით პოლუსთან.** წრედში ნახევარგამტარის ასეთ ჩართვას **შექცეული ჩართვა** ჰქვია.

შექცეული ჩართვისას:

1. გარე ველის (1) მიმართულება ჩამკეტ ფენაში აღძრული ველის (2) მიმართულებას ემთხვევა: გარე ველი გააძლიერებს ჩამკეტი ფენის ველს.

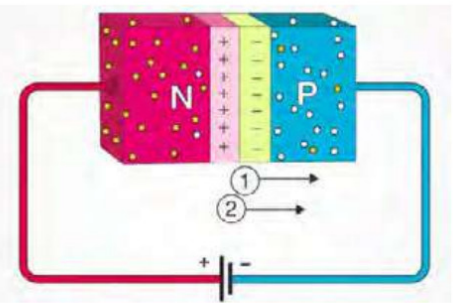
2. გარე ველის მოქმედებით p-n გადასასვლელზე მუხტის არაძირითადი გადამტანები გადავლენ: n-დან p-სკენ ხვრელები გადავა, ხოლო p-დან n-სკენ თავისუფალი ელექტრონები.

p ტიპის ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების, ხოლო n ტიპისაში ხვრელების კონცენტრაცია მცირეა, ამიტომ p-n გადასასვლელზე შექცეული ჩართვისას n-დან p-ისკენ უმნიშვნელო დენი გაივლის: შექცეული ჩართვისას ნახევარგამტარის კრისტალის წინააღობა დიდია, გამტარობა მცირე.

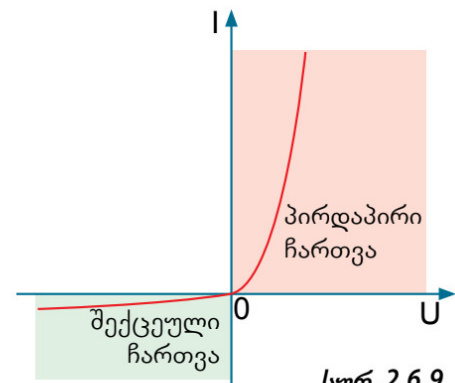
ნახევარგამტარის კრისტალის თვისება დენი p-n გადასასვლელზე ერთი მიმართულებით გაატაროს და საწინააღმდეგო მიმართულებით, პრაქტიკულად, არ გაატაროს, გამოყენებულია ნახევარგამტარულ მოწყობილობაში, რომელსაც ნახევარგამტარული დიოდი ჰქვია.

ნახევარგამტარულ დიოდში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულება კრისტალის გამომყვანებს შორის ძაბვაზე, გრაფიკულად სურათ 2.6.9-ზეა გამოსახული.

ნახევარგამტარულ დიოდებს თავისი უნიკალური თვისების გამო ცვლადი დენის მუდმივად გარდაქმნისთვის იყენებენ. მათ ბევრი ღირსება აქვს: პატარა ზომები, მცირე მასა, ვარგისიანობის ხანგრძლივი პერიოდი (ექსპლოატაციის ვადა), გამძლეობა მექანიკური დაზიანებების მიმართ, დიდი მარგი ქმედების კოეფიციენტი. თუმცა აქვს ნაკლიც: ნახევარგამტარული დიოდების ფიზიკური მახასიათებლები ტემპერატურაზე დამოკიდებული. მაგ., -70°C -ზე დაბალ ტემპერატურაზე ნახევარგამტარის კუთრი წინააღობა იზრდება, ხოლო მაღალ ტემპერატურებზე (გერმანიუმისთვის 80°C , სილიციუმისთვის 125°C) საკუთარი გამტარობის გავლენა იზრდება, რაც საბოლოოდ, არასასურველად აისახება დიოდის მახასიათებლებზე.



სურ. 2.6.8



სურ. 2.6.9

6.2.2. ტრანზისტორი

ტრანზისტორის აგებულება.

ტრანზისტორი (ნახევარგამტარული ტრიოდი) ელექტრული სიგნალის (დენის ძალის, ძაბვის, სიმძლავრის) გენერირებისა და გარდაქმნისთვის, ასევე წრედში წინააღობის ცვლილებისთვის გამოიყენება. თავისი შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, ტრანზისტორს ფართოდ იყენებენ ელექტრონიკასა და მიკროელექტრონიკაში (ინტეგრალურ სქემებში): სხვადასხვა სახის გამაძლიერებლებში, კავშირგაბმულობის სისტემებში, ელექტრონულ-გამომთვლელ ტექნოლოგიებში და ა.შ.

ტრანზისტორი ნახევარგამტარული მოწყობილობაა ორი p-n გადასასვლელითა და სამი გამომყვანით, რომლებითაც წრედში ირთვება (სურ. 2.6.10).

არსებობს ტრანზისტორების ორი ძირითადი კლასი: უნიპოლარული და ბიპოლარული ტრანზისტორები:

1. უნიპოლარულ ტრანზისტორში დენი ერთი ნიშნის მუხტის გადამტანებით (ან მხოლოდ ელექტრონებით ან მხოლოდ ხვრელებით) აღიძვრება;

2. ბიპოლარულ ტრანზისტორში დენი ორივე ნიშნის მუხტის გადამტანებით (ელექტრონებითა და ხვრელებით) აღიძვრება.

ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპის გასაცნობად, ჩვენ ბიპოლარულ ტრანზისტორს განვიხილავთ. ბიპოლარული ტრანზისტორი ორი სახისაა: p-n-p და n-p-n ტიპის.

გერმანიუმის ან სილიციუმის კრისტალში შესაბამისი მინარევების დამატებით ქმნიან სამ ნახევარგამტარულ მიდამოს, რომელთაგან ორს ერთნაირი გამტარობა აქვს, ხოლო მესამეს მათ შორის – განსხვავებული.

დააკვირდი სურათ 2.6.10-ს. მასზე სქემატურადაა გამოსახუ-

ლი p-n-p და n-p-n ტიპის ტრანზისტორში ნახევარგამტარების განლაგება: ორი ერთნაირი ტიპის ნახევარგამტარებს შორის მესამე, განსხვავებული გამტარობის ნახევარგამტარია.

(p-n-p და n-p-n ტიპის ტრანზისტორების პირობითი აღნიშვნა წრედში სურათ 2.6.10-ზეა გამოსახული).

შუა ნახევარგამტარულ ფენას **ფუძე** ანუ, **ბაზა (B)** ჰქვია, განაპირა ნახევარგამტარულ ფენებს კი - **ემიტერი (E)** და **კოლექტორი (C)**;

ემიტერი („emittere“) ლათინურად, „გამომსხივებელს“, „გამომშვებს“ ნიშნავს (გაიხსენე: „ემისია“ „ამოსვლას“, „გამომშვებას“ ნიშნავს).

კოლექტორი („collector“) ლათინურად, „შემკრებს“, „შემგროვებელს“ ნიშნავს (გაიხსენე: „კოლექციონერი“ შემგროვებელია).

ემიტერსა და კოლექტორს შორის შუაფენა, ბაზა, ძალიან თხელი, რამდენიმე მიკრომეტრის რიგის სისქისაა.

მაგალითისთვის განვიხილოთ p-n-p ნახევარგამტარის წრედში ჩართვის სქემა.

ტრანზისტორის წრედში ჩართვა

ემიტერსა და ბაზას შორის, ასევე, კოლექტორსა და ბაზას შორის ორი p-n გადასასვლელი იქმნება: „ემიტერი – ბაზა“ (E-B) და „კოლექტორი – ბაზა“ (C-B) (სურ. 2.6.10)

ორივე p-n გადასასვლელს დენის წყაროს პოლუსებთან აერთებენ (სურ. 2.6.11):

1. წრედს, რომელშიც ჩართულია ემიტერი და ბაზა, **ემიტერის წრედი** ჰქვია.

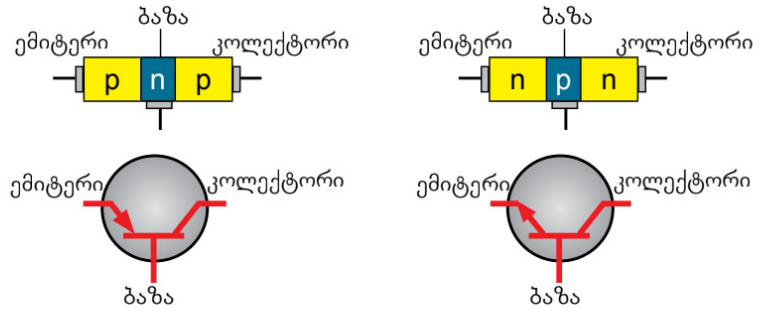
ა) ემიტერის წრედი მცირე ძაბვის ქსელში ირთვება: დენის წყაროდ (1) გამოყენებულია მაგ., გალვანური ელემენტი;

ბ) ემიტერის გამომყვანი 1-ლი დენის წყაროს დადებით პოლუსს უერთდება, ხოლო ბაზის გამომყვანი 1-ლი დენის წყაროს უარყოფით პოლუსს ანუ, p-n გადასასვლელი, **„ემიტერი – ბაზა“, პირდაპირაა ჩართული 1-ლი დენის წყაროს ქსელში**. გაიხსენე: პირდაპირი ჩართვის დროს p-n გადასასვლელზე წინაღობა ძალიან მცირეა.

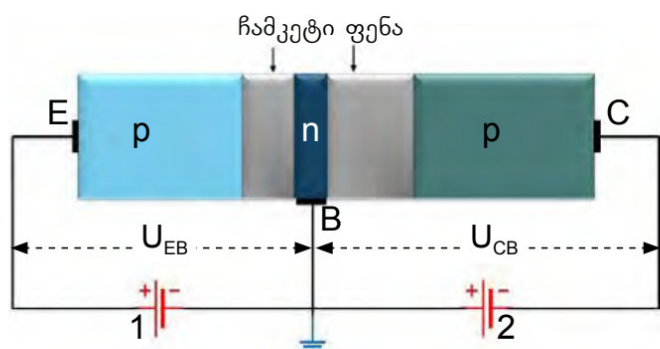
2. წრედს, რომელშიც ჩართულია კოლექტორი და ბაზა, **კოლექტორის წრედი** ჰქვია.

ა) კოლექტორის წრედი, ემიტერის წრედთან შედარებით, გაცილებით მაღალი (10 – 20-ჯერ მეტი) ძაბვის ქსელში ირთვება: დენის წყაროდ (2) გამოყენებულია მაგ., აკუმულატორი;

ბ) კოლექტორის გამომყვანი დენის მე-2 წყაროს უარყოფით პოლუსს უერთდება, ხოლო ბაზის გამომყვანი დენის მე-2 წყაროს დადებით პოლუსს ანუ, p-n გადასასვლელი, **„კოლექტორი – ბაზა“, შექცევითაა ჩართული მე-2 დენის წყაროს ქსელში**. გაიხსენე: შექცევითი ჩართვის დროს p-n გადასასვლელზე წინაღობა ძალიან დიდია.



სურ. 2.6.10



სურ. 2.6.11

ამოცანა 2.6.1

ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპის მარტივად აღსაქმელად, სიდიდეებს რიცხვითი მნიშვნელობები მივანიჭოთ (ცხადია, რეალობასთან მიახლოებული) და რაოდენობრივად შევაფასოთ ტრანზისტორის, როგორც გამაძლიერებელი მოწყობილობის, მახასიათებელი თვისება: **ანუ რამდენჯერ შეუძლია ტრანზისტორს, მაგ., ძაბვის გაძლიერება?**

კოლექტორის წრედში ჩავრთოთ დატვირთვა (სურ. 2.6.12) – R წინაღობა და გამოვთვალოთ ძაბვა დატვირთვის ბოლოებს შორის – ძაბვა გამოსასვლელზე: U_R ; მოცემულია:

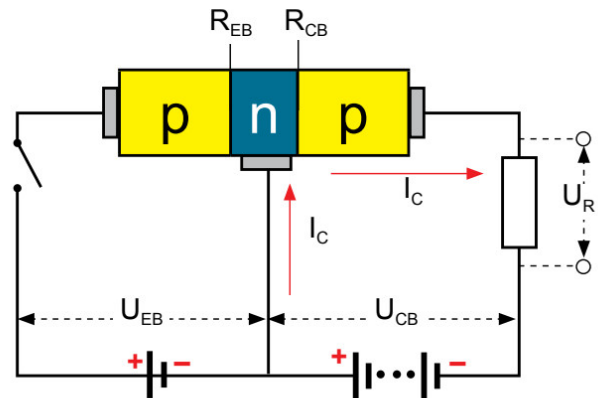
ემიტერის წრედში:	კოლექტორის წრედში:
ძაბვა შესასვლელზე, ემიტერსა და ბაზას შორის $U_{EB} = 0,1$ ვ	ძაბვა კოლექტორსა და ბაზას შორის: $U_{CB} = 20$ ვ
წინაღობა გადასასვლელზე „ემიტერი – ბაზა“: $R_{EB} = 100$ ომი	წინაღობა გადასასვლელზე „კოლექტორი – ბაზა“: $R_{CB} = 10$ მეგომი = 10^7 ომი
	დატვირთვის წინაღობა: $R = 10$ კომი = 10^4 ომი

1. ვთქვათ, ემიტერის წრედი შეკრული არ არის (სურ. 2.6.12).

1. ემიტერის წრედში დენი არ გადის: $I_E = 0$.

2. კოლექტორის წრედში შექცეული ჩართვის გამო:

ა) დენის ძირითადი გადამტანებისთვის (ბაზის ელექტრონებისა და კოლექტორის ხვრელებისთვის) წინაღობა გადასასვლელზე „კოლექტორი – ბაზა“, ძალიან დიდია ($R_{CB} = 1$ მომი);



სურ. 2.6.12

ბ) კოლექტორის წრედში უმნიშვნელო დენი გაივლის: დენი მუხტის არაძირითადი გადამტანებით იქმნება.

გ) $R_{CB} \gg R$, ამიტომ დატვირთვის წინაღობა (R) შეგვიძლია უგულებელვყოთ და, შესაბამისად, მივიღებთ, რომ დენის ძალა კოლექტორის წრედში ასე გამოითვლება:

$$I_C = \frac{U_{CB}}{R_{CB}} = \frac{20 \text{ ვ}}{10^7 \text{ ომი}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ა} = 2 \text{ მკა}$$

3. ძაბვა გამოსასვლელზე (U_R), ანუ R წინაღობის ბოლოებს შორის:

$$U_R = I_C R = 0,02 \text{ ვ}$$

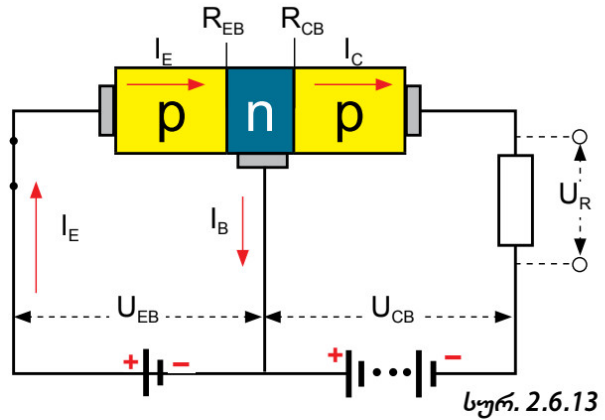
ასე, რომ **თუ ემიტერის წრედი შეკრული არ არის, ტრანზისტორი ისე იქცევა, როგორც დიოდი**: შექცეული ჩართვისას მასში გამავალი დენის ძალა და, შესაბამისად, ძაბვა გამოსასვლელზე ძალიან მცირეა.

II. ვოქვათ, ემიტერის წრედი შეკრულია (სურ. 2.6.13)

1. ემიტერის წრედში პირდაპირი ჩართვის გამო

ა) მუხტის ძირითადი გადამტანებისთვის (ემიტერის ხვრელებისა და ბაზის ელექტრონებისთვის) წინააღობა გადასასვლელზე, „ემიტერი – ბაზა“, მცირეა

($R_{EB} = 100$ ომი);



ბ) ემიტერის წრედში დენი მუხტის ძირითადი გადამტანებით იქმნება და ასე გამოითვლება:

$$I_E = \frac{U_{EB}}{R_{EB}} = \frac{0,13}{100 \text{ ომი}} = 0,001 \text{ ა} = 1 \text{ მა}$$

2. ემიტერის დენი განშტოვდება: მისი უმნიშვნელო ნაწილი (1%) ბაზაში გაივლის, ხოლო მნიშვნელოვანი ნაწილი (99%) კოლექტორში:

$$I_E = I_B + I_C;$$

3. როგორ ხვდება ემიტერიდან ბაზაში გადასული ხვრელების მნიშვნელოვანი ნაწილი (99%) ბაზიდან კოლექტორში?

ა) ბაზა ძალიან თხელია და მასში მუხტის ძირითადი გადამტანების, ელექტრონების რაოდენობა მცირეა;

ბ) ბაზაში ემიტერიდან გადასული ხვრელები ბაზის თავისუფალ ელექტრონებთან თითქმის არ რეკომბინირებენ;

გ) ხვრელები ბაზიდან დიფუზიის წყალობით კოლექტორში ხვდებიან;

დ) კოლექტორის წრედში ემიტერიდან გადმოსული ხვრელები ელექტრული ველის ზემოქმედებით ამოძრავდებიან და კოლექტორში გაივლის დენი, რომელიც ემიტერის ხვრელებითაა შექმნილი;

4. ბაზაში გამავალი დენი ძალიან მცირეა ($\approx 0,1 - 1\%$ -ია ემიტერული დენის):

$I_B \ll I_C$, ამიტომ შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ:

$$I_E \approx I_C$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ კოლექტორული დენი, ძირითადად, ემიტერული დენით განისაზღვრება და დატვირთვის წინააღობა (R) მასზე გავლენას არ ახდენს. სწორედ ეს გვაძლევს საშუალებას, რომ ტრანზისტორი, როგორც დაბვის გამაძლიერებელი ისე გამოვიყენოთ (დენის ძალა ამ შემთხვევაში თითქმის არ იცვლება). **დააკვირდი:**

დაბვა გამოსასვლელზე, ანუ R წინააღობის ბოლოებს შორის:

$$U_R = I_C R \approx 0,001 \text{ ა} \cdot 0,99 \cdot 10^4 \text{ ომი} = 9,9 \text{ ვ}$$

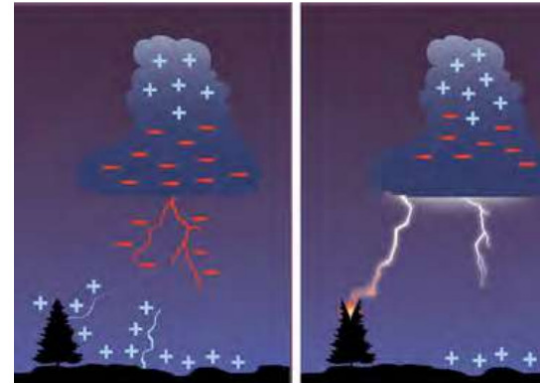
ანუ, თუ წრედში დატვირთვას (წინააღობას) ტრანზისტორული გამაძლიერებლის გამოყენებით ჩავრთავთ, დაბვა გამოსასვლელზე (დატვირთვის ბოლოებს შორის) გაიზრდება იმ დაბვასთან შედარებით, რაც შესასვლელზე იყო (ჩვენს ამოცანაში ≈ 10 -ჯერ გაიზარდა).

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

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

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

ჭექა-ქუხილის ღრუბლის ქვედა ნაწილში ჭარბი უარყოფითი მუხტი დედამიწის ზედაპირთან დადებითი მუხტების დაგროვებას იწვევს (სურ.1). მას შემდეგ რაც, პოტენციალთა სხვაობა ღრუბლის ქვედა ნაწილსა და დედამიწის ზედაპირის კონკრეტულ ადგილს შორის გარკვეულ მნიშვნელობას მიაღწევს, ხდება ატმოსფერული ჰაერის გარღვევა.



სურ. 1

- გამოთვალე ძაბვის მნიშვნელობა წრფივი ელვის არხის ბოლოებს შორის გარღვევის დროს, თუ ცნობილია, რომ ღრუბლის ქვედა ნაწილი დედამიწის ზედაპირიდან 4 კმ სიმაღლეზეა და ელვის არხში ველის დაძაბულობა 100 ვ/სმ-ია.

ა) $4 \cdot 10^7$ ვ; ბ) $4 \cdot 10^5$ ვ; გ) $4 \cdot 10^3$ ვ; დ) 400 ვ.

- რა სახის განმუხტვა მიმდინარეობს ელვის დროს:

ა) ნაპერწკლისებური; ბ) გვირგვინისებური; გ) რკალური; დ) მღვივარი.

- (6 ქულა) **ამოარჩიე სწორი პასუხი:**

ა) ელექტრული დენი სითხეებში არის
 ბ) ელექტრული დენი ვაკუუმში არის
 გ) ელექტრული დენი მყარ ლითონებში არის
 დ) ელექტრული დენი თხევად ლითონებში არის
 ე) ელექტრული დენი აირებში არის
 ვ) ელექტრული დენი ნახევარგამტარებში არის

I. სხვადასხვანაირი იონების მიმართული მოძრაობა;

II. თავისუფალი ელექტრონების და დადებითი იონების მიმართული მოძრაობა;

III. პროტონებისა და ელექტრონების მიმართული მოძრაობა;

IV. თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობა;

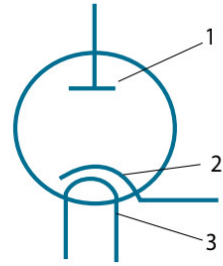
V. თავისუფალი ელექტრონებისა და „ხვრელების“ მიმართული მოძრაობა.

- რომელი წინადადებაა მართებული:** ტემპერატურის მომატებისას

ა) ელექტროლიტების წინაღობა იზრდება, ლითონების მცირდება, ნახევარგამტარების არ იცვლება;
 ბ) ელექტროლიტების წინაღობა მცირდება, ლითონების მცირდება, ნახევარგამტარების იზრდება;
 გ) ელექტროლიტების წინაღობა მცირდება, ლითონების იზრდება, ნახევარგამტარების მცირდება;
 დ) ელექტროლიტების წინაღობა მცირდება, ლითონების იზრდება, ნახევარგამტარების იზრდება.

5. ვაკუუმური დიოდი წრედში პირდაპირ არის ჩართული (სურ. 2). მიუთითე დიოდის ელემენტთა სწორი დასახელებები:

- ა) 1 – კათოდი, 2 – ვარვარების ძაფი, 3 – ვარვარების ძაფი;
 ბ) 1 – ანოდი, 2 – ვარვარების ძაფი, 3 – კათოდი;
 გ) 1 – ანოდი, 2 – კათოდი, 3 – ვარვარების ძაფი;
 დ) 1 – ვარვარების ძაფი, 2 – კათოდი, 3 – ანოდი.



სურ. 2

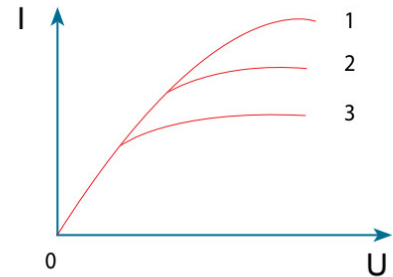
6. წვისას გავარვარებული ნახშირის პატარა დამუხტული ნაწილაკები ჰაერში გამოიფრქვევა. რატომ იმუხტება ნახშირის ნაწილაკები და რა ნიშნის მუხტი აქვთ მათ?

ნახშირის ნაწილაკები იმუხტება:

- ა) ერთმანეთთან ხახუნის შედეგად, მათი მუხტი დადებითია;
 ბ) თერმოელექტრული ემისიის შედეგად, მათი მუხტი დადებითია;
 გ) ერთმანეთთან ხახუნის შედეგად, მათი მუხტი უარყოფითია;
 დ) ჰაერის ნაწილაკებთან შეჯახებისას, მათი მუხტი უარყოფითია.

7. მე-3 სურათზე კათოდის სხვადასხვა ტემპერატურის დროს ვაკუუმური დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელია გამოსახული. რომელი გრაფიკი შეესაბამება კათოდის ყველაზე მაღალ ტემპერატურას?

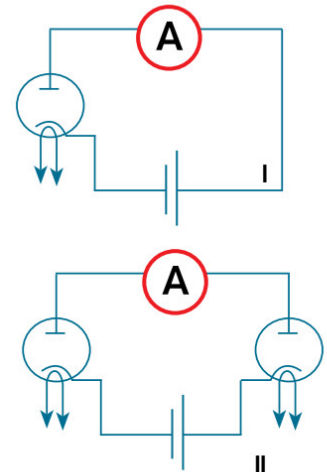
- ა) 1; ბ) 2; გ) 3; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.



სურ. 3

8. რომელ წრედში გადის უფრო დიდი დენი (სურ. 4):

- ა) I წრედში უფრო დიდი დენი გადის, ვიდრე II-ში;
 ბ) II წრედში, რადგან I წრედში დენი არ გადის;
 გ) I წრედში, რადგან II წრედში დენი არ გადის;
 დ) ორივე წრედში ერთნაირი დენი გადის.



სურ. 4

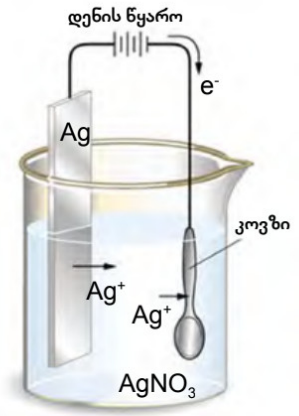
9. მე-5 სურათზე გამოსახული წრედები დენის წყაროსთანაა მიერთებული. რომელ ჭურჭელში ასხია ელექტროლიტის წყალხსნარი და რომელში გამოხდილი წყალი?

- ა) I ჭურჭელში ელექტროლიტის წყალხსნარი ასხია, ხოლო II – გამოხდილი წყალი;
 ბ) I ჭურჭელში გამოხდილი წყალი ასხია, ხოლო II ჭურჭელში – ელექტროლიტის წყალხსნარი;
 გ) შეუძლებელია განსაზღვრა;
 დ) ორივე ჭურჭელში ელექტროლიტის წყალხსნარია.



სურ. 5

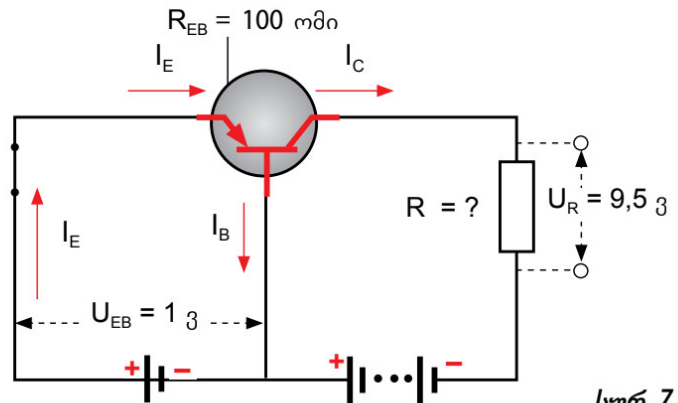
10. რის ტოლია ნატრიუმის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, თუ მისი ვალენტობა 1-ია, ხოლო ერთი იონის მასაა $3,8 \cdot 10^{-26}$ კგ?
- ა) $6 \cdot 10^{-45}$ კგ/კ; ბ) $2,4 \cdot 10^{-7}$ კგ/კ;
 გ) $3,8 \cdot 10^{-26}$ კგ/კ; დ) $1,1 \cdot 10^{-6}$ კგ.



სურ. 6

11. განსაზღვრე, რა რაოდენობის ვერცხლი გამოიყოფა 5 სთ-ის განმავლობაში კოვზზე, რომელიც ვერცხლის მარილის ხსნარშია მოთავსებული (სურ. 6). ხსნარში გამავალი დენის ძალაა 1,8 ა, ვერცხლის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი კი $k = 1,1 \cdot 10^{-6}$ კგ/კ.
- ა) $1,1 \cdot 10^{-6}$ კგ; ბ) $9,9 \cdot 10^{-6}$ კგ;
 გ) 0,59 გ; დ) 35 გ.

12. გამოთვალე ტრანზისტორის წრედში ჩართული R დატვირთვის წინაღობა (სურ.7), თუ ემიტერიდან ბაზაში გადასული ხერელების 95 % ბაზიდან კოლექტორში ხვდება.
- ა) 1 კომი; ბ) 9,5 კომი;
 გ) 10 კომი; დ) 10 მომი.



სურ. 7

ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით შენ საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 3		1
4 - 5	იმ დავალებებიდან, რომლებიც სწორად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	2
6 - 8		3
9 - 10		4
11 - 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 - 15		6
16 - 17	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, რომლებშიც უფრო მეტი შეცდომა გაქვს დაშვებული.	7
18 - 20		8
21 - 22	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
23 - 24	გილოცავ! შედეგი ძალიან კარგია. ჩანს, რომ დამოუკიდებლად მუშაობდი, საკლასო და საშინაო დავალებებს სისტემატურად და გააზრებულად ასრულებდი.	10

II თავის დაგატებითი კითხვები, ამოცანები

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

უმარტივესი  ; მარტივი  ;

საშუალო სირთულის  .

2.1. ელექტრული დენი სითხეში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 9 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. როგორ ნივთიერებებს ეწოდება ელექტროლიტები?
2. რა არის ელექტროლიტური დისოციაცია?
3. რას ეწოდება დისოციაციის ხარისხი? როგორ არის დამოკიდებული დისოციაციის ხარისხი ხსნარის ტემპერატურაზე?
4. რას ეწოდება ელექტრული დენი ელექტროლიტების ხსნარებში?
5. როგორ არის დამოკიდებული ელექტროლიტების წინააღობა ტემპერატურაზე?
6. რა არის ელექტროლიზი?
7. ჩამოყალიბე ელექტროლიზის ფარადეის კანონი. როგორ გამოისახება ფარადეის კანონი მათემატიკურად? განსაზღვრე ფორმულაში შემავალი სიდიდეები.
8. რა არის ფარადეის მუდმივა და რას გვიჩვენებს ის?
9. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს ელექტროლიზის მოვლენას?
10. თუთიის 5 გ მასის ანოდი ჩაშვებულია ელექტროლიტურ აბაზანაში, რომელშიც 2 ა დენი გადის. რა დრო დასჭირდება ლითონის ნაკეთობის ზედაპირის თუთიით დაფარვას, თუ ამისათვის ანოდის თუთია მთლიანად დაიხარჯება. თუთიის ელექტროქიმიური ეკვივალენტია $3,4 \cdot 10^{-7}$ კგ/კ.
11. შაბიამნის ხსნარში ელექტროლიზის დროს $A = 2$ კვტ-სთ ელექტრული ენერგია დაიხარჯა. გამოთვალე ელექტროდზე გამოყოფილი სპილენძის მასა, თუ ელექტროლიტური აბაზანის გამომყვანებს შორის ძაბვა 6 ვ-ია, ხოლო სპილენძის ელექტროქიმიური ეკვივალენტია $3,3 \cdot 10^{-7}$ კგ/კ.
12. განსაზღვრე კათოდზე გამოყოფილი ვერცხლის მასა 2 საათის შემდეგ, თუ ელექტროლიტური აბაზანის გამომყვანებს შორის ძაბვა 2 ვ-ია, ხსნარის (რომელშიც ელექტროლიზი მიმდინარეობს) წინააღობაა 5 ომი და ვერცხლის ელექტროქიმიური ეკვივალენტია $11,18 \cdot 10^{-7}$ კგ/კ.

2.2. ელექტრული დენი აირში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 15 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. რა აირის იონიზაცია? ახსენი მისი მიმდინარეობის მექანიზმი;
2. რას ეწოდება აირის განმუხტვა და ენერგიის რა გარდაქმნა შეიძლება მას მოჰყვეს?
3. როგორი ტიპის გამტარობა ახასიათებს აირს?
4. რას ეწოდება იონიზატორი და რა შეიძლება იყოს გარე იონიზატორის როლში?
5. რა მოვლენას ჰქვია ნაწილაკთა რეკომბინაცია?
6. რას ეწოდება არათავისთავადი განმუხტვა ?
7. აღწერე აირის სითბური იონიზაციის მექანიზმი;

8. რა არის პლაზმა და რა თვისებებით ხასიათდება ის (იხ. გვ. 152)?
9. აღწერე, როგორ ხდება აირის იონიზაცია ელექტრონული დარტყმებით.
10. რა არის იონიზაციის ენერგია და რა ერთეულებით გამოსახვენ იონიზაციის ენერგიას?
11. რას ეწოდება თავისთავადი განმუხტვა? აღწერე მისი მექანიზმი.
12. რა არის ნაჯერობის დენი და რა შემთხვევაში ხდება აირში გამავალი დენი ნაჯერი?
13. რას ეწოდება აირის ელექტრული გარღვევა და რა შემთხვევაში ხდება ის (როგორი უნდა იყოს ამ დროს ძაბვა ელექტროდებს შორის)?
14. როგორ ხდება თავისთავადი განმუხტვის შენარჩუნება? რა მოვლენას იყენებენ ამისათვის?



15. დაამზადე პლაზმოტრონი

არსებობს სპეციალური მოწყობილობები, რომელთა დახმარებითაც მკვრივ, დაბალტემპერატურული პლაზმის ნაკადს ქმნიან. მათ **პლაზმოტრონები** ჰქვია (სურ.1). პლაზმოტრონებს იყენებენ ლითონთა ჭრისა და შედუღებისათვის, მაგარ ქანებში ჭაბურღილების გასაკეთებლად და სხვ. გაიგე უფრო მეტი: <http://bitly.ws/sVnM>



სურ. 1



პლაზმოტრონის შექმნა შენც შეგიძლია:

ამისათვის დაგჭირდება: ელემენტი „კრონა“ (9 V, 3 ცალი), კლიპსებიანი სადენები (2 ცალი), ფანქრის გრაფიტის „გული“ (1 ცალი, 5 სმ სიგრძისა და 0,5 – 0,7 მმ² განივკვეთის ფართობით), ფოლგის ფურცელი (20 X 20 სმ), გადამლილი ფაიფურის თეფში.

1. შეართე ელემენტები მიმდევრობით;
2. ფაიფურის თეფშა ან ცეცხლგამძლე ზედაპირზე დააფინე ფოლგის ფურცელი (სურ.2);
3. ერთი სადენის ბოლოს თეფშზე დაფენილი ფოლგის ფურცლის კუთხე მიამაგრე (სურ.3), მეორე სადენის ბოლოს კი – გრაფიტის „გული“ (სურ. 4);
4. შეაერთე სადენები დენის წყაროსთან. **ფრთხილად! გრაფიტს არ შეეხო** (სურ.5): ის **გავარვარდება!**
5. გრაფიტიანი სადენის კლიპსს ხელი ფრთხილად (!) მოკიდე და შეახე ფოლგის ფურცელს (სურ. 4): შეგიძლია მასზე ნებისმიერი ფიგურა ამოჭრა. შენ ხელში ნამდვილი **პლაზმოტრონი** გაქვს - პლაზმის წყარო, რომლითაც ლითონზე ჭრა შეგიძლია. ცდის დაწყებამდე, **ნახე ვიდეო:** <http://bitly.ws/sVnN>

სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5



16. განსაზღვრე ერთგვაროვანი ელექტრული ველის დაძაბულობა ჰაერში, როცა ჰაერის თავისთავადი განმუხტვა იწყება. ცნობილია, რომ ჰაერის მოლეკულის იონიზაციის ენერგია $2,4 \cdot 10^{-18}$ ჯ-ია, ხოლო ელექტრონის თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე – 5 მკმ. რის ტოლია ელექტრონის სიჩქარე ჰაერის მოლეკულასთან შეჯახებისას?
17. ვერცხლისწყლის ორთქლით სავსე მილაკში ელექტროდებს შორის მანძილი 10 სმ-ია. რის ტოლია ელექტრონის თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე, თუ ცნობილია, რომ ორთქლში თავისთავადი განმუხტვა მაშინ იწყება, როცა ელექტროდებს შორის ძაბვა 600 ვ-ია. ვერცხლისწყლის ორთქლის იონიზაციის ენერგია $1,7 \cdot 10^{-18}$ ჯ-ია. ჩათვალე, რომ ელექტროდებს შორის ელექტრული ველი ერთგვაროვანია.

2.3. თავისთავადი განმუხტვის სახეები

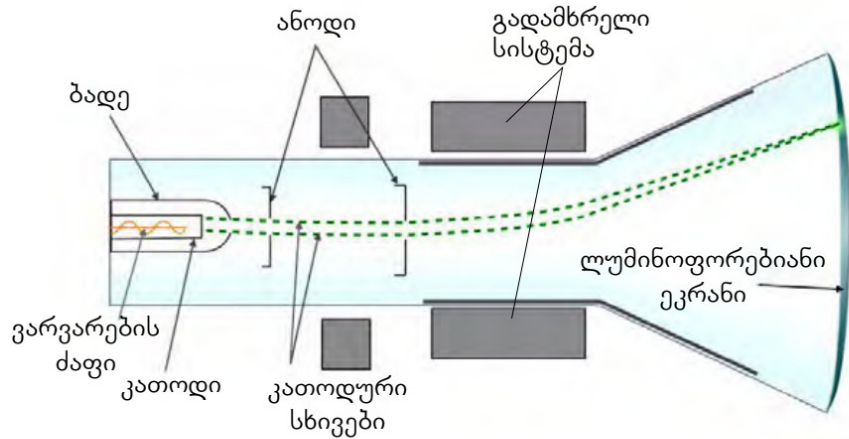
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 5 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. დაასახელე თავისთავადი განმუხტვის სახეები;
2. როგორ განმუხტვას ჰქვია ნაპერწკლისებური? რა პირობებში აღიძვრება ის აირში? დაასახელე ნაპერწკლისებური განმუხტვის მაგალითები.
3. როგორ განმუხტვას ჰქვია მღვივარი? რა პირობებში აღიძვრება ის აირში? დაასახელე მღვივარი განმუხტვის მაგალითები.
4. როგორ განმუხტვას ჰქვია გვირგვინისებრი? რა პირობებში აღიძვრება ის აირში? დაასახელე გვირგვინისებრი განმუხტვის მაგალითები.
5. როგორ განმუხტვას ჰქვია რკალური? რა პირობებში აღიძვრება ის აირში? დაასახელე რკალური განმუხტვის მაგალითები.
6. სარეკლამო განათების ნეონის მილი ნათებას 3000 ვ ძაბვაზე იწყებს. მილის სიგრძე 1,2 მ-ია. იპოვე ელექტრონის თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე, თუ ცნობილია, რომ ნეონის ატომის იონიზაციის ენერგია 21,6 ევ-ია.

2.4. ელექტრული დენი ვაკუუმში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 8 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. აღწერე თერმოელექტრონული ემისიის მოვლენა.;
2. რა არის ვაკუუმურ მილაკებში დამუხტული ნაწილაკების წყარო?
3. აღწერე ვაკუუმური დიოდის მოწყობილობა;
4. გაივლის თუ არა ელექტრული დენი ვაკუუმურ დიოდში, თუ ელექტროდებს შორის ძაბვა არ არის, მაგრამ კათოდს ვარვარების ძაფით აცხელებენ? რატომ? აღწერე, როგორ „იქცევიან“ ამ დროს კათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონები.
5. რატომ ატარებს დიოდი დენს ერთი მიმართულებით? აღწერე დიოდში მიმდინარე მოვლენები პირდაპირი და შექცეული ჩართვისას.
6. რა არის ვაკუუმური ტრიოდი და რით განსხვავდება ის დიოდისგან? რა უპირატესობა აქვს დიოდთან შედარებით მას?
7. როგორ წარმოიქმნება კათოდური სხივები და რა თვისებები აქვს მას?
8. რაში იყენებენ პრაქტიკაში ვაკუუმურ მილაკებს (დიოდს, ტრიოდს)?
9. გამოთვალე ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ელექტრონულ-სხივური მილაკში (სურ. 6) ელექტრულ ველში მოძრაობისას, თუ იმ ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, რომლებიც ველს ქმნიან, 5 კვ-ია.
10. ელექტრონულ-სხივური მილაკში (სურ. 6) ელექტრულ ველში მოძრაობისას ელექტრონის სიჩქარე 10^7 მ/წმ-დან $3 \cdot 10^7$ მ/წმ-მდე გაიზარდა. იპოვე პოტენციალთა სხვაობა ელექტრონის გადაადგილების სანყის და ბოლო წერტილებს შორის, თუ ცნობილია ელექტრონის მუხტის შეფარდება მის მასასთან: $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ კ/კგ-ია.



სურ. 6

11. ვაკუუმური მილაკის ანოდსა და კათოდს შორის მანძილი 1მმ-ია. რა დრო დასჭირდება ელექტრონს კათოდიდან ანოდამდე მისაღწევად, თუ ელექტროდებს შორის ძაბვა 440 ვ-ია. ჩათვალი, რომ ელექტრონის სანყისი სიჩქარე ნულის ტოლია და ის კათოდიდან ანოდამდე თანაბრაჩქარებულად მოძრაობს.

2.5. ელექტრული დენი ნახევარგამტარებში

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 8 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. როგორ ნივთიერებებს ეწოდება ნახევარგამტარები?
2. როგორ არის დამოკიდებული ნახევარგამტარების წინააღობა გარე ფაქტორებზე: ტემპერატურასა და ნახევარგამტარის ზედაპირის განათებულობაზე?
3. აღწერე ნახევარგამტარის (მაგ., სილიციუმის აგებულება);
4. რას ეწოდება ნახევარგამტარის საკუთარი გამტარობა?
5. რა არის ელექტრული დენი ნახევარგამტარში?
6. როგორი გამტარობა ახასიათებს ნახევარგამტარს?
7. როგორ მინარევს ჰქვია დონორული? აქცეპტორული?
8. როგორ ნახევარგამტარს ჰქვია n-ტიპის? p-ტიპის?
9. 20 ვ ძაბვის წყაროსთან მიმდევრობითაა შეერთებული თერმისტორი, 1 კომი წინააღობის რეზისტორი და მილიამპერმეტრი. ოთახის ტემპერატურაზე მილიამპერმეტრის ჩვენება 5 მა იყო. მას შემდეგ, რაც თერმისტორი ცხელ წყალში ჩაუშვეს, მილიამპერმეტრის ჩვენება 10 მა გახდა. რამდენჯერ შეიცვალა თერმისტორის წინააღობა?
10. ფოტორეზისტორი, რომლის წინააღობა სიბნელეში 25 კომია, მიმდევრობით შეაერთეს 5 კომი წინააღობის რეზისტორთან და დენის წყაროს მიუერთეს. როცა ფოტორეზისტორი სინათლით გაანათეს, დენის ძალა წრედში 4-ჯერ გაიზარდა. რამდენჯერ შემცირდა ფოტორეზისტორის წინააღობა (ძაბვა დენის წყაროს პოლუსებზე უცვლელია).

2.6. p-n გადასასვლელი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 7 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე.

1. როგორ იქმნება p-n გადასასვლელი ნახევარგამტარის კრისტალში?
2. რა არის ჩამკეტი ფენა?
3. რას ნიშნავს p-n გადასასვლელის მქონე ნახევარგამტარის კრისტალის
 - ა) პირდაპირი ჩართვა წრედში? ბ) შექცეული ჩართვა?
4. როგორია პირდაპირი ჩართვისას p-n გადასასვლელის მქონე ნახევარგამტარის კრისტალის წინააღობა და გამტარობა? შექცეული ჩართვისას?

5. აღწერე ნახევარგამტარული დიოდის მუშაობის პრინციპი. რა პრაქტიკული დანიშნულება აქვს ნახევარგამტარულ დიოდს?
6. აღწერე შუქდიოდის აგებულება;
7. აღწერე ტრანზისტორის აგებულება და მისი მუშაობის პრინციპი. რა პრაქტიკული დანიშნულება აქვს ტრანზისტორს?

II თავის მოკლე შინაარსი

ელექტრონული დენი სითხეში

ნივთიერებებს, რომლებსაც მხოლოდ იონური გამტარობა ახასიათებს (გაიხსენე: ლითონებს ელექტრონული გამტარობა ახასიათებს), ელექტროლიტები ჰქვია. ხშირად კი, ამ სახელით ისეთ ნივთიერებებს მოიხსენიებენ, რომლებიც იონებად ხსნარებში იშლება. ელექტროლიტების ხსნარებსაც ელექტროლიტებს უწოდებენ და სწორედ მათ მიეკუთვნება მყავების, ფუძეებისა და მარილების ხსნარები.

ელექტროლიტების კრიტალური მესრის (მოლეკულების) დაშლას ცალკეულ იონებად გამხსნელის (უმეტეს შემთხვევაში – წყლის) პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით ელექტროლიტური დისოციაცია ჰქვია.

დისოციაციის ხარისხი, ანუ გახსნილი ნივთიერების იონებად დაშლილ მოლეკულათა რაოდენობა, დამოკიდებულია ხსნარის კონცენტრაციაზე, გამხსნელის დიელექტრიკულ შეღწევადობასა და ხსნარის ტემპერატურაზე. ხსნარის ტემპერატურის გაზრდით დისოციაციის ხარისხი იზრდება: იმატებს სითბური მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და, შესაბამისად, თავისუფალი იონების კონცენტრაცია.

ელექტრული დენი ელექტროლიტების ხსნარებში ელექტროლიტური დისოციაციის შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი იონების მიმართული მოძრაობაა.

ზოგადად, სითხეს, გარდა იონურისა, შეიძლება ელექტრონული გამტარობაც ახასიათებდეს. მაგ., ასეთი გამტარობა აქვს გამდნარ ლითონს.

ელექტროლიტების ტემპერატურის ზრდასთან ერთად დისოციაციის ხარისხი მატულობს და შესაბამისად, ელექტროლიტის წინაღობა მცირდება.

ელექტროლიტების წყალხსნარებში დენის გავლის შედეგად ელექტროდებზე ნივთიერებების გამოყოფის პროცესს ელექტროლიზი ჰქვია.

ელექტროლიზის ფარადეის კანონი ელექტროლიზის მოვლენას რაოდენობრივად აღწერს: ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე Δt დროის განმავლობაში გამოყოფილი ნივთიერების მასა დენის ძალისა და დროის პროპორციულია:

$$m = k I \Delta t$$

k -ს ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი ჰქვია. ელექტროქიმიური ეკვივალენტი გამოისახება კილოგრამობით კულონზე (კგ/კ).

ელექტრონული დენი აირში

აირში დენის გავლის მოვლენას აირის განმუხტვა ეწოდება. აირის განმუხტვას შესაძლოა სითბური და სინათლის ენერგიის გამოყოფა მოჰყვეს: აირი გათბეს და ნათება წარმოიქმნას. აირს ახასიათებს, როგორც ელექტრონული (ისევე, როგორც ლითონს), ისე იონური (როგორც ელექტროლიტის ხსნარსა და ნაღვს) გამტარობა: აირში მუხტის ძირითადი გადამტანები თავისუფალი ელექტრონები და დადებითი იონებია.

განმუხტვას, რომელიც აირში მხოლოდ გარე ზემოქმედების (იონიზატორის) გავლენით აღიძვრება და შენარჩუნდება, არათავისთავადი განმუხტვა ჰქვია.

აირში ელექტრული დენის გავლას, რომელიც გარე იონიზატორის მოქმედებაზე დამოკიდებული არ არის, თავისთავადი განმუხტვა ჰქვია.

თავისთავადი განმუხტვა სხვადასხვა სახისაა. არსებობს **ნაპერწკლისებრი, მღვივარი, რკალური და გვირგვინისებრი განმუხტვა**.

ელექტრული დენი ვაკუუმში

ვაკუუმში დენი თერმოელექტრონული ემისიის შედეგად კათოდიდან ამოსული ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა.

ვაკუუმურ ელექტრომონოცილობებში თავისუფალი ელექტრონების წყარო გახურებული ელექტროდია (კათოდი).

თუ კათოდს გავახურებთ, მაღალ ტემპერატურაზე კათოდიდან ელექტრონების ამოსვლა დაიწყება. ამ პროცესს **თერმოელექტრონული ემისია** ჰქვია.

ელექტრული დენი ნახევარგამტარში

ნახევარგამტარში ელექტრული დენი „ხვრელებისა“ და მუხტის გადამტანი თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა.

ნახევარგამტარს როგორც ელექტრონული, ისე ხვრელური გამტარობა ახასიათებს. სწორედ ამ ორი ტიპის გამტარობით განისაზღვრება სუფთა (მინარეების გარეშე) **ნახევარგამტარის საკუთარი გამტარობა**, რომელიც ჩვეულებრივ დიდი არაა, რადგან ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია დაბალია.

მინარევს, რომელიც ელექტრონებს გასცემს ისე, რომ იმავე რაოდენობის „ხვრელებს“ არ წარმოქმნის (ანუ, ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვს ზრდის), **დონორული (გამცემი) მინარევი** ჰქვია.

ნახევარგამტარში, რომელიც დონორულ მინარევს შეიცავს, თავისუფალი ელექტრონები მუხტის ძირითადი გადამტანებია.

ნახევარგამტარს, რომელშიც მუხტის ძირითადი გადამტანებია ელექტრონები, ხოლო ხვრელები – არაძირითადი, **n ტიპის ნახევარგამტარი** ეწოდება (ლათინური სიტყვიდან „negativus“ – უარყოფითი).

მინარევს, რომელიც ნახევარგამტარში ხვრელების რიცხვს ზრდის ისე, რომ ამ დროს თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა არ იზრდება, **აქცეპტორული (მიმღები) მინარევი** ეწოდება.

მაღალ ტემპერატურებზე ნახევარგამტარში, რომელშიც აქცეპტორული მინარევი, „ხვრელები“ მუხტის ძირითადი გადამტანებია, ხოლო თავისუფალი ელექტრონები – არაძირითადი.

ნახევარგამტარს, რომელშიც „ხვრელების“ კონცენტრაცია თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციას აღემატება, **p ტიპის ნახევარგამტარი** ჰქვია (ლათინური სიტყვიდან „positivus“ – დადებითი).

მინარევი ნახევარგამტარში, ნახევარგამტარის გამტარობას ზრდის (მისი კუთრი წინაღობა მკვეთრად მცირდება).

p და n ტიპის ნახევარგამტარების შეხების საზღვარზე, **ელექტრონულ-ხვრელური გადასასვლელი** ანუ, **p-n გადასასვლელი** ჩნდება.

პირდაპირი ჩართვისას p-დან n-ის მიმართულებით მნიშვნელოვანი დენი გაივლის: პირდაპირი ჩართვისას ნახევარგამტარის კრისტალის წინაღობა მცირეა, გამტარობა კი – დიდი.

შექცეული ჩართვისას n-დან p-ისკენ უმნიშვნელო დენი გაივლის: შექცეული ჩართვისას ნახევარგამტარის კრისტალის წინაღობა დიდია, გამტარობა მცირე.

ნახევარგამტარის კრისტალის თვისება დენი p-n გადასასვლელზე ერთი მიმართულებით გაატაროს და საწინააღმდეგო მიმართულებით, პრაქტიკულად, არ გაატაროს, გამოყენებულია ნახევარგამტარულ მოწყობილობაში, რომელსაც **ნახევარგამტარული დიოდი** ჰქვია.

ა

ამპერი ანდრე მარი (1775 –1836) - ფრანგი ფიზიკოსი და მათემატიკოსი, ელექტრომაგნეტიზმის ერთ-ერთი ფუძემდებელი.

ამპერი (1 ა, A) – დენის ძალის ერთეული SI-ში. თუ ყოველ 1 წამში გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში 1 კულონი მუხტი გადის, მაშინ გამტარში გამავალი დენის ძალა 1 ამპერია.

პრაქტიკაში გამოიყენება დენის ძალის სხვა ერთეულებიც:

1 კილოამპერი (კა) = 10^3 ა; 1 მილიამპერი (მა) = 10^{-3} ა; 1 მიკროამპერი (მკა) = 10^{-6} ა.

ამპერმეტრი - ხელსაწყო, რომლითაც დენის ძალას ზომავენ. ამპერმეტრს მიმდევრობით რთავენ წრედის იმ უბანთან, რომელშიც გამავალ დენს ზომავენ.

არაგამტარი, დიელექტრიკი, იზოლატორი – ნივთიერება (მასალა), რომელშიც დამუხტული ნაწილაკები, ელექტრონები და ატომბირთვები, ძირითადად ატომში არიან ურთიერთბმული და მათ, გამტარის თავისუფალი მუხტებისგან განსხვავებით, ნივთიერების მთელ მოცულობაში გადაადგილება არ შეუძლიათ. დიელექტრიკებში თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია გამტარებთან შედარებით ძალიან მცირეა, $\approx 10^8$ მ $^{-3}$.

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

არათავისთავადი განმუხტვა – აირის განმუხტვა, რომელიც აირში მხოლოდ გარე ზემოქმედების (იონიზატორის) გავლენით აღიძვრება და შენარჩუნდება.

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.

აქცეპტორული (მიმღები) მინარევი - მინარევი, რომელიც ნახევარგამტარში ხვრელების რიცხვს ზრდის ისე, რომ ამ დროს თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა არ იზრდება.

დაბალ ტემპერატურებზე ნახევარგამტარში, რომელშიც აქცეპტორული მინარევი, „ხვრელები“ მუხტის ძირითადი გადამტანებია, ხოლო თავისუფალი ელექტრონები – არაძირითადი.

ბ

გაზომვის ზღვარი – დენის ძალის უდიდესი მნიშვნელობა, რომლის გაზომვაც მოცემული გამზომი ხელსაწყოთა შესაძლებელი.

გალვანი ლუიჯი (1737 –1798) – იტალიელი ექიმი, ანატომი, ფიზიოლოგი.

გალვანოსტეგია – ელექტროლიტური მეთოდით ლითონის ზედაპირის სხვა ლითონის ფენით დაფარვის მეთოდი.

გალვანოპლასტიკა – ელექტროლიტური ხერხით სხვადასხვა რელიეფური ზედაპირიდან ზუსტი ასლის მიღების პროცესი.

გამოსვლის მუშაობა – მუშაობა, რომელიც უნდა შესრულდეს იმისათვის, რომ თავისუფალმა ელექტრონმა სხეულის ზედაპირიდან ამოსვლა („ემისია“) შეძლოს: მან დადებითი ატომბირთვების მიზიდულობა უნდა დაძლიოს.

• გამოსვლის მუშაობა ნივთიერების გვარობაზეა დამოკიდებული. ლითონების უმრავლესობისთვის 2-დან 6 ევ-მდე მერყეობს.

გამტარი – ნივთიერება (მასალა), რომელშიც დამუხტული ნაწილაკები თავისუფლად გადაადგილდება ნივთიერების მთელ მოცულობაში. გამტარებში თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია ძალიან დიდია ($\approx 10^{23} - 10^{29}$ მ $^{-3}$).

- გამტარებს მიეკუთვნება: ლითონები, მარილებისა და მჟავების წყალხსნარები (ელექტროლიტები), გრაფიტი, ჩვეულებრივი წყალი (რადგან ის მარილებს შეიცავს), ნიადაგი. მუხტის კარგი გამტარია ადამიანის (ცხოველის, ფრინველის) სხეულიც.

განიკვეთი – გეომეტრიული ფიგურა, რომელიც სხეულის მართობული სიბრტყით გადაკვეთისას მიიღება.

განმუხტვა აირის – აირში დენის გავლის პროცესი. აირის განმუხტვას შესაძლოა სითბური და სინათლის ენერგიის გამოყოფა მოჰყვეს: აირი გათბეს და ნათება წარმოიქმნას.

ღ

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 ნერტილოვან მუხტზე ველის მხრიდან

მოქმედი ძალის შეფარდებისა მუხტის მოდულთან:
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

- დაძაბულობის ერთეული SI-ში 16/კ-ია;
- დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება დადებით საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულებას ემთხვევა.

დენი ელექტრული – თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობა. თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებს კი – მუხტის გადამტანებს უწოდებენ.

ელექტრული დენი:

- ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობაა;
- ელექტროლიტებში დადებითი და უარყოფითი იონების მოწესრიგებული მოძრაობაა;
- ვაკუუმში თერმოელექტრონული ემისიის შედეგად კათოდიდან ამოსული თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობაა;
- აირში თავისუფალი ელექტრონებისა და დადებითი მუხტის მქონე იონების მოწესრიგებული მოძრაობაა;
- ნახევარგამტარებში თავისუფალი ელექტრონებისა და „ხვრელების“ მოწესრიგებული მოძრაობაა.

დენის მიმართულება – ის მიმართულებაა, რომელი მიმართულებითაც ელექტრული ველის გავლენით დადებითად დამუხტული ნაწილაკები იმოძრავენ.

- ლითონებში, სადაც ელექტრული დენი თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა, დენის მიმართულებად მუხტის გადამტანი ნაწილაკების, ელექტრონების, მოძრაობის საპირისპირო მიმართულება ითვლება;
- დენის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა იმ ელექტრული ველის მიმართულებას, რომლის გავლენითაც გამტარში დენი აღიძვრება.

დენის მოქმედება – მოვლენა, რომელიც გამტარში დენის გავლას თან ახლავს:

- დენის სითბური მოქმედება: გამტარი, რომელშიც დენი გადის, თბება;
- დენის ქიმიური მოქმედება: ელექტრული დენის გავლისას ელექტროლიტის წყალხსნარიდან სუფთა ნივთიერებები გამოიყოფა;
- დენის მაგნიტური მოქმედება: დენიანი გამტარი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის;
- დენის ფიზიოლოგიური მოქმედება – კუნთი მასში დენის გავლისას იკუმშება.

დენის მუშაობა – სრულდება მაშინ, როცა:

1. ელექტრული ენერგია სხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნება. დენის მუშაობა გვიჩვენებს, ელექტრომომხმარებლის მიერ მოხმარებული/დახარჯული ელექტრული ენერგიის რაოდენობას;
2. გამტარში თავისუფალი მუხტები ელექტრული ველის გავლენით მიმართულად მოძრაობს. ელექტრული დენის მუშაობა ასე გამოითვლება: $A = U q = I U \Delta t = I^2 R \Delta t = U^2 \Delta t / R$

- დენის მუშაობა SI-ში ჯოულებით იზომება: თუ გამტარში 1 ა დენი გადის, როცა მის ბოლოებს შორის 1 ვ ძაბვაა, მაშინ 1 წმ-ში დენი 1 ჯოულ მუშაობას ასრულებს.

დენის ძალა – სკალარული ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია Δt დროის განმავლობაში გამტარის განივკვეთში გადატანილი q მუხტის შეფარდებისა დროის მოცემულ შუალედთან.

- დენის ძალა გამოითვლება ფორმულით: $I = \frac{q}{\Delta t}$

- დენის ძალა ასეც გამოითვლება: $I = \frac{ne}{\Delta t}$

- დენის ძალა გვიჩვენებს გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გადატანილი მუხტის სიდიდეს: ის რიცხობრივად ტოლია მუხტისა, რომელიც გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გადის.

- დენის ძალა გამტარში დამოკიდებულია დამუხტული ნაწილაკების კონცენტრაციაზე, თითოეული ნაწილაკის მიერ გადატანილ მუხტზე, ნაწილაკთა მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარესა და გამტარის განივკვეთის ფართობზე: $I = q_0 n v S$

დენის წყარო – მოწყობილობა, რომელიც გამტარში დენის ხანგრძლივად შენარჩუნებისთვისაა საჭირო. დენის წყაროში არაელექტრული, გარე ძალების მოქმედებით მუხტი ელექტროსტატიკური ველის მხრიდან მოქმედი ძალის საპირისპიროდ გადაადგილდება.

დისოციაციის ხარისხი – გამხსნელში გახსნილი ნივთიერების იონებად დაშლილ მოლეკულათა რაოდენობა. დამოკიდებულია ხსნარის კონცენტრაციაზე, გამხსნელის დიელექტრიკულ შეღწევადობასა და ხსნარის ტემპერატურაზე. ხსნარის ტემპერატურის გაზრდით დისოციაციის ხარისხი იზრდება: იმატებს სითბური მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და შესაბამისად, თავისუფალი იონების კონცენტრაცია.

დრეიფი – გამტარში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა ელექტრული ველის გავლენით. ე. წ. დრეიფს გამოიწვევს ელექტრონების მოძრაობა გარკვეულად მოწესრიგდება. დრეიფის საშუალო სიჩქარის მოდული ძალიან მცირეა, მილიმეტრის მეასედთან რამდენიმე მილიმეტრამდე წმ-ში).

დონორული (გამცემი) მინარევი – მინარევი, რომელიც ელექტრონებს გასცემს ისე, რომ იმავე რაოდენობის „ხვრელებს“ არ წარმოქმნის ანუ, ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვს ზრდის.

- ნახევარგამტარში, რომელიც დონორულ მინარევს შეიცავს, თავისუფალი ელექტრონები მუხტის ძირითადი გადამტანებია, თუმცა არა ერთადერთი: ნახევარგამტარის საკუთარი ატომების მცირე ნაწილი იონიზირებულია და, შესაბამისად, კრისტალში „ხვრელების“ გარკვეული რაოდენობაცაა (თუმცა გაცილებით ნაკლები, ვიდრე თავისუფალი ელექტრონების).

1

ელექტროგამტარობის კლასიკური თეორია – თეორია, რომლის ძირითადი წარმოდგენების მიხედვით ლითონის გამტარებში მუხტის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია და ლითონების კარგი ელექტროგამტარებლობა მათში თავისუფალი ელექტრონების ძალიან მაღალი კონცენტრაციით აიხსნება. თეორიას საფუძველი ჩაეყარა 1897 წელს.

ელექტრული მოვლენა – მაგ., ელექტრულია 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, დამუხტულია თუ არა ესა თუ ის სხეული.

ელექტრომეტრი („მეტრეო“ ბერძნულად ნიშნავს „ვზომავ“) – ხელსაწყო, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, არა მარტო აღმოვაჩინოთ, არამედ რაოდენობრივადაც შევაფასოთ დამუხტული სხეულის ელექტრული მუხტი.

- ელექტროსკოპის კიდევ 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:

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ.}$$

ელექტრონულ-ხვრელური გადასასვლელი, იგივე **p-n გადასასვლელი** – p და n ტიპის ნახევარ-გამტარების შეხების ადგილზე სასაზღვრო ფენა.

ელექტროლიტი – ნივთიერება, რომელსაც იონური გამტარობა ახასიათებს. ნივთიერება, რომელიც ხსნარებში იონებად იშლება. ელექტროლიტების ხსნარებსაც ელექტროლიტებს უწოდებენ და სწორედ მათ მიეკუთვნება მჟავების, ფუძეებისა და მარილების ხსნარები.

ელექტროლიტური დისოცია – ელექტროლიტების კრისტალური მესრის (მოლეკულების) დაშლას ცალკეულ იონებად გამხსნელის (უმეტეს შემთხვევაში – წყლის) პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით.

ელექტროლიზი – მოვლენა, რომლის დროსაც ელექტროლიტების წყალხსნარებში დენის გავლის შედეგად ელექტროდებზე სუფთა ნივთიერებები გამოიყოფა.

ელექტრომომძრავებელი ძალა (ემძ, $\mathcal{E}$) – სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად იმ მუშაობას გვიჩვენებს, რომელსაც გარე ძალები დენის წყაროს შიგნით უარყოფითიდან დადებით პოლუსზე ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადატანისას ასრულებს.

- ემძ ასე გამოითვლება: $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{გარე}}}{q}$

- ჩაკეტილ წრედში მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული სრული მუშაობა ($A_{\text{სრ}}$) გარე ძალების მუშაობის ტოლია. რაც იმას ნიშნავს, რომ

1. გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე ხდება მუხტის გადაადგილება გარე წრედშიც; სწორედ გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე ანათებს ნათურა, ბრუნავს გენერატორის ტურბინა და ა.შ.

2. გარე ძალების მუშაობის ხარჯზე ივსება მუხტის გადამტანების ენერგიის დანაკარგი ჩაკეტილ წრედში გადაადგილებისას (თავისუფალი მუხტების წრედში გადაადგილებას თან სდევს ენერგიის კარგვა სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედების შედეგად).

- დენის წყაროს ემძ არის გარე ძალების მიერ ჩაკეტილ წრედში მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობის შეფარდება ამ მუხტთან:

- ემძ სკალარული სიდიდეა;

- ემძ SI-ში, ვოლტებით იზომება: $1\text{ვ} = 1\text{ჯ/კ.}$

ელექტროფორული მანქანა – ელექტროსტატიკური გენერატორი, რომელშიც ელექტრული მუხტები ელექტროსტატიკური ინდუქციის შედეგად მიიღება. მოწყობილობა, რომელშიც მექანიკური ენერგია ელექტრულად გარდაიქმნება.

ელექტროქიმიური ეკვივალენტი (k) – პროპორციულობის კოეფიციენტი ფარადეის კანონში. გამოისახება კილოგრამობით კულონზე (კგ/კ).

- k რიცხვობრივად ტოლია ნივთიერების მასისა, რომელიც იონების მიერ 1 კულონი მუხტის გადატანისას ელექტროდზე გამოიყოფა;

- k ტოლია იონის მასის შეფარდებისა იონის მუხტთან.

ელექტრული გარღვევა აირის – მას შემდეგ, რაც განმუხტვის დენი ნაჯერობას მიაღწევს და ელექტროდებს შორის ძაბვას კვლავ გავზრდით, როცა ის გარკვეულ მნიშვნელობას ($U_{\text{თავ}}$) მიაღწევს, ელექტრონული დარტყმების ხარჯზე ახლად წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა ზვავისებურად მოიმატებს, თავისთავადი განმუხტვა დაიწყება და განმუხტვის დენი აირში მკვეთრად გაიზრდება. ამ მოვლენას აირის ელექტრული გარღვევა ჰქვია. თუ ამ მომენტიდან გარე იონიზატორის მოქმედებას შევწყვეტთ, განმუხტვა კვლავ გაგრძელდება.

ელექტრული ძალა – ძალა, რომლითაც ელექტრული ველი დამუხტულ ნაწილაკზე (სხეულზე) მოქმედებს.

ელექტრული მუხტის გადამტანები – თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები – ნაწილაკები, რომლებიც თავისუფლად გადაადგილდებიან გამტარის მთელ მოცულობაში.

ემიტერი („emittere“) – ლათინურად, „გამომსხივებელს“, „გამომშვებს“ ნიშნავს. ემიტერი ტრანზისტორის ნაწილია.

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 დამუხტულ, ფირფიტას შორის, თუ ფირფიტებს შორის მანძილი ბევრად ნაკლებია მათ ზომებზე და მუხტი ფირფიტების ზედაპირზე თანაბრადაა განაწილებული.

3

ვაკუუმური დიოდი (ბერძნულად „დი“ ორს ნიშნავს, ხოლო „ოდა“ -გზას) – ორელექტროდიანი ელექტრონული მილაკი, საიდანაც ჰაერია ამოტუმბული (აირის წნევა მილაკში 10^{-6} – 10^{-7} მმ. ვწყ. სვ.-ია). ვაკუუმური დიოდი დენს ცალმხრივად, ერთი მიმართულებით ატარებს.

ვაკუუმური ტრიოდი – სამელექტროდიანი ელექტრონული მილაკი, საიდანაც ჰაერია ამოტუმბული (აირის წნევა მილაკში 10^{-6} – 10^{-7} მმ. ვწყ. სვ.-ია) და დიოდისგან განსხვავებით მესამე, დამატებითი ელექტროდი, ე.წ. ბადე აქვს.

ვოლტა ალესანდრო ვოლტე ანტონიო ანასტასიო (1745 – 1827) – იტალიელი ფიზიკოსი, ქიმიკოსი და ფიზიოლოგი.

ვოლტი (ვ, V) – პოტენციალის, ძაბვის, ემძ-ს ერთეული SI-ში.

ვოლტმეტრი – ხელსაწყო, რომლითაც ზომავენ ძაბვას გამტარის ბოლოებს შორის (წრედის უბნის ბოლოებზე).

ზ

ზეგამტარობა – მოვლენა, როცა გამტარის წინაღობა ნულის ტოლი ხდება.

- ტემპერატურას, რომელზედაც ლითონის კუთრი წინაღობა ნულის ტოლი ხდება, **კრიტიკული ტემპერატურა** ჰქვია.

თ

თავისთავადი განმუხტვა – აირში ელექტრული დენის გავლის პროცესი, რომელიც გარე იონიზატორის მოქმედებაზე დამოკიდებული არ არის.

თავისთავადი განმუხტვა სხვადასხვა სახისაა. არსებობს ნაპერწკლისებური, მღვივარი, გვირგვინისებრი და რკალური განმუხტვა.

თავისუფალი ელექტრონი – ელექტრონი, რომელიც ატომბირთვს მოსწყდება და ატომთაშორის სივრცეში გადაადგილდება.

თერმოელექტრონული ემისია – გახურებული კათოდის ზედაპირიდან ელექტრონების ამოსვლა.

თერმორეზისტორი, თერმისტორი – ნახევარგამტარული მოწყობილობა, რომელიც ნახევარგამტარის წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებას ეფუძნება: ტემპერატურის მომატებისას თერმორეზისტორის წინააღობა მცირდება. რეაგირებს გარემოს ტემპერატურის ცვლილებაზე (ატარებს ან არ ატარებს დენს, თიშავს ან რთავს წრედს) და, შესაბამისად, იყენებენ ისეთ მოწყობილობებში, როგორიცაა ხანძარსაწინააღმდეგო სიგნალიზაციის სისტემა, ტემპერატურის მარეგულირებელი შენობებში, ელექტროჩაიდანის, მაცივარი და ა.შ.

ი

იზოლატორი – არაგამტარი სხეული, რომელსაც დიელექტრიკებისგან ამზადებენ.

იონი – დამუხტული ნაწილაკი.

- თუ ატომი მიიერთებს ზედმეტ ელექტრონს, მაშინ უარყოფითად დამუხტული იონი (**უარყოფითი იონი**) წარმოიქმნება;
- თუ ატომი დაკარგავს ელექტრონს, დადებითად დამუხტული იონი (**დადებითი იონი**) მიიღება.

იონიზაცია აირის – აირის ნეიტრალური მოლეკულების იონებად გარდაქმნის პროცესი.

იონიზაცია სითხური – მაღალ ტემპერატურაზე, აირის თავისუფალი ელექტრონებისა და დადებითი მუხტის მქონე იონების წარმოქმნის პროცესი აირის ნაწილაკების „შეჯახებების“ შედეგად.

იონიზაცია ელექტრონული დარტყმით – აირის იონიზაცია სწრაფი ელექტრონების აირის ნაწილაკებთან (მოლეკულებთან, ატომებთან) „შეჯახებების“ შედეგად.

- ელექტრონული დარტყმებით იონიზაცია მაშინაა შესაძლებელია, თუ ელექტრონის კინეტიკური ენერგია იონიზაციის ენერგიას გადააჭარბებს.

იონიზაცია ატომის – ატომიდან ელექტრონის მოწყვეტის პროცესი;

იონიზაციის ენერგია – უმცირესი ენერგია, რომელიც უნდა დაიხარჯოს იმისათვის, რომ ელექტრონი ატომს მოწყდეს.

- იონიზაციის ენერგიას ელექტრონვოლტებით (ეე) გამოსახვენ: ელექტრული ველის ორ წერტილს შორის ელექტრონის გადაადგილებისას ველი ასრულებს 1 ეე-ის ტოლ მუშაობას, თუ მოცემულ ორ წერტილს შორის ძაბვა 1 ვოლტია.

$$1 \text{ ეე} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ} \cdot 1 \text{ ვ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ.}$$

იონიზატორი – იონიზაციის გამომწვევი მიზეზი, რომელიც შეიძლება იყოს მაგ., ტემპერატურის მატება, გამოსხივება (კოსმოსური სხივები, რადიოაქტიური და ულტრაიისფერი გამოსხივება), სწრაფი ელექტრონების ნაკადი და ა.შ.

3

კამერლინგ-ონესი ჰეიკე (1853 – 1926) – ჰოლანდიელი ფიზიკოსი, რომელმაც 1911 წელს თხევად ჰელიუმში გაციებული ვერცხლისწყლის ზეგამტარობა აღმოაჩინა.

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.

კოლექტორი („collector“) – ლათინურად, „შემკრებს“, „შემგროვებელს“ ნიშნავს. ტრანზისტორის ნაწილი.

კუთრი წინაღობა – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ნივთიერებას ახასიათებს. გვიჩვენებს, რა წინაღობა აქვს მოცემული ნივთიერებისგან დამზადებულ 1 მ სიგრძისა და 1 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარს. SI-ში კუთრი წინაღობის ერთეულია: 1 ომი · მ. სისტემგარეშე ერთეულია 1 ომი · მმ² / მ = 10⁻⁶ ომი · მ

კულონი შარლ ოგიუსტენი (1736 – 1806) – ფრანგი ფიზიკოსი და სამხედრო ინჟინერი. დაადგინა ელექტროსტატიკის ძირითადი კანონი, რომელიც ელექტრულ მუხტებს შორის ურთიერთქმედებას აღწერს.

კულონი – მუხტის ერთეული SI-ში.

კულონური ურთიერთქმედება – იგივე ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება ელექტრულ მუხტებს შორის.

კულონური ძალა – ძალა, რომელიც კულონური ურთიერთქმედებისას აღიძვრება ელექტრულ მუხტებს შორის.

მ

მაგნიტური ლევიტაცია – მოვლენა, რომლის დროსაც სხეული მაგნიტურ ველში „ლივლივებს“. მაგლევი (შემოკლებით, „მაგნიტური ლევიტაცია“): მაგლევი ლიანდაგების თავზე მაგნიტურ ველში მოლივლივე მატარებელია.

მეისნერის ეფექტი – მოვლენა, როდესაც მაგნიტური ველი გამოიძევნება ზეგამტარიდან. მოვლენა 1933 წელს გერმანელმა ფიზიკოსებმა ვოლტერ მეისნერმა და რობერტ ოქსენფილდმა აღმოაჩინეს.

მიმდევრობითი შეერთება გამტარების – გამტარებს შემაერთებული სადენით ერთი მეორის მიყოლებით ისე აერთებენ, რომ ერთი გამტარის ბოლო მეორის დასაწყისთანაა შეერთებული, მეორის ბოლო – მესამის დასაწყისთან და ა.შ. გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას მათ შემაერთებელ სადენებს განშტოებები არ აქვს.

მოკლე ჩართვა – მცირე წინააღობის მქონე მოკლე გამტარით გარე წრედის ორი ნერტილის შეერთება მაშინ, როცა წრედში დენი გადის. ასეთ დროს დენი წრედში ძალიან იზრდება. მოკლე ჩართვისას დენის სიდიდე წრედში არა მხოლოდ დენის წყაროს ემძ-თი განისაზღვრება, არამედ შიგა წინააღობითაც.

მუდმივი დენი – დენი, რომლის დენის ძალა და დენის მიმართულება დროის მიხედვით უცვლელია.

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 გადანაცვლებული ელექტრონების რაოდენობას გვიჩვენებს, ხოლო e ელემენტარული მუხტია.

მუხტის გადამტანები, იგივე დენის მატარებლები – თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები, რომლებიც თავისუფლად გადაადგილდება გამტარის მთელ მოცულობაში.

ნ

ნახევარგამტარი – ნივთიერება, რომელსაც ელექტრული დენის გამტარობის თვალსაზრისით, შუალედური მდგომარეობა უკავია ლითონებსა და დიელექტრიკებს შორის: ლითონების კუთრი წინააღობა $10^{-8} - 10^{-6}$ ომი · მ-ია, დიელექტიკებისა კი $10^{12} - 10^{14}$ ომი · მ. ნახევარგამტარების კუთრი წინააღობა კი ოთახის ტემპერატურაზე 10^{-3} -დან 10^7 ომი · მ-ის ფარგლებშია.

- ნახევარგამტარები შეიძლება იყოს როგორც კრისტალურ, ისე თხევად და ამორფულ მდგომარეობაში.
- ნახევარგამტარების წინააღობა დამოკიდებულია გარე ფაქტორებზე: ტემპერატურასა და ნახევარგამტარის ზედაპირის განათებულობაზე: ტემპერატურისა და განათებულობის მომატებით ნახევარგამტარის წინააღობა მცირდება.
- ნახევარგამტარები სწორედ წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათით განსხვავდება ლითონებისგან: ნახევარგამტარების წინააღობა ტემპერატურის მომატებისას მცირდება.

ნახევარგამტარული დიოდი – ნახევარგამტარული მონყობილობა, რომლის მთავარი დეტალია ნახევარგამტარის კრისტალი p - n გადასასვლელით. მისი მოქმედება ეფუძნება ნახევარგამტარის კრისტალის თვისებას, დენი p - n გადასასვლელზე ერთი მიმართულებით გაატაროს და საწინააღმდეგო მიმართულებით, პრაქტიკულად, არ გაატაროს.

n ტიპის ნახევარგამტარი – ნახევარგამტარი, რომელშიც მუხტის ძირითადი გადამტანებია ელექტრონები, ხოლო ხვრელები – არაძირითადი (ლათინური სიტყვიდან „negativus“ – უარყოფითი).

ნეიტრონი – უმუხტო, ნეიტრალური ნაწილაკი, რომელიც შედის ატომის ბირთვის შემადგენლობაში.

- ნეიტრონის მუხტი 0-ის ტოლია, ხოლო მასა 1838,7-ჯერ მეტია ელექტრონის მასაზე.

ნაჯერი დენი – ძაბვის გარკვეულ $U_{\text{ნაჯ}}$ მნიშვნელობაზე, აირის მთელ მოცულობაში წამში წარმოქმნილი ყველა დამუხტული ნაწილაკი იმავე დროში ელექტროდებამდე აღწევს. დენი მეტად აღარ გაიზრდება და ნაჯერი ხდება. თუ იონიზატორის მოქმედება შეწყდება, განმუხტვაც შეწყდება (თუ აირში იონთა სხვა წყარო არ არის).

ო

ომი გეორგ ზიმონ (1789 – 1854) – გერმანელი ფიზიკოსი. დაადგინა კანონი, რომელიც ასახავს გამტარში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულებას გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვასა და გამტარის წინააღობაზე. კანონს მის პატივსაცემად ომის კანონი ეწოდა.

ომი – წინააღობის ერთეული SI-ში. 1 ომი ისეთი გამტარის წინააღობაა, რომელშიც 1 ამპერი დენი გადის იმ დროს, როცა გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა 1 ვოლტია.

პრაქტიკაში გვხვდება წინააღობის სხვა ერთეულებიც:

1 კილოომი (კომი) = 10^3 ომი; 1 მეგაომი (მგომი) = 10^6 ომი.

ომის კანონი წრედის უბნისათვის – წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებზე არსებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია უბნის წინააღობისა:

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

ომის კანონი ჩაკეტილი წრედისთვის – დენის ძალა ჩაკეტილ წრედში პირდაპირპროპორციულია დენის წყაროს ემძ-ისა და უკუპროპორციულია წრედის შიგა და გარე წინააღობათა ჯამისა

ანუ, წრედის სრული წინააღობისა: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$

პ

პარალელური შეერთება გამტარების – გამტარებს შემაერთებული სადენებით ისე აერთებენ, რომ გამტარების ერთი ბოლო წრედის ერთ ნერტილთანაა მიერთებული, ხოლო მეორე ბოლო – მეორე ნერტილთან. გამტარების პარალელური შეერთებისას დენის წყაროს პოლუსებიდან გამოძავალი შემაერთებული სადენები განშტოვდება.

p ტიპის ნახევარგამტარი – ნახევარგამტარი, რომელშიც „ხვრელების“ კონცენტრაცია თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციას აღემატება (ლათინური სიტყვიდან „positivus“ – დადებითი).

პირდაპირი ჩართვა –

- **ვაკუუმიური დიოდის:** დენის წყაროს დადებით პოლუსთან მიერთებულია „ცივი“ ელექტროდი (ანოდი), უარყოფით პოლუსთან კი – „ცხელი“ ელექტროდი (კათოდი). დიოდი პირდაპირი ჩართვისას დენს ატარებს.

- **p-n გადასასვლელზე ნახევარგამტარის კრისტალში:** p ტიპის ნახევარგამტარი დენის წყაროს დადებით პოლუსთანაა მიერთებული, n ტიპისა კი – დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან.

- პირდაპირი ჩართვისას p-დან n-ის მიმართულებით მნიშვნელოვანი დენი გაივლის: პირდაპირი ჩართვისას ნახევარგამტარის კრისტალის წინააღობა მცირეა, გამტარობა კი – დიდი.

პლაზმა – ნაწილობრივ ან სრულად იონიზირებული აირი, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების სიმკვრივე (სიგრძის, ფართობის ან მოცულობის ერთეულში მუხტის რაოდენობა) პრაქტიკულად ერთნაირია.

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 წერტილში მოთავსებული ერთეულოვანი მუხტის ენერგია. პოტენციალი Φ ასოთი აღინიშნება და ასე გამოითვლება: $\Phi = \frac{W}{q}$.

- ერთგვაროვან ელექტროსტატიკურ ველში იმ წერტილის 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_p), რომელიც გამოითვლება ფორმულით: $W_p = qEd$.

- 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.

რ

რეზისტორი – წრედის ელემენტი, რომელიც წრედში მოცემულ (ნომინალურ) წინაღობას ქმნის. გამოიყენება წრედში დენის ძალის რეგულირებისთვის. მას ხშირად, უბრალოდ, „წინაღობასაც“ უწოდებენ.

რეოსტატი – ხელსაწყო, რომლის წინაღობის ცვლილება შესაძლებელია თანდათან და მას წრედში დენის ძალის რეგულირებისთვის იყენებენ.

ს

საკუთარი გამტარობა ნახევარგამტარის – სუფთა (მინარეგების გარეშე) ნახევარგამტარის ელექტრონული და ხვრელური გამტარობა, რომელიც ჩვეულებრივ დიდი არა არის, რადგან ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია დაბალია.

სიმძლავრე დენის – გვიჩვენებს, რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული დენი დროის ერთეულში (რა რაოდენობის ელექტრულ ენერგიას მოიხმარს/ხარჯავს ელექტრომომხმარებელი).

- დენის სიმძლავრე გამოითვლება ფორმულით: $P = IU = I^2 R = U^2 / R$
- SI-ში სიმძლავრის ერთეული 1 ვატი (ვტ, W). პრაქტიკაში სიმძლავრის უფრო მსხვილი, ვატის ჯერადი ერთეულები გამოიყენება:

1 ჰექტოვატი (ჰვტ) = 10^2 ვტ;

1 კილოვატი (კვტ) = 10^3 ვტ;

1 მეგავატი (მგვტ) = 10^6 ვტ;

1 გიგავატი (გვტ) = 10^9 ვტ.

ტ

ტრანზისტორი (ნახევარგამტარული ტრიოდი) ნახევარგამტარული მოწყობილობა, ორი p-n გადასასვლელითა და სამი გამომყვანით, რომლებითაც წრედში ირთვება. ტრანზისტორი გამოიყენება ელექტრული სიგნალის (დენის ძალის, ძაბვის, სიმძლავრის) გენერირებისა და გარდაქმნისთვის, ასევე წრედში წინაღობის ცვლილებისთვის გამოიყენება.

- **უნიპოლარულ ტრანზისტორში** დენი ერთი ნიშნის მუხტის გადამტანებით (ან მხოლოდ ელექტრონებით ან მხოლოდ ხვრელებით) აღიძვრება;
- **ბიპოლარულ ტრანზისტორში** დენი ორივე ნიშნის მუხტის გადამტანებით (ელექტრონებითა და ხვრელებით) აღიძვრება.

ფ

ფარადეი მაიკლ (1791–1867) – ინგლისელი მეცნიერი.

ფარადეის კანონი ელექტროლიზისთვის – ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე Δt დროის განმავლობაში გამოყოფილი ნივთიერების მასა დენის ძალისა და დროის პროპორციულია: $m = k I \Delta t$.

- ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე Δt დროის განმავლობაში გამოყოფილი ნივთიერების მასა ამ დროში ელექტროლიტში გამავალი მუხტის პირდაპირპროპორციულია.

$$m = k I \Delta t = k q$$

k პროპორციულობის კოეფიციენტი ნივთიერების გვარობაზე დამოკიდებული და მოცემული ნივთიერებისთვის მუდმივი სიდიდეა. k -ს ნივთიერების **ელექტროქიმიური ეკვივალენტი** ჰქვია.

ფარადეის მუდმივა – ელემენტარული მუხტისა (e) და ავოგადროს რიცხვის (N_A) ნამრავლს ფარადეის მუდმივა ჰქვია. აღინიშნება F -ით: $F = e N_A \approx 96500$ კ/მოლი.

- ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად ტოლია მუხტისა, რომელიც უნდა გავიდეს ელექტროლიტში, რომ ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა რიცხობრივად გაუტოლდეს მოლური მასის შეფარდებას ვალენტობასთან;
- $F = e N_A$ ანუ, ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად ტოლია 1 მოლი ელექტრონების მუხტის.

ფოტორეზისტორი – ნახევარგამტარული მოწყობილობა, რომელიც ნახევარგამტარის წინააღობის განათებულობაზე დამოკიდებულებას ეფუძნება: განათებულობის მომატებისას ფოტორეზისტორის წინააღობა მცირდება. რეაგირებს განათებულობაზე. მას იყენებენ ქუჩის განათებებში, კარების ავტომატური გაღება-დახურვისთვის, მეტროს ტურნიკეტებში (მოწყობილობა, რომელიც ხალხის ნაკადს არეგულირებს, უშვებს მხოლოდ ერთ ადამიანს) და ა.შ.

ფრანკლინი ბენჯამინ (1706 – 1790) – ამერიკელი სახელმწიფო და პოლიტიკური მოღვაწე, დიპლომატი, ამერიკის შეერთებული შტატების დამოუკიდებლობის დეკლარაციისა და კონსტიტუციის ერთ-ერთი შემოქმედი, გამომგონებელი, ფიზიკოსი. ფრანკლინი ყველა მიმართულებით იკვლევდა მოვლენებს, დაწყებული მყარი სხეულების თბოგამტარობით, დამთავრებული ბგერის გავრცელებით ჰაერში და წყალში. თუმცა განსაკუთრებული წარმატება და საყოველთაო აღიარება მას, როგორც მეცნიერს, ელექტრული მოვლენების კვლევამ მოუტანა. ის იყო პირველი, რომელმაც დაამტკიცა, რომ ელვას ელექტრული ბუნება აქვს.

შ

შექცეული ჩართვა –

- **ვაკუუმური დიოდის:** დენის წყაროს დადებით პოლუსთან მიერთებულია „ცხელი“ ელექტროდი (ანოდი), უარყოფით პოლუსთან კი „ცივი“ ელექტროდი. შექცეული ჩართვისას დიოდი დენს არ ატარებს.
- **p-n გადასასვლელზე ნახევარგამტარის კრისტალში:** p ტიპის ნახევარგამტარი დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთანაა მიერთებული, n ტიპის ნახევარგამტარი კი – დენის წყაროს დადებით პოლუსთან. p-n გადასასვლელზე შექცეული ჩართვისას n-დან p-ისკენ უმნიშვნელო დენი გაივლის: შექცეული ჩართვისას ნახევარგამტარის კრისტალის წინააღობა დიდია, გამტარობა – მცირე.

d

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.

e

წინალობა – გამტარის ძირითადი ელექტრული მახასიათებელი. ნებისმიერი გამტარი მასში გამავალ დენს აფერხებს, რადგან მას გარკვეულ წინააღმდეგობას უწევს.

გამტარის წინალობა გამოითვლება ფორმულით

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

სადაც l გამტარის სიგრძეა, S განივკვეთის ფართობია, ხოლო ρ პროპორციულობის კოეფიციენტი.

წრედი ელექტრული – დენის წყარო, შემაერთებული გამტარები და ელექტრომომხმარებლები. ელექტრულ წრედში ორი უბანი, გარე და შიგა უბანი გამოიყოფა:

- წრედის გარე უბანს, ანუ გარე წრედს, შემაერთებული სადენები და ელექტრომომხმარებელი ხელსაწყოები ქმნის;
- წრედის შიგა უბანი (შიგა წრედი) კი დენის წყაროს შიგნითაა, სადაც გარე ძალების მიერ მუხტების გაცალკევებაზე მუშაობა სრულდება.

e

„ხვრელი“ – ნახევარგამტარის კრისტალში ის ადგილი, რომელიც სავალენტო ელექტრონმა კოვალენტური კავშირის გაწყვეტისას დატოვა. ადგილი ელექტრულად ნეიტრალური აღარ არის: იქ „ხვრელი“ ჩნდება, რომელსაც ელექტრონი აკლია. „ხვრელი“ დადებითად დამუხტული თავისუფალი ნაწილაკის მსგავსად იქცევა.

ჟ

ჯოული – მუშაობის, ენერგიის ერთეული SI-ში: 1 ჯ = 1 ნ·მ;

ჯოულ-ლენცის კანონი – დენიანი გამტარის მიერ გარემოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია დენის ძალის კვადრატის, გამტარის წინალობისა და დროის იმ შუალედის ნამრავლის, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადის: $Q = I^2 R t$.

კანონი ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად დაადგინა 1841 წელს, ინგლისელმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა, ჯეიმს პრესკოტ ჯოულმა და 1842 წელს, გერმანელმა ფიზიკოსმა, ჰენრიხ ფრიდრიხ ემილ ლენცმა.

თავის შემაჯავებელი ტესტების პასუხები

ტესტი №1

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1. ა; | 2. ბ; | 3. გ; | 4. ბ; | 5. ა; |
| 6. გ; | 7. გ; | 8. ბ; | 9. ა; | 10. ა; |
| 11. ა; | 12. დ; | 13. ა; | 14. ბ; | 15. დ; |
| 16. ბ; | 17. გ; | 18. გ; | 19. დ; | 20. ბ. |

ტესტი №2

- | | | | | | | | |
|-------|-------|--------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1. ა; | 2. ა; | 3. ა I; ბ IV; გ IV; დ II; ე II; ვ V. | 4. დ; | | | | |
| 5. გ; | 6. ბ; | 7. 1; | 8. გ; | 9. ბ; | 10. ბ; | 11. დ; | 12. ა. |

დამატებითი კითხვების, ამოცანების პასუხები

თავი I

§ 1.2.

13. 0,0012 წმ.
14. 180 კ
15. 900 კ
16. $I_{\text{ქურა}} > I_{\text{ნათ}}$ 5-ჯერ.
17. $I_2 > I_1$ 2-ჯერ.
18. 480 ა
19. $5 \cdot 10^{-10}$ წმ
20. $6 \cdot 10^{20}$
21. 20 გ
22. 180 მკჯ
23. 50 კ
24. 12
25. 3 წთ 20 წმ

§ 1.3.

10. 10^{23} სმ⁻³
11. $2 \cdot 10^{-8}$ კგ
12. 9 წთ 32 წმ

§ 1.4.

16. 2 გ;
17. 2,5 ომი
18. 2 ა
19. 600 ჯ
20. 83 გ

21. 4 ვ
22. $2,7 \cdot 10^3$ ვ
- 23.
24. $1,5 \cdot 10^{20}$

§ 1.5.

10. ა) მეორის მეტია 5 ჯერ.
11. $R_{\text{ს}} < R_{\text{რ}}, \approx 6$ -ჯერ
12. ა) $\approx 1,3$ ომი
ბ) $\approx 6,8$ ომი
გ) პას: 1,6 ომი
დ) 0,24 ომი
13. ა) 18 მ
ბ) 1 კმ
14. ა) $0,765 \text{ მმ}^2$
ბ) $0,16 \text{ მმ}^2$
15. 140 მ
16. $0,56 \text{ მმ}^2$
17. ≈ 10 ამპერი.
18. ≈ 69 ვ
19. 3,2 ვ
20. 2 ა
21. 18 მ
22. 1 კმ
23. $0,765 \text{ მმ}^2$
24. $0,16 \text{ მმ}^2$
25. 236 მა
26. $\approx 4,9 \cdot 10^{-4}$ მ/წმ.
- 27.

1		1 ომი
2		22 კომი
3		1 მომი

§ 1.6.

7. 556°C
9. 1800°C
10. $\approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

§ 1.7.

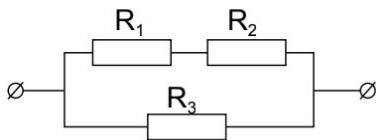
3. 6,31 ომი
4. 24 ომი
5. 3 ვ, 24 ვ; 27 ვ.
8. 4 ა
15. 90 და 30 ვ.

§ 1.8.

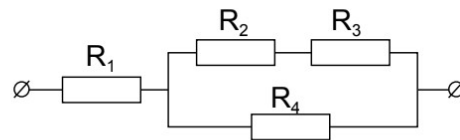
2. ა) $40/3$ ომი.
ბ) 12 ვ; 12 ვ.
გ) 6 ა; 2 ა; 4 ა.
4. ა) 100 ომი.
ბ) 200 ვ; 200 ვ.
გ) 2 ა; 1 ა; 1 ა.
5. ა) $10/7$ ომი.
ბ) 36 ვ; 36 ვ; 36 ვ.
გ) 0,6 ა; 1 ა; 0,5 ა, 2,1 ა.
9. 16 ომი
10. 0,25 ა; 1 ა

§ 1.9.

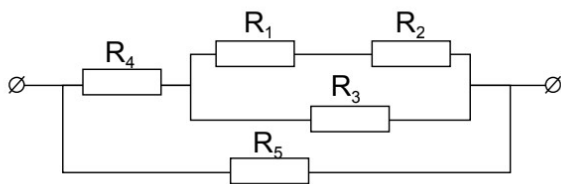
9.



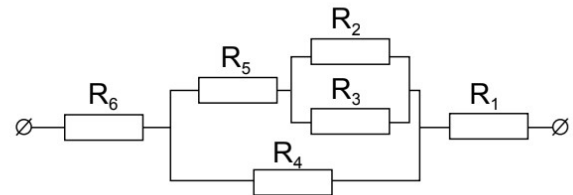
ა) $R_{\text{სრ}} = 1,6$ ომი



ბ) $R_{\text{სრ}} = 5$ ომი

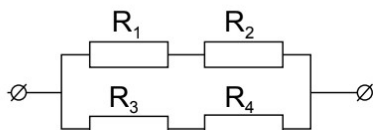


გ) $R_{\text{სრ}} = 0,5$ ომი

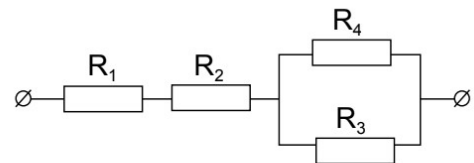


დ) $R_{\text{სრ}} = 2,6 R$

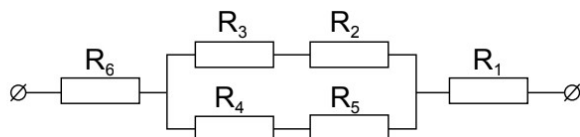
სურ. 1.15



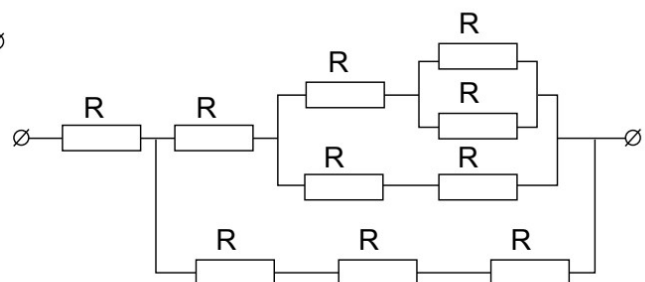
ა) $R_{\text{სრ}} = 2,1$ ომი



ბ) $R_{\text{სრ}} = 5$ ომი



გ) $R_{\text{სრ}} = 5$ ომი



დ) $\frac{73}{34} R$

სურ. 1.16

14. $R_0 = r / (I / I_0 - 1)$
15. $R_0 = (U / U_0 - 1) r$
16. პარალელურად უნდა მიუერთდეს 0,1 ომი წინაღობა.
17. 4,6 ა
18. მიმდევრობით უნდა მიუერთოთ 6 კომი.
19. მიმდევრობით უნდა მიუერთდეს 20 კომი
20. $\approx 50\text{ვ}$.

§ 1.10.

10. 432 კჯ = 120 ვტ · სთ.
11. 13 მჯ = 3,6 კვტ · სთ.
13. 25 მ

§ 1.11.

6. 60 კჯ.
7. 2 ა.
8. ვარვარების ნათურა ხარჯავს 3,45 ლარს, ლუმინესცენციური 69 თეთრს, 5 ჯერ ნაკლებს, დიოდური 34,5 თეთრს.
12. $\ell = \pi d^2 Q / 4 \rho l t$.

§ 1.12.

1. 52 წთ.
2. $\eta = 50\%$.

§ 1.13.

15. $\approx 18,75$ ვტ.

§ 1.14.

6. $n = 110$.

თავი II

§ 2.1.

10. 2 სთ.
11. $m = kA / U$.
12. 3,2 გ.

§ 2.2.

16. 0,3 მგვ/მ; $2,3 \cdot 10^6$ მ/წმ.
17. 1,8 მმ.

§ 2.3.

6. $\approx 8,6$ მმ.

§ 2.4.

11. $t = d \sqrt{\frac{2m}{Ue}} \approx 1,6 \cdot 10^{-10}$ წმ

§ 2.5.

9. 3-ჯერ გაიზარდა

ფიზიკურ სიდიდეთა სხრილები

ნაწილაკი	მუხტი	მასა	მასა ატომურ ერთეულებში (მაე)
ელექტრონი	-1 $-1,6 \cdot 10^{-19}$ კ	$9,11 \cdot 10^{-28}$ 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 კუთრი წინაღობა 20°C ტემპერატურაზე, ომი $\cdot \text{მმ}^2/\text{მ}$ ან 10^{-6} ომი $\cdot \text{მ}$.

ვერცხლი	0,016	რკინა	0,10	ნიქრომი (Ni, Fe, Cr)	1,1
სპილენძი	0,017	ტყვია	0,21	გრაფიტი	1,3
ოქრო	0,024	ვერცხლისწყალი	0,96	ფაიფური	10^{19}
ალუმინი	0,028	კონსტანტანი (Cu, Ni)	0,50	ებონიტი	10^{20}
ვოლფრამი	0,055	ნიკელინი (Fe, Co, Sb, S)	0,40	ქიმიურად სუფთა წყალი	10^{20}

წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, α , ($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$

პლატინა	0,0036	მანგანი (Cu, Ni, Mn)	0,00002
ვერცხლი	0,0038	კონსტანტანი (Cu, Ni)	0,00003
სპილენძი	0,0039	ნიკელინი (Fe, Co, Sb, S)	0,0001
ოქრო	0,0034	ნიქრომი (Ni, Fe, Cr)	0,0004
ალუმინი	0,0039	ვერცხლისწყალი	0,0009
ვოლფრამი	0,0045	გრაფიტი	- 0,0005
რკინა	0,0065	სილიციუმი	- 0,07

ელექტროქიმიური ექვივალენტი, მგ/კ (10 $^{-6}$ კგ/კ)

ალუმინი	0,093	ნიკელი	0,30
წყალბადი	0,0104	ვერცხლი	1,12
ჟანგბადი	0,083	ქრომი	0,18
სპილენძი	0,33	თუთია	0,34

ცდომილებების გამოთვლა

ფორმულა	აბსოლუტური ცდომილება	ფარდობითი ცდომილება
$C = A \pm B$	$\Delta C = \Delta A + \Delta B$	
$C = A \cdot B$	$\Delta C = \Delta A \cdot B + A \cdot \Delta B$	$\epsilon_C = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} = \epsilon_A + \epsilon_B$
$C = \frac{A}{B}$	$\Delta C = \frac{\Delta A \cdot B + A \cdot \Delta B}{B^2}$	$\epsilon_C = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} = \epsilon_A + \epsilon_B$

დაწართი 1. ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულულის ცხრილი

Legend:

- ტუტე ლითონი (Alkali metals)
- ლითონი (Alkaline earth metals)
- ტუტეტიკა ლითონი (Transition metals)
- ამფოტერული ლითონი (Amphoteric metals)
- არალოთონი (Non-metals)
- ინერტული პირი (Noble gases)

Periodic Table Data (Selected Elements):

Element	Symbol	Atomic Number	Group	Oxidation States
Hydrogen	H	1	1	+1
Helium	He	2	18	0
Lithium	Li	3	1	+1
Beryllium	Be	4	2	+2
Boron	B	5	13	+3
Carbon	C	6	14	+4
Nitrogen	N	7	15	+5, +3, -3
Oxygen	O	8	16	+2, -2
Fluorine	F	9	17	+1, -1
Neon	Ne	10	18	0
Sodium	Na	11	1	+1
Magnesium	Mg	12	2	+2
Aluminum	Al	13	13	+3
Silicon	Si	14	14	+4
Phosphorus	P	15	15	+5, +3, -3
Sulfur	S	16	16	+6, +4, -2
Chlorine	Cl	17	17	+7, +5, -1
Argon	Ar	18	18	0
Potassium	K	19	1	+1
Calcium	Ca	20	2	+2
Scandium	Sc	21	3	+3
Titanium	Ti	22	4	+4
Vanadium	V	23	5	+5, +4, +3, +2, -1
Chromium	Cr	24	6	+6, +3, +2
Manganese	Mn	25	7	+7, +6, +4, +3, +2, -1
Iron	Fe	26	8	+3, +2, +1
Cobalt	Co	27	9	+3, +2, +1
Nickel	Ni	28	10	+2, +1
Copper	Cu	29	11	+2, +1
Zinc	Zn	30	12	+2
Gallium	Ga	31	13	+3
Germanium	Ge	32	14	+4, +3, +2
Arsenic	As	33	15	+5, +3, +2, -3
Selenium	Se	34	16	+6, +4, +2, -2
Bromine	Br	35	17	+7, +5, +3, -1
Krypton	Kr	36	18	0
Rubidium	Rb	37	1	+1
Sr	Sr	38	2	+2
Yttrium	Y	39	3	+3
Zirconium	Zr	40	4	+4
Niobium	Nb	41	5	+5, +4, +3, +2, -1
Molybdenum	Mo	42	6	+6, +5, +4, +3, +2, -1
Technetium	Tc	43	7	+7, +6, +4, +3, +2, -1
Ruthenium	Ru	44	8	+4, +3, +2, +1
Rhodium	Rh	45	9	+3, +2, +1
Palladium	Pd	46	10	+4, +3, +2, +1
Silver	Ag	47	11	+1
Cadmium	Cd	48	12	+2
Indium	In	49	13	+3
Sn	Sn	50	14	+4, +2, -4
Sb	Sb	51	15	+5, +3, -3
Te	Te	52	16	+6, +4, +2, -2
Iodine	I	53	17	+7, +5, +3, -1
Xenon	Xe	54	18	0
Cesium	Cs	55	1	+1
Barium	Ba	56	2	+2
Lanthanum	La	57	3	+3
Cerium	Ce	58	4	+4, +3, +2, +1
Praseodymium	Pr	59	5	+3, +2, +1
Neodymium	Nd	60	6	+3, +2, +1
Promethium	Pm	61	7	+3, +2, +1
Samarium	Sm	62	8	+3, +2, +1
Europium	Eu	63	9	+3, +2, +1
Gadolinium	Gd	64	10	+3, +2, +1
Terbium	Tb	65	11	+3, +2, +1
Dysprosium	Dy	66	12	+3, +2, +1
Ho	Ho	67	13	+3, +2, +1
Er	Er	68	14	+3, +2, +1
Tm	Tm	69	15	+3, +2, +1
Yb	Yb	70	16	+3, +2, +1
Lu	Lu	71	17	+3, +2, +1
Actinium	Ac	89	3	+3
Th	Th	90	4	+4, +3, +2, +1
Pa	Pa	91	5	+5, +4, +3, +2, +1

დანართი II

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 იწვევს 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?	