

რუსუდან ქანთარია
ლეილა ჩიჩუა
თეიმურაზ ჩიჩუა

ფიზიკა

10

მოსწავლის წიგნი

მეორე ნაწილი



თბილისი, 2022

რუსუდან ქანთარია, ლეილა ჩიჩუა, თეიმურაზ ჩიჩუა

ფიზიკა

X კლასი, მოსწავლის წიგნი

მეორე ნაწილი

რედაქტორები:

თეიმურაზ გაჩეჩილაძე

აკად. ილია ვეკუას სახელობის ფიზიკა-მათემატიკის ქალაქ თბილისის
42-ე საჯარო სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი

დინა ქიმერიძე

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ნუგზარ მოსულიშვილი

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის მიმართულების
მეცნიერ-თანამშრომელი

კომპიუტერული უზრუნველყოფა **მანანა კვერნაძე**

© გამომცემლობა „კლიო“, 2022

© რუსუდან ქანთარია, ლეილა ჩიჩუა, თეიმურაზ ჩიჩუა, 2022

ყველა უფლება დაცულია

პირველი გამოცემა (2022)



შპს „გამომცემლობა კლიო“

აღმაშენებლის გამზ., №181-2,

თბილისი, 0112

ტელ.: (+995 32) 234 04 30

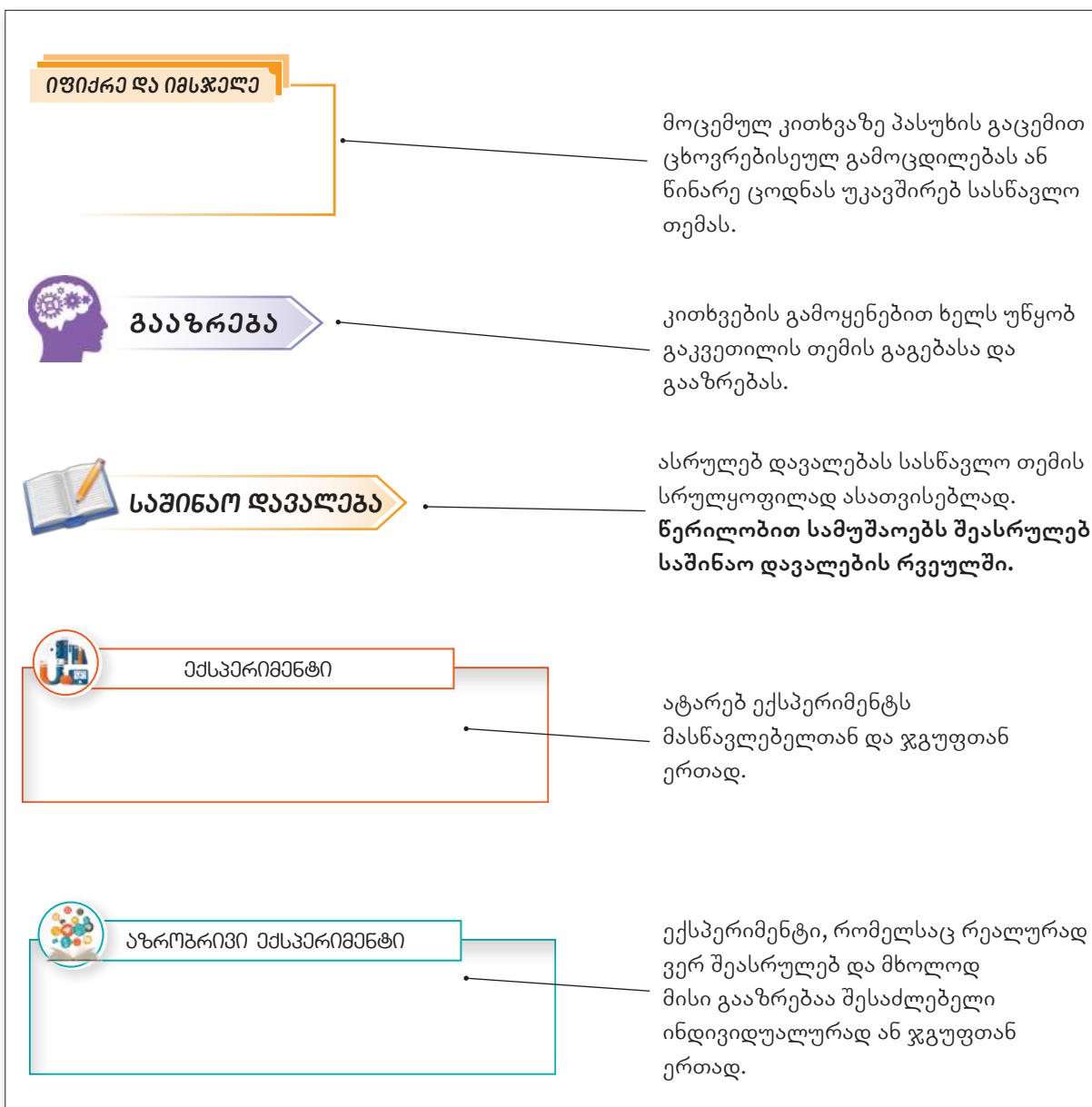
E-mail: book@klio.ge; www.klio.ge

სარჩევი

თავა 2. მუდმივი დენის კანონები

2.1. ელექტრული დენი. დენის ძალა.....	6
2.2. ელექტრული წრედი	8
2.3. ელექტრული წრედის ექსპერიმენტული კვლევა	11
2.4. ძაბვა	12
2.5. ელექტრული დენის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების ექსპერიმენტული კვლევა	14
2.6. გამტარების წინაღობა. ომის კანონი წრედის უბნისათვის.....	15
2.7. ექსპერიმენტული კვლევა	17
2.8. გამტარების მიმდევრობითი შეერთება	18
2.9. გამტარების პარალელური შეერთება.....	20
2.10. ელექტრული წრედის ექსპერიმენტული კვლევა	22
2.11. ამოცანების ამოხსნა	23
2.12. გამტარების წინააღობის ექსპერიმენტული კვლევა.....	26
2.13. კუთრი წინააღობა	27
2.14. ელექტრული დენის მუშაობა და სიმძლავრე.....	29
2.15. ჯოულ-ლენცის კანონი	31
2.16. დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა.....	34
2.17. ომის კანონი სრული წრედისათვის	38
2.18. ამოცანების ამოხსნა	40
2.19. ელექტრული დენი ლითონებში	42
2.20. ელექტრული დენი სითხეებში.....	43
2.21. ელექტრული დენის ექსპერიმენტული კვლევა სითხეებში.....	46
2.22. გამტარის წინააღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე	47
2.23. ელექტრული დენი აირში.....	50
2.24. ელექტრული დენი ვაკუუმში. ვაკუუმიანი დიოდი.....	53
2.25. ნახევარგამტარები. ნახევარგამტარების საკუთარი გამტარობა.....	55
2.26. ნახევარგამტარების ელექტრული თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა...	57
2.27. ნახევარგამტარების მინარევული გამტარობა.....	58
2.28. თემა 2-ის შეჯამება	64
ეს ყველამ უნდა იცოდეს!	66
დანართი 1.....	67
დანართი 2.....	68
საგნობრივი საძიებელი	69
საშინაო დავალების პასუხები	70

წიგნში გამოყენებული პირობითი ნიშნები



თემა 2. მუდმივი დენის კანონები



შეისწავლი:

- ელექტრულ დენს და მის მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს;
- ომის კანონს წრედის უბნისათვის;
- გამტარების მიმდევრობით და პარალელურ შეერთებას;
- ელექტრული დენის მუშაობასა და სიმძლავრეს, ჯოულ-ლენცის კანონს;
- ელექტრომომძრავებელ ძალას და ომის კანონს ჩაკეტილი წრედისათვის;
- ელექტრულ დენს სხვადასხვა გარემოში.

შეძლებ და დაეუფლები:

- ელექტრული გამტარებლობის დახასიათებას ნივთიერების აგებულების მიხედვით;
- მსჯელობას ლითონებში, აირებსა და სითხეებში დენის წარმოქმნის მექანიზმის შესახებ;
- წრედების აწყობას გამტარების პარალელური და მიმდევრობითი შეერთების გამოყენებით;
- მსჯელობას დენის მუშაობისა და სიმძლავრის შესახებ;
- პრობლემაზე ორიენტირებული ამოცანების ამოხსნას;
- მსჯელობას ზეგამტარობის მოვლენის შესახებ;
- მსჯელობას n და p ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტის შესახებ მისი ტექნიკაში გამოყენების თვალსაზრისით.

2.1.

ელექტრული დენი. დენის ძალა

იზიარე და იმსჯელე

როგორ შეცვალა დედამიწაზე ადამიანის ყოფიერება ელექტრული ენერგიის წყაროს შექმნამ (სურ. 1)?



სურ. 1



სურ. 2

მე-18 საუკუნის ბოლოს ალესანდრო ვოლტას მიერ მუდმივი დენის წყაროს შექმნამ კაცობრიობის ყოფა რადიკალურად შეცვალა. ეს ტექნიკური პროგრესის დასაწყისი იყო. დედამიწაზე სანთლის შუქი კაშკაშა ელექტრონათურებით შეიცვალა (სურ. 2). კოსმოსიდან ღამით გადაღებულ ფოტოზე კარგად ჩანს ნათურებით განათებული დედამიწა (სურ. 1).

დროთა განმავლობაში ადამიანებმა შექმნეს მაღალტექნოლოგიური ხელსაწყოები, რომლებიც ელექტრულ ენერგიაზე მუშაობენ. ელექტრული ველი გამტარში მუხტების მოძრაობის დროს ელექტრული ენერგიის ხარჯზე ასრულებს მუშაობას.

ელექტრული დენი არის ელექტრული ველის გავლენით მუხტების მიმართული, მონესრიგებული მოძრაობა.

ელექტრული დენის არსებობის აუცილებელი პირობებია — გარემოში (მყარ სხეულში, სითხეში, აირში) თავისუფალი მუხტების არსებობა და ელექტრული ველი (იხ. ფიზიკა X კლ, I ნაწ. გვ.48). თავისუფალი მუხტები ნივთიერებაში ქაოსურად მოძრაობენ (სითბური მოძრაობა) (სურ. 3ა). ელექტრული ველის გავლენით თავისუფალი მუხტები მიმართულ, მონესრიგებულ მოძრაობას იწყებენ და გამტარში ელექტრული დენი წარმოიქმნება (სურ. 3 ბ).

ელექტრული დენი რაოდენობრივად ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით — დენის ძალით.

დენის ძალა (I) არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც განისაზღვრება გამტარის განივკვეთში გამავალი (q) მუხტის ფარდობით (Δt) დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მუხტი გადიოდა.

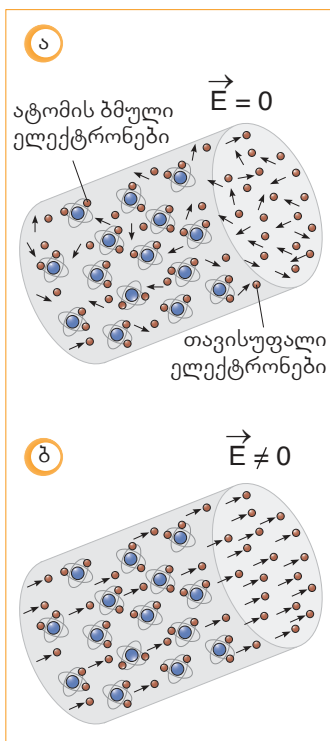
$$I = \frac{q}{\Delta t} \quad (1)$$

SI-ში დენის ძალის ერთეულია **ამპერი**, რაც ფრანგი მეცნიერის ანდრე მარი ამპერის პატივსაცემად ეწოდა.

ერთი ამპერი (ა) არის ისეთი დენის ძალა, როდესაც გამტარის განივკვეთში ერთ წამში ერთი კულონი მუხტი გადის:

$$1 \text{ ა} = 1 \frac{\text{კ}}{\text{წმ}}.$$

დავუშვათ, q მუხტი Δt დროის განმავლობაში გადის წრფივი გამტარის Δl მონაკვეთში, რომელიც შემოსაზღვრულია S ფართობის მქონე განივკვეთებით (სურ. 4). ამ უბანზე q მუხტის მონესრიგებული მოძრაობის საშუალო სიჩქარის მოდული იქნება:



სურ. 3

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (2)$$

თუ მუხტის გადამტანი ნაწილაკების რაოდენობაა მოცულობის ერთეულში n (კონცენტრაცია) და q_0 ერთი ნაწილაკის მუხტი, მაშინ მოცულობის ერთეულში მუხტის სიდიდე იქნება nq_0 , ხოლო $V = S\Delta l$ მოცულობაში მუხტი იქნება $q = q_0 n S \Delta l$. ამიტომ დენის ძალა გამოითვლება ფორმულით:

$$I = \frac{q}{\Delta t} = \frac{q_0 n S \Delta l}{\Delta t}.$$

ფორმულა (2)-ის გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$I = q_0 n S v \quad (3)$$

$$J = \frac{I}{S} = q_0 n v \quad (4)$$

J სიდიდეს ეწოდება დენის სიმკვრივე.

SI-ში დენის სიმკვრივის ერთეულია — $\frac{ა}{მ^2}$.

ირკვევა, რომ ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული, მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე ლოკოკინას სიჩქარეზე მცირეა. ამავე დროს, გამტარში ელექტრული ველი დაახლოებით $c = 300\,000$ კმ/წმ სიჩქარით ვრცელდება. ამიტომ წრედში ჩამრთველის ჩართვისთანავე, ელექტრული ველი ასეთი სისწრაფით მოქმედებს მთელ წრედში არსებულ ყველა თავისუფალ მუხტზე, ისინი პრაქტიკულად ერთდროულად იწყებენ მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას და დენი მომენტალურად აღიძვრება.



ბაზრება

- იმსჯელე, რატომ ინთება ნათურა ჩართვისთანავე, როცა დამუხტული ნაწილაკების მიმართული, მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე საკმაოდ მცირეა?
- მე-5 სურათზე გამოსახული, გამტარში გამავალი მუხტის სიდიდის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკების მიხედვით: ა. იმსჯელე, რომელ გამტარშია მეტი დენის ძალა; ბ. გამოთვალე დენის ძალა თითოეული გამტარისათვის; გ. შეადარე მსჯელობით მიღებული შედეგი ფორმულით გამოთვლილს.

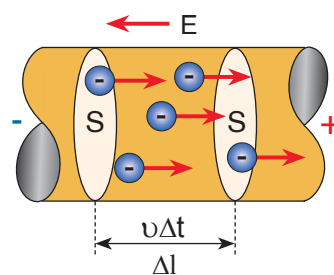


საშინაო დავალება

- რა რაოდენობის ელექტრონი გაივლის ელექტროუთოში 10 წთ-ში, თუ დენის ძალა არის 3 ა?
- გამოთვალე ელექტრონების მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობის სიჩქარე გამტარში, რომლის განივკვეთის ფართობია 5 მმ², დენის ძალაა 10 ა, თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $5 \cdot 10^{28}$ მ⁻³.
- წარმოიდგინე, ევერესტის მთის მწვერვალზე (სიმაღლე 8848 მ) ნათურაა, რომელიც ელექტრული სადენებითაა დაკავშირებული ზღვის დონეზე არსებული ელექტროსადგურის დენის წყაროსთან. გამოთვალე: ა. ჩამრთველის ჩართვისას რა დროში აინთება ნათურა მწვერვალზე; ბ. რა დრო დასჭირდება გამტარში ელექტრონის გადაადგილებას დენის წყაროდან მწვერვალამდე.

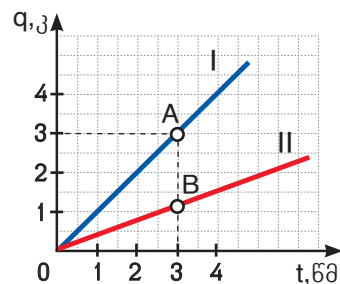


ანდრე მარი ამპერი
(1775 - 1836)



სურ. 4

დენის ძალის
ჯერადი
ერთეულები:
 $1 \text{ მა} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ ა}$
 $1 \text{ მკა} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ ა}$



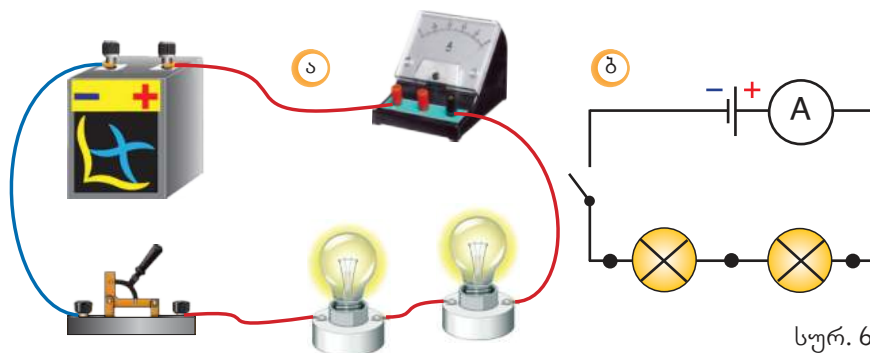
სურ. 5

2.2.

ელექტრული წრედი

იზიარე და იმსჯელე

რატომ გამოსახვენ ელექტრულ წრედებს სქემებით (სურ. 6)?



სურ. 6

დენს, რომლის სიდიდე და მიმართულება დროში არ იცვლება, **მუდმივი დენი** ეწოდება.

ელექტრული დენის მიმართულებად პირობითად მიჩნეულია გამტარში დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულება. ანუ დენის მიმართულება ემთხვევა ელექტრული ძალის მოქმედებით დადებითი მუხტების (მაგ., დადებითი იონების) მოძრაობის მიმართულებას მაღალი პოტენციალის მქონე უბნიდან დაბალი პოტენციალის მქონე უბნისაკენ.

მუდმივ დენს მუდმივი დენის წყარო ქმნის (სურ. 7). არსებობს სხვადასხვაგვარი მუდმივი დენის წყარო: გალვანური ელემენტი, აკუმულატორი, მზის ელემენტი, თერმოელემენტი და სხვ. დენის წყაროს ორი პოლუსი აქვს: დადებითი და უარყოფითი. დადებით პოლუსს მაღალი პოტენციალი აქვს, უარყოფითს კი — დაბალი.

ნებისმიერ დენის წყაროში არაელექტრული ბუნების, მაგ., ქიმიური, მაგნიტური, სინათლის, სითბური მოქმედებით აღძრული, ძალების მოქმედებით ხორციელდება მუხტების განცალკევება და მათი დაგროვება პოლუსებზე.

ელექტრული დენის წყარო და მასთან სადენებით შეერთებული გამტარები ქმნიან ელექტრულ წრედს (სურ. 6 ა).

ელექტრული წრედის ელემენტები აღინიშნება სიმბოლოებით (სურ. 8). ასევე, შესაძლებელია ამ სიმბოლოებით ელექტრული წრედის სქემატურად გამოსახვა (სურ. 6 ბ).



აკუმულატორი



თერმოელემენტი

გალვანური ელემენტი



მზის ელემენტი



სურ. 7

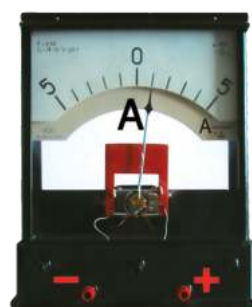


სურ. 8

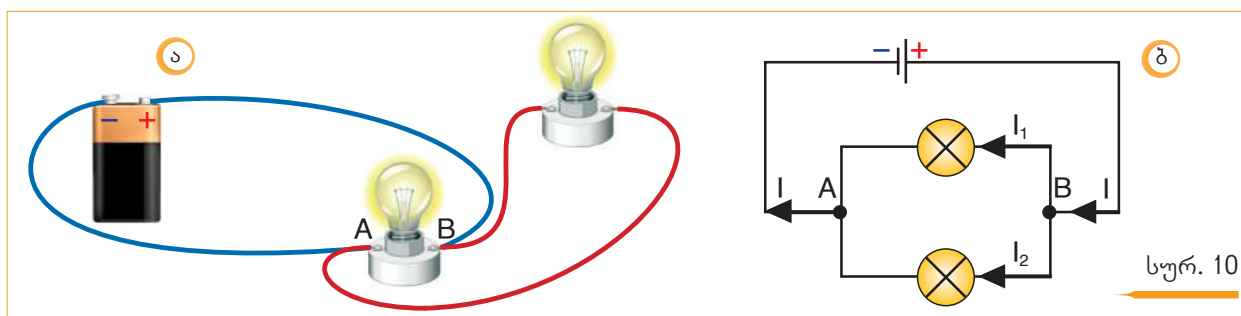
ელექტრული წრედის ელემენტები შეიძლება შეერთებული იყოს მიმდევრობით ან პარალელურად. ასევე, შეიძლება გამტარების შერეული შეერთება.

მიმდევრობით შეერთებისას წრედის ერთი ელემენტის ბოლო უერთდება მეორე ელემენტის დასაწყისს (სურ. 6 ა, ბ). პარალელური შეერთებისას წრედში ჩართული ყველა ელემენტის ერთი ბოლო თავს იყრის ერთ წერტილში (A), ხოლო მეორე — (B) წერტილში (სურ. 10 ა, ბ).

დენის ძალას ზომავენ ხელსაწყო ამპერმეტრით (სურ. 9), რომელიც წრედში მიმდევრობით ირთვება. იდეალურ ამპერმეტრს მცირე წინაღობა აქვს. იგი პრაქტიკულად არ ცვლის წრედში გამავალ დენის ძალას (სურ. 6 ა). მუდმივი დენის ამპერმეტრის ერთ-ერთ მომჭერზე აღნიშნულია „+“ ნიშანი. ეს მომჭერი წრედში ჩართვისას მუდმივი დენის წყაროს დადებით პოლუსთან უნდა იყოს შეერთებული, რათა ხელსაწყო არ დაზიანდეს.



სურ. 9

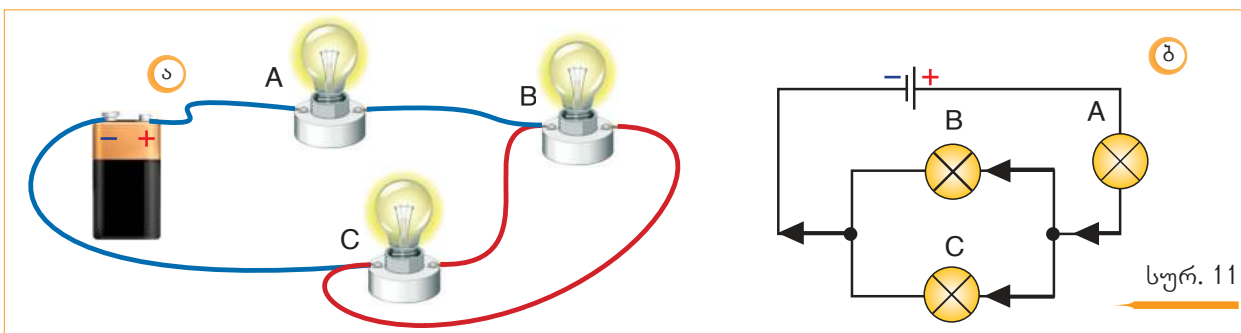


სურ. 10



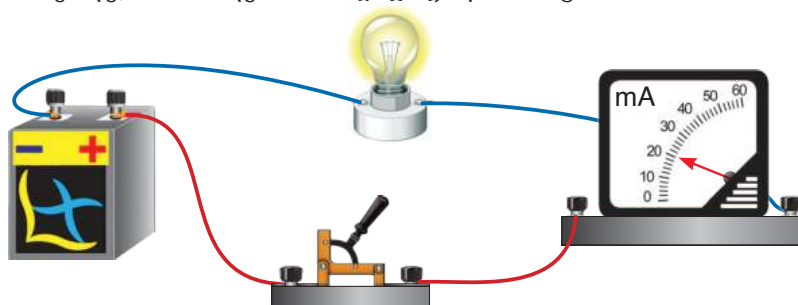
ბაზრება

- მე-11 სურათზე გამოსახულია გამტარების შერეული შეერთების წრედი და შესაბამისი სქემა. იმსჯელე, როგორ არის წრედში ჩართული: ა. A ნთურა; ბ. B და C ნათურები; გ. A, B და C ნათურები?



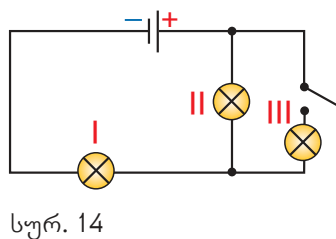
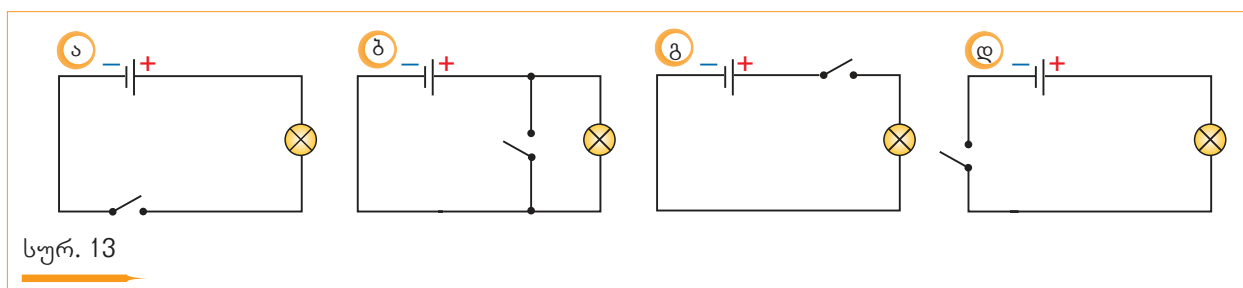
სურ. 11

- იმსჯელე ელექტრული წრედის ელემენტების შესახებ და დახაზე წრედის სქემა (სურ. 12). გამოთვალე, რა რაოდენობის მუხტი გადის ნათურაში 5 წთ-ში.



სურ. 12

3. იმსჯელე, მე-13 სურათზე გამოსახული წრედებიდან რომელ წრედში ანთია ნათურა.

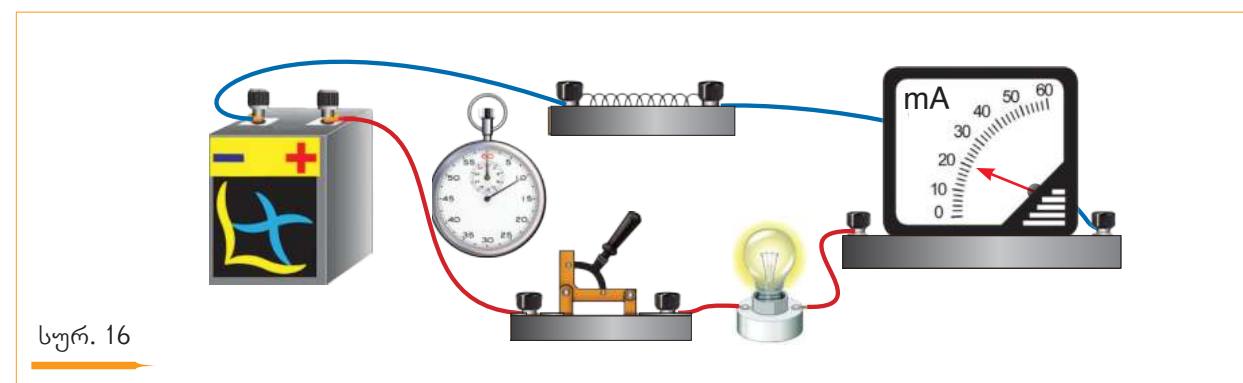
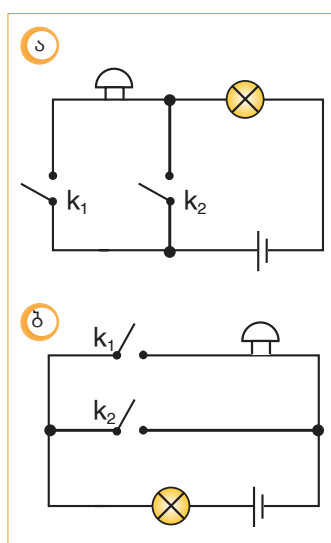


4. მე-14 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით იმსჯელე, რომელი ნათურა ანთია წრედში.



საშინაო დავალება

- ბინას აქვს ორი შემოსასვლელი კარი. როგორი უნდა იყოს თითოეულ კარზე მოთავსებული ჩამრთველის (ლილაკის) ელექტროზართან შეერთების სქემა, რომ შესაძლებელი გახდეს ორივე ლილაკის მეშვეობით ზარის დარეკვა?
- ელექტრული სქემების მიხედვით, როგორ მდგომარეობაში უნდა იყოს k_1 და k_2 ჩამრთველები, რომ: ა. ნათურა ინთებოდეს ზარის რეკვისას; ბ. ნათურა ინთებოდეს მაშინ, როცა ზარი არ რეკავს (სურ. 15 ა, ბ).
- ერთ ნათურაში დენის ძალა 0,5 ა-ია, მეორე ნათურაში კი 10 წთ-ში გადის 540 კ მუხტი. რა თანაფარდობაა დენის ძალებს შორის?
- გამოთვალე დენის ძალა ლითონის გამტარში, რომლის განივკვეთის ფართობია $1,25 \text{ მმ}^2$, თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა 10^{23} სმ^{-3} , ხოლო ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარეა $4 \cdot 10^{-5} \text{ მ/წმ}$.
- დახაზე ელექტრული წრედის სქემა (სურ. 16). ხელსაწყოების ჩვენებების მიხედვით გამოთვალე წრედში გასული მუხტის სიდიდე, თუ წრედის ჩართვისას წამმზომის ჩვენება ნულის ტოლია.





ელექტრული წრედის აწყობა

I. მოცემული გაქვს: ნათურა სადგარით, ორი ჩამრთველი, შემაერთებული სადენები, მუდმივი დენის წყარო (აკუმულატორი ან ჯიბის ფარნის ბატარეა), ელექტროზარი.

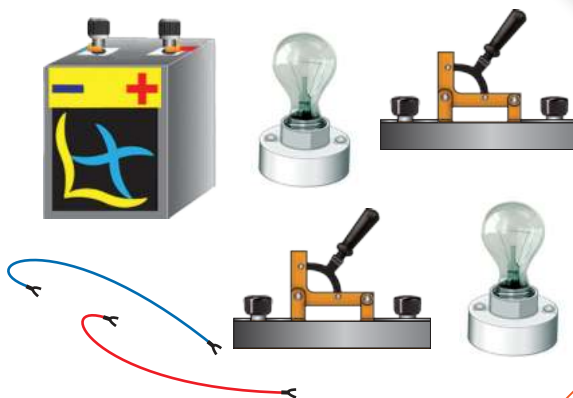
მსვლელობა: სურათზე მოცემული ხელსაწყოების მიხედვით დახაზე სქემა შესაბამისი სიმბოლოების გამოყენებით და ააწყვე წრედი ორი შემთხვევისათვის:

- გამოიყენე მხოლოდ ერთი ჩამრთველი. ელექტროზარი და ნათურა ისე განალაგე, რომ ჩამრთველის ჩართვისას ორივე მათგანი ერთდროულად ჩაირთოს.
- გამოიყენე ორივე ჩამრთველი. წრედში ელექტროზარი და ნათურა ისე განალაგე, რომ ერთი ჩამრთველის ჩართვისას აინთოს ნათურა, ხოლო მეორეს ჩართვისას დარეკოს ზარმა.



II. მოცემული გაქვს: ორი ნათურა სადგარით, ორი ჩამრთველი, შემაერთებული სადენები, მუდმივი დენის წყარო (აკუმულატორი ან ჯიბის ფარნის ბატარეა).

მსვლელობა: დახაზე წრედის სქემა, რომლის მიხედვითაც ერთი ჩამრთველი ჩართავს ერთ ნათურას, ხოლო მეორე – ორივეს ერთად და ააწყვე წრედი.



III. მოცემული გაქვს: ორი ნათურა სადგარით, ორი ჩამრთველი, ელექტროზარი, შემაერთებული სადენები, მუდმივი დენის წყარო (აკუმულატორი ან ჯიბის ფარნის ბატარეა).

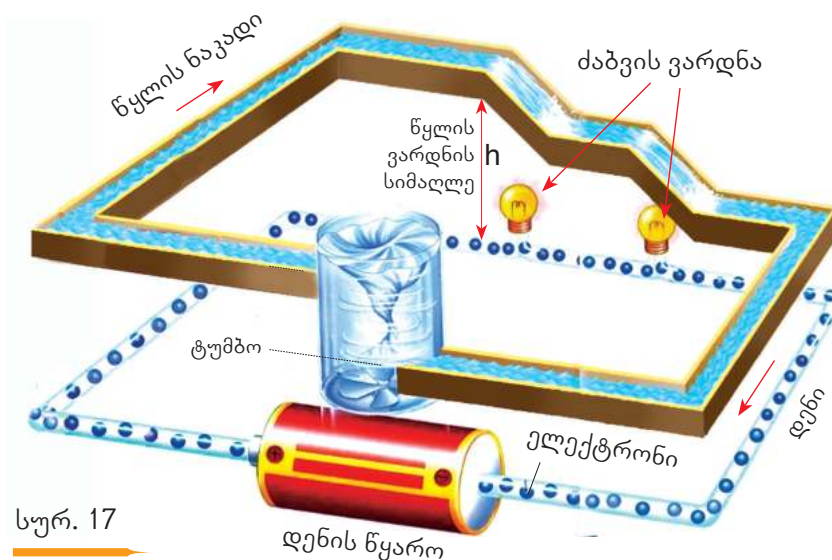
მსვლელობა: დახაზე წრედის სქემა, რომლის მიხედვითაც ერთი ჩამრთველი ჩართავს ერთ ნათურას, ხოლო მეორე – ნათურასა და ზარს. ააწყვე წრედი.



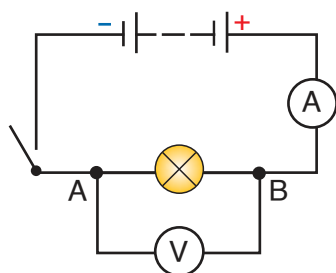
2.4. ▶ ძაბვა

იზიარე და იმეჯელე

რა ანალოგიაა ელექტრულ დენსა და წყლის დინებას შორის (სურ. 17)?



სურ. 17



სურ. 18

ძაბვის ჯერადი და წილადი ერთეულები:
1 კილოვოლტი (1 კვ),
1 მილივოლტი (1 მვ).

1 კვ = 1000 ვ
1 მვ = 0,001 ვ

ანალოგია გრავიტაციული და ელექტრული ველის ზოგიერთ მახასიათებელს შორის

გრავიტაციული ველი	ელექტრული ველი
m	q
g	E
h	d

დენის წყაროს მიერ შექმნილი ელექტრული ველის გავლენით მუხტები გადაადგილდება წრედის უბნის ერთი წერტილიდან მეორეში (მაგ., A-დან B-ში, სურ. 18). ელექტრული ველი მუხტის გადაადგილებისას ასრულებს მუშაობას. მუშაობის შესასრულებლად ელექტრულ ველს გააჩნია ენერგია. ელექტრული ველის ენერგეტიკული მახასიათებელია **ელექტრული ძაბვა (პოტენციალთა სხვაობა)** ან უბრალოდ ძაბვა.

ძაბვა (U) არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გამოითვლება ელექტრული ველის მიერ წრედის ერთი წერტილიდან მეორეში მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობის (A) შეფარდებით ამ მუხტის სიდიდესთან (q).

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

SI-ში ძაბვის ერთეულია 1 ვოლტი (ვ).

ძაბვა ველის ორ წერტილს შორის არის ერთი ვოლტი, თუ ამ წერტილებს შორის 1კულონი მუხტის გადაადგილებაზე 1 ჯოული მუშაობა სრულდება.

$$1\text{ვ} = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კ}}$$

ელექტრული დენის მახასიათებელი სიდიდეების არსის გასააზრებლად შესაძლებელია ანალოგიის გატარება ელექტრულ დენსა და წყლის დინებას შორის.

სიტყვა **დენი**, წარმოიშვა სიტყვიდან — დინება. მიღებში სხვადასხვა სიტყვით მიეძინება, მდინარეში — წყალი, ხოლო გამტარებში — „ელექტრული მუხტი“.

მდინარის დინებისას წყალზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა, რომელიც ასრულებს $A = mgh$ მუშაობას (m წყლის მასაა, g — გრავიტაციული ველის მახასიათებელი სიდიდე (თავისუფალი ვარდნის აჩქარება), h — მანძილი წყლის დონეებს შორის).

ერთგვაროვანი გრავიტაციული და ელექტრული ველის ფიზიკური სიდიდეების ანალოგიიდან გამომდინარე ($m \rightarrow q$, $g \rightarrow E$, $h \rightarrow d$), ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება:

$$A = qU \quad (2), \quad \text{სადაც} \quad U = Ed.$$

ამრიგად, ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია გამტარის განივკვეთში გასული ნაწილაკების ჯამურ მუხტსა და ძაბვაზე ველის ორ წერტილს შორის, რომელთაც განსხვავებული პოტენციალები აქვთ ($U = \phi_1 - \phi_2$).

რაც მეტია წყლის დონეთა სხვაობა (სხვაობა საწყისი და საბოლოო წერტილების პოტენციალურ ენერგიებს შორის), მით მეტია სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. ასევე, რაც მეტია ძაბვა (პოტენციალთა სხვაობა) წრედის უბანზე, მით მეტია ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა.

ძაბვის გასაზომად იყენებენ ხელსაწყო ვოლტმეტრს, რომელიც წრედის უბანზე პარალელურად ირთვება. ის არ ცვლის წრედში გამავალ დენის ძალას, რადგან იდეალურ ვოლტმეტრს ძალიან დიდი წინაღობა აქვს. ვოლტმეტრი პრაქტიკულად არ ატარებს დენს (სურ. 19). მუდმივი დენის ვოლტმეტრის მომჭერი, რომელზეც „+“ ნიშანია აღნიშნული უერთდება მუდმივი დენის წყაროს დადებით პოლუსს.



სურ. 19



ბააზრება

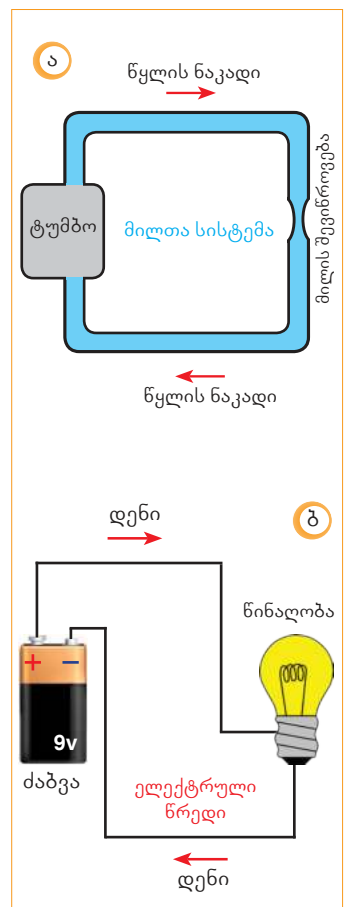
1. იმსჯელე და დაადგინე ანალოგია წრედში გამავალ ელექტრულ დენსა (სურ. 20) და მილში წყლის დინებას შორის. აზრობრივად დააკავშირე მათ შორის შესაბამისობა. შეაყვანე ცხრილი.

1. მუხტის დინება;
2. ძაბვა, რომელსაც ქმნის დენის წყარო;
3. ნათურის წინაღობა;
4. ჩაკეტილი წრედი.

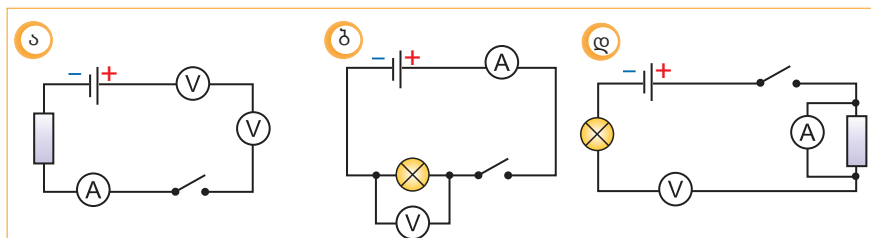
	ა	ბ	გ	დ
1				
2				
3				
4				

- ა. წყლის მიღების ჩაკეტილი სისტემა;
- ბ. მილის შევიწროვებით გამოწვეული წინაღობა;
- გ. წყლის დინება;
- დ. წყლის წნევათა სხვაობა, რომელსაც ქმნის ტუმბო.

2. იმსჯელე, სურათზე გამოსახულ რომელ სქემაზეა სწორად ჩართული ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი (სურ. 21).



სურ. 20



სურ. 21



საშინაო დავალება

1. წრედის უბანზე 2 მკ მუხტის გადაადგილებისას სრულდება 80 მჯ მუშაობა. გამოთვალე ძაბვა წრედის ამ უბანზე.
2. 120 ვ ძაბვისას ნათურის ვარვარების დაფში გადის 50 კ მუხტი. გამოთვალე ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა.

2.5.

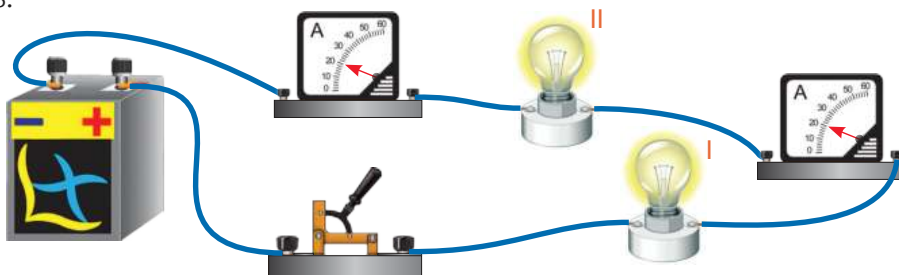
ელექტრული დენის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების ექსპერიმენტული კვლევა



დენის ძალის გაზომვა წრედის სხვადასხვა უბანზე

I. მოცემული გაქვს: მუდმივი დენის წყარო, სხვადასხვანაირი, ორი, სადგარიანი ნათურა (ან რეზისტორი), ორი ამპერმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

მსვლელობა: სურათის მიხედვით დახაზე სქემა და ააწყვე წრედი. მიმდევრობით შეაერთე ნათურები და ამპერმეტრები. ჩართე ჩამრთველი. ამპერმეტრით გაზომე დენის ძალა წრედის სხვადასხვა უბანზე. შეადარე ამპერმეტრის ჩვენებები და გამოიტანე დასკვნა.

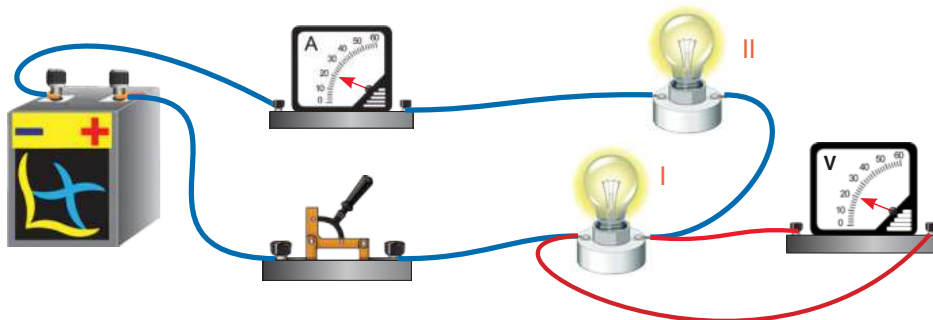


ძაბვის გაზომვა წრედის სხვადასხვა უბანზე

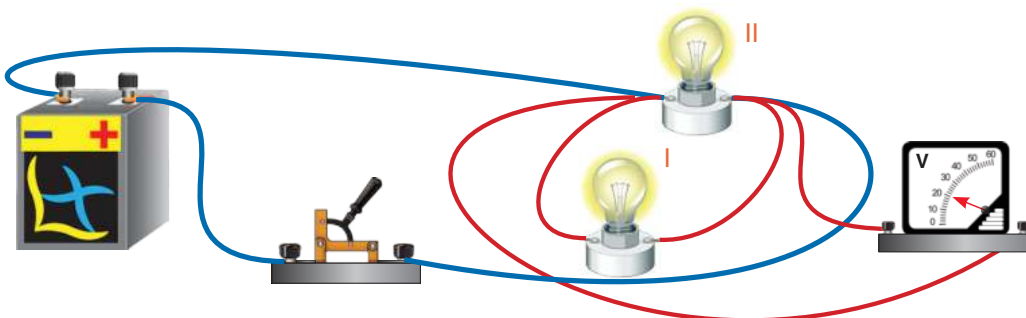
II. მოცემული გაქვს: მუდმივი დენის წყარო, სხვადასხვა წინააღობის ორი ნათურა სადგარიანი (ან რეზისტორი), ვოლტმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

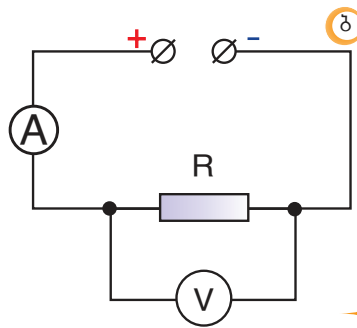
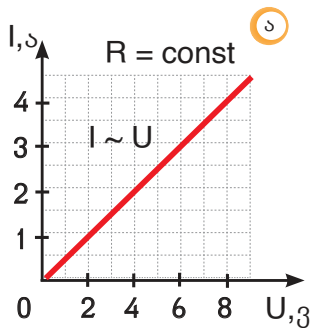
მსვლელობა:

- სურათის მიხედვით დახაზე სქემა და ააწყვე წრედი. ჩართე ჩამრთველი, ვოლტმეტრით გაზომე ძაბვა წრედის სხვადასხვა უბანზე (ჯერ I ნათურაზე, შემდეგ II-ზე). შეადარე ვოლტმეტრის ჩვენებები და გამოიტანე დასკვნა.



- სურათის მიხედვით დახაზე სქემა და ააწყვე წრედი. ჩართე ჩამრთველი, ვოლტმეტრით გაზომე ძაბვა I და II ნათურაზე ერთად. შეადარე ვოლტმეტრის ჩვენება წინა ექსპერიმენტში მიღებულ შედეგს და გამოიტანე დასკვნა.





სურ. 22

იზიქრა და იმსჯელე

რა დამოკიდებულებაა დენის ძალასა და ძაბვას შორის წრედის უბანზე (სურ. 22)?

ნივთიერებებს, რომლებშიც თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია მაღალია ($10^{22} - 10^{23} \text{ სმ}^{-3}$) გამტარები ეწოდება.

ელექტრული დენის კარგი გამტარებია ლითონები, მაგ., ვერცხლი, სპილენძი, ალუმინი, ოქრო.

ნივთიერებებს, რომლებშიც თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია ძალიან დაბალია ($10^5 - 10^{11} \text{ სმ}^{-3}$), იზოლატორები (დიელექტრიკი) ეწოდება.

მაგ., ხე, პლასტმასი, რეზინი კარგი იზოლატორებია.

ნივთიერებებს, რომლებშიც თავისუფალი მუხტების კონცენტრაცია შუალედურია გამტარებსა და დიელექტრიკებს შორის ($10^{10} - 10^{19} \text{ სმ}^{-3}$) და მნიშვნელოვნად იზრდება განათებით, გათბობით ან სხვა ზემოქმედებით, ნახევარგამტარები ეწოდება.

ნივთიერებას, თავისი სტრუქტურის გამო, აქვს თვისება წინააღმდეგობა გაუწიოს მასში გამავალ დენს. გამტარის ამ თვისებას ელექტრულ წინააღობას უწოდებენ.

1826 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა გეორგ სიმონ ომმა ექსპერიმენტულად დაადგინა ლითონის გამტარებში დენის ძალას, ძაბვასა და წინააღობას შორის დამოკიდებულება, რაც ომის კანონის სახელითაა ცნობილი.

წრედის უბანზე დენის ძალა (I) პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა (U) და უკუპროპორციულია ამ უბნის წინააღობისა (R).

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

აქედან,

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

რადგან წრედის მოცემულ უბანზე დენის ძალა ძაბვის პირდაპირპროპორციულია, ძაბვის დენის ძალაზე განაყოფი მუდმივი სიდიდე იქნება. ამ განაყოფს წინააღობა უწოდეს, წინააღობის ერთეულს, გეორგ სიმონ ომის პატივსაცემად, კი — ომი.

ერთი ომი არის ისეთი გამტარის წინააღობა, რომლის ბოლოებზე ერთი ვოლტი ძაბვისას მასში გამავალი დენის ძალა ერთი ამპერია.

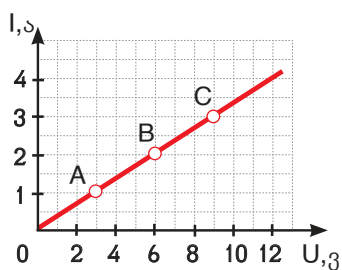
წინააღობას ზომავენ ომმეტრით (სურ. 23).



გეორგ სიმონ ომი
(1789 - 1854)



სურ. 23



სურ. 24

ნებისმიერი ტიპის გამტარისათვის, მიუხედავად მისი აგრეგატული მდგომარეობისა (მყარი, თხევადი, აიროვანი), არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება დენის ძალასა და ძაბვას შორის.

ამ დამოკიდებულების გამომსახველ გრაფიკს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ეწოდება.

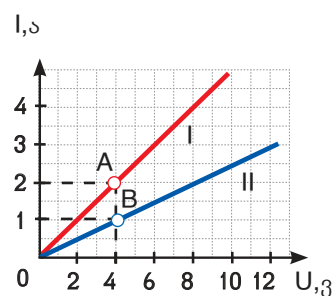
ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ნივთიერებისათვის მყარ, თხევად და აიროვან მდგომარეობაში განსხვავებულია ერთმანეთისგან. ლითონებისათვის გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი კოორდინატთა სათავეზე გამავალი წრფეა (სურ. 24). ფორმულა (1)-დან, ძაბვა წრედის უბანზე:

$$U = IR;$$

ზოგჯერ დენის ძალისა და უბნის წინააღობის ნამრავლს უწოდებენ **ძაბვის ვარდნას** ამ უბანზე.



ბაზრეზა

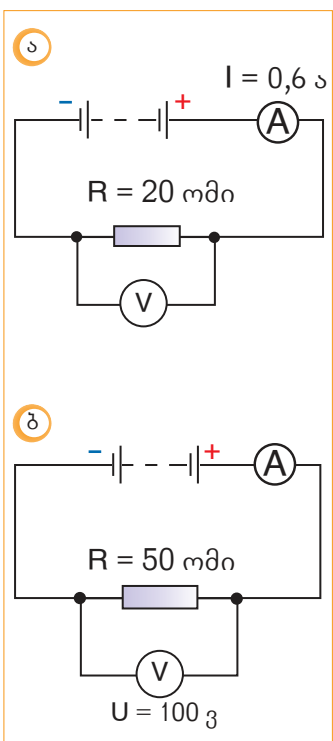


სურ. 25

- 24-ე სურათზე გამოსახული დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკის (ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი) მიხედვით გამოთვალე A, B, C წერტილების შესაბამისი წინააღობა. შეადარე ისინი და იმსჯელე, რატომ მიიღე წინააღობების ერთი და იგივე მნიშვნელობა.
- იმსჯელე და შეადარე ორი გამტარის წინააღობა 25-ე სურათზე გამოსახული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის მიხედვით. რომელი გრაფიკი შეესაბამება მეტი წინააღობის გამტარს?
- იმსჯელე, როგორ შეიცვლება გამტარის წინააღობა ძაბვის ორჯერ გაზრდისას.



საშინაო დავალება



სურ. 26

- ელექტრული წრედის სქემის მიხედვით: ა. რა ძაბვას უჩვენებს ვოლტმეტრი (სურ. 26 ა)? ბ. რა დენის ძალას უჩვენებს ამპერმეტრი (სურ. 26 ბ)?
- ვარვარების ნათურასთან ჩართული ვოლტმეტრის ჩვენება 120 ვ-ია, ამპერმეტრისა — 0,5 ა. გამოთვალე ნათურის წინააღობა.
- წრედის უბანზე ჩართულ რეზისტორზე დენის ძალაა 5 ა, ძაბვა კი 220 ვ. გამოთვალე დენის ძალა რეზისტორში ძაბვის 110 ვოლტამდე შემცირებისას?
- დენის ძალა ნათურაში 0,7 ა-ია. მისი წინააღობა 310 ომია. გამოთვალე ძაბვა, რომელიც მოდებულია ნათურაზე.
- გამტარში 35 ვ ძაბვის დროს დენის ძალა 0,7 ა-ია. რას უდრის ამ გამტარის წინააღობა?
- ააგე დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკი, თუ 3 ვ ძაბვისას გამტარში დენის ძალა 0,5 ა-ია. გამოთვალე გამტარის წინააღობა.

დამოკიდებულება დენის ძალას, ძაბვასა და წინაღობას შორის



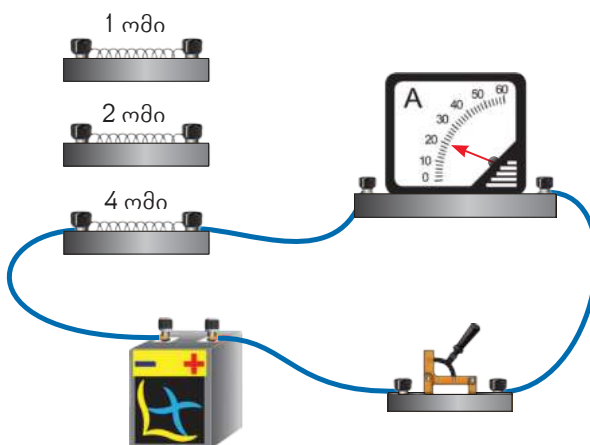
დამოკიდებულება დენის ძალასა და წინაღობას შორის
მუდმივი ძაბვის დროს

I. მოცემული გაქვს: დენის წყარო, სხვადასხვა წინაღობის რეზისტორები (1 ომი, 2 ომი, 4 ომი), ამპერმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

მსვლელობა: ააწყვე წრედი და რიგრიგობით ჩართე სხვადასხვა წინაღობის რეზისტორი. თითოეულ შემთხვევაში ამპერმეტრით გაზომე დენის ძალა და ანათვლები შეიტანე ცხრილში.

ცხრილის მონაცემების გამოყენებით ააგე დენის ძალის წინააღობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

გამოიტანე დასკვნა: შეადარე ცდის შედეგები. როგორ არის დამოკიდებული დენის ძალა წინააღობაზე მუდმივი ძაბვისას?



ცდის №	წინააღობა R (ომი)	დენის ძალა I (ა)
1		
2		
3		



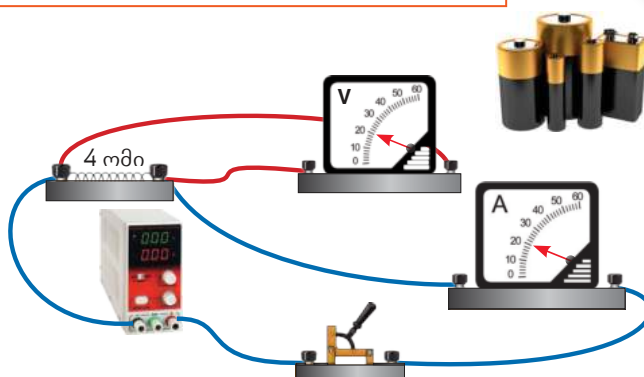
დამოკიდებულება დენის ძალასა და ძაბვას შორის
უცვლელი წინააღობის დროს

II. მოცემული გაქვს: სხვადასხვა დენის წყარო (1,5 ვ, 3 ვ და 4,5 ვ) ან კვების ბლოკი, რეზისტორი, ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

მსვლელობა: ააწყვე წრედი. გაზომე დენის ძალა და ძაბვა რეზისტორის ბოლოებზე. კვების ბლოკის გამოყენებით ან სხვა დენის წყაროს საშუალებით წრედში ცვალე ძაბვა და თითოეულ შემთხვევაში გაზომე ძაბვა და დენის ძალა მოცემულ წინააღობაზე. ანათვლები შეიტანე ცხრილში.

ცხრილის მონაცემების გამოყენებით ააგე დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

გამოიტანე დასკვნა: შეადარე ცდის შედეგები. რა დამოკიდებულებაა დენის ძალასა და ძაბვას შორის უცვლელი წინააღობის დროს?



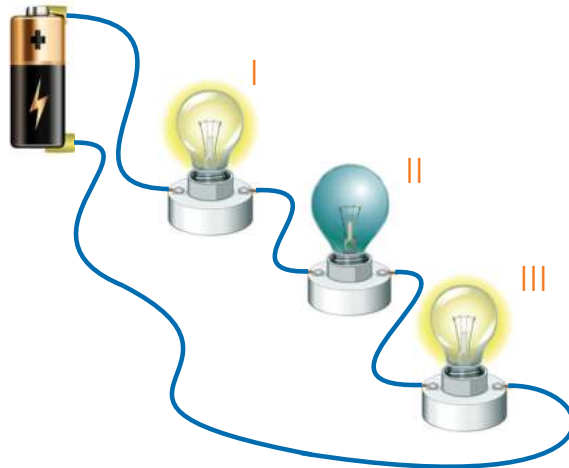
ცდის №	ძაბვა გამტარის ბოლოებზე U (ვ)	დენის ძალა I (ა)
1		
2		
3		

2.8.

გამტარების მიმდევრობითი შეერთება

იფიქრა და იმსჯელე

როგორ არის შეერთებული ნათურები? რატომ არ ინთება I და III ნათურა II ნათურის გადაწვისას (სურ. 27)?



სურ. 27

ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას დენის ძალა წრედში ყველგან ერთი და იგივეა (სურ. 28). წინააღმდეგ შემთხვევაში, მუხტები დაგროვდებოდა წრედის რომელიმე უბანზე. ე. ი.,

$$I_1 = I_2 = I \quad (1)$$

U ძაბვა (ანუ პოტენციალთა სხვაობა) წრედის მოცემულ უბანზე გამტარის ბოლოებზე არსებული U_1 და U_2 ძაბვების ჯამის ტოლია (სურ. 29).

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

თუ გამტარის წინააღობები თითოეულ უბანზე შესაბამისად, R_1 -ისა და R_2 -ის ტოლია, უბნის სრული წინააღობა კი არის R , მაშინ, ომის კანონის თანახმად, ძაბვა წრედის მოცემულ უბანზე და თითოეულ გამტარზე იქნება:

$$U = IR; \quad U_1 = I_1 R_1; \quad U_2 = I_2 R_2. \quad (3)$$

შევიტანოთ მე-(3) ფორმულები (2)-ში, მაშინ (1) ფორმულის გათვალისწინებით, მიიღება:

$$IR = IR_1 + IR_2, \quad \text{აქედან} \quad R = R_1 + R_2 \quad (4)$$

მიმდევრობითი შეერთებისას წრედის სრული წინააღობა ტოლია თითოეული გამტარის წინააღობათა ჯამისა.

(3) ფორმულების მიხედვით, თუ U_1 -ს გავყოფთ U_2 -ზე, მივიღებთ:

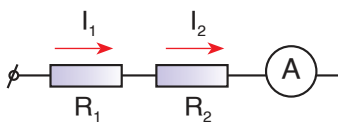
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (5)$$

ძაბვა მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებზე მათი წინააღობის პროპორციულად ნაწილდება.

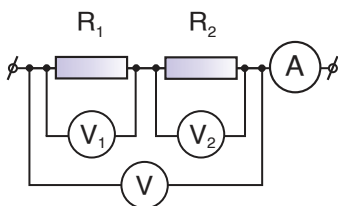
თუ წრედი შედგება n რაოდენობის მიმდევრობით შეერთებული გამტარისაგან, რომელთა წინააღობებებია, შესაბამისად, $R_1, R_2, \dots, R_n$, მაშინ საერთო წინააღობა იქნება (სურ. 30):

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

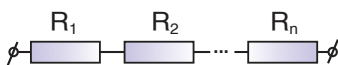
თუ $R_1 = R_2 = \dots = R_n = r$, მაშინ $R = n \cdot r$.



სურ. 28



სურ. 29



სურ. 30

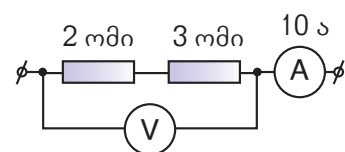


სურ. 31

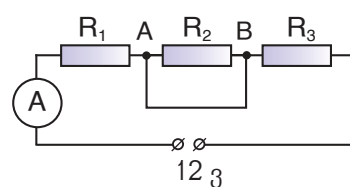


პაპზრეპა

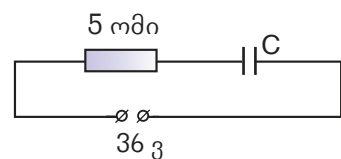
1. იმსჯელე, რატომ არის აუცილებელი დენის ძალის გაზომვისას წრედში ამპერმეტრის მიმდევრობით ჩართვა. რეზისტორების წინააღმდეგობასთან შედარებით, როგორი წინააღმდეგობა უნდა ჰქონდეს ამპერმეტრს, რომ წრედში დენის ძალა პრაქტიკულად არ შეიცვალოს?
2. იმსჯელე მიმდევრობით შეერთებული ნაძვის ხის ნათურების ანაწყოების შესახებ, რომლის თითოეული ნათურა 1 ვ ძაბვაზეა გათვალისწინებული. რამდენი ასეთი ნათურისაგან უნდა შედგებოდეს ანაწყო, თუ მას 220 ვ ძაბვის ქსელში ჩართავენ (სურ. 31)?
3. მიმდევრობით შეერთებულია 5 რეზისტორი. თითოეულის წინააღმდეგობაა 15 ომი. იმსჯელე წრედის სრული წინააღმდეგობის შესახებ.
4. იმსჯელე სურათზე გამოსახული წრედის შესახებ, შეადგინე ამოცანა და ამოხსენი (სურ. 32).
5. წრედში ჩართულია სამი რეზისტორი (სურ. 33). თითოეულის წინააღმდეგობაა 3 ომი. ელექტრული სქემის მიხედვით წრედის A და B წერტილები შემაერთებული სადენითაა შეერთებული (მოკლე ჩართვა). ამიტომ R_2 წინააღმდეგობის რეზისტორში დენი არ გაივლის, რადგან შემაერთებული სადენის წინააღმდეგობა გაცილებით ნაკლებია რეზისტორის წინააღმდეგობაზე. იმსჯელე წრედის სრული წინააღმდეგობის შესახებ და დაადგინე ამპერმეტრის ჩვენება.
6. ელექტრული წრედის სქემის მიხედვით იმსჯელე: ა. როგორ არის ჩართული წრედში რეზისტორი და კონდენსატორი; ბ. რატომ არ გაივლის დენი წრედში (სურ. 34).



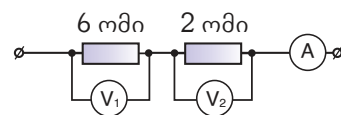
სურ. 32



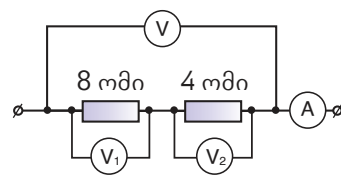
სურ. 33



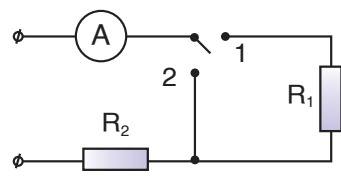
სურ. 34



სურ. 35



სურ. 36



სურ. 37



საპინაო დავალება

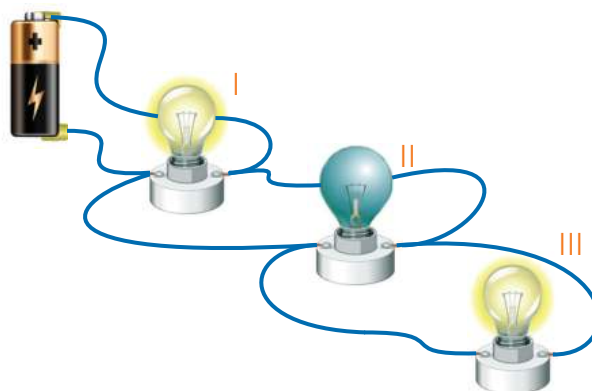
1. წრედში მიმდევრობით შეერთებული 4 რეზისტორის წინააღმდეგობაა 2 ომი, 5 ომი, 3 ომი და 8 ომი, დენის ძალაა 2 ა. გამოთვალე ძაბვა წრედის უბანზე, თითოეულ რეზისტორზე და სრული წინააღმდეგობა.
2. მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორის საერთო წინააღმდეგობაა 50 ომი. ერთ-ერთი მათგანის წინააღმდეგობაა 30 ომი. წრედის უბანზე ძაბვა 100 ვ-ია. გამოთვალე დენის ძალა წრედის უბანზე და ძაბვა თითოეულ რეზისტორზე.
3. წრედის უბნის ელექტრული სქემის მიხედვით, V_2 ვოლტმეტრის ჩვენებაა 18 ვ. გამოთვალე წრედში ჩართული დანარჩენი გამზომი ხელსაწყოების ჩვენებები (სურ. 35).
4. წრედის უბნის ელექტრული სქემის მიხედვით, რას უჩვენებს თითოეული ვოლტმეტრი, თუ ამპერმეტრის ჩვენება 2 ამპერია (სურ. 36)?
5. ჩამრთველის 1 კონტაქტთან ჩართვისას ამპერმეტრი უჩვენებს 1 ა დენის ძალას, 2-თან შეერთებისას – 4 ა-ს (სურ. 37). გამოთვალე თითოეული რეზისტორის წინააღმდეგობა, თუ მომჭერებზე ძაბვა 12 ვ-ია.

2.9.

გამტარების პარალელური შეერთება

იფიქრე და იმსჯელე

როგორ არის შეერთებული ნათურები? რატომ ინთება I და III ნათურა II ნათურის გადანვისას (სურ. 38)?



სურ. 38

ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ გამტარების პარალელური შეერთებისას ძაბვა წრედის უბანზე და R_1 და R_2 წინააღობის რეზისტორებზე ერთნაირია (სურ. 39).

$$U = U_1 = U_2$$

მუხტების შენახვის კანონის თანახმად, დენის ძალა წრედის უბანზე ტოლია წრედის პარალელურად შეერთებულ თითოეულ გამტარში გამავალი დენის ძალების ჯამისა (სურ. 40).

$$I = I_1 + I_2 \quad (1)$$

თუ გამტარის წინააღობებია, შესაბამისად, R_1 და R_2 , მაშინ ომის კანონის თანახმად, მთელ უბანზე და თითოეულ გამტარში დენის ძალა იქნება:

$$I = \frac{U}{R}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}. \quad (2)$$

თუ I_1 -ის მნიშვნელობას გავყოფთ I_2 -ზე, მივიღებთ:

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

გამტარების პარალელური შეერთებისას დენის ძალა თითოეულ გამტარში მათი წინააღობების უკუპროპორციულია.

თუ მე-(2) ფორმულის გათვალისწინებით გამოვსახავთ (1)-ს, მივიღებთ:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \quad \text{ანუ} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3)$$

პარალელური შეერთებისას წრედის სრული წინააღობის შებრუნებული სიდიდე ტოლია თითოეული გამტარის წინააღობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამისა.

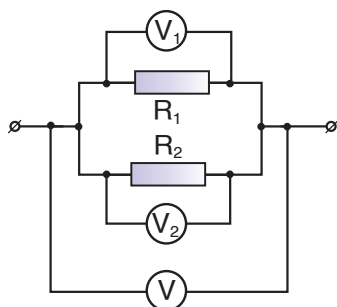
$$\text{მე-(3)-დან,} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

თუ წრედი შედგება n რაოდენობის პარალელურად შეერთებული გამტარისაგან (სურ. 41), რომელთა წინააღობებია, შესაბამისად, $R_1, R_2, \dots, R_n$, მაშინ შესაბამისად:

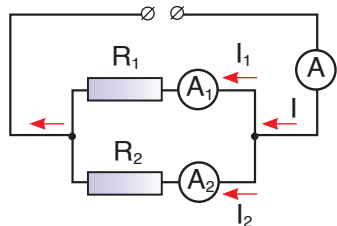
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4)$$

თუ $R_1 = R_2 = \dots = R_n = r$, მაშინ საერთო წინააღობა იქნება:

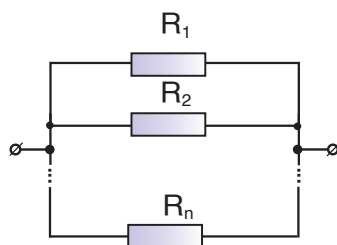
$$R = \frac{r}{n}. \quad (5)$$



სურ. 39



სურ. 40



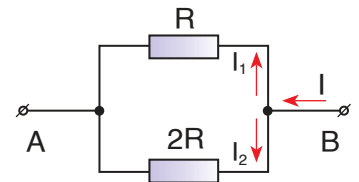
სურ. 41

წინააღმდეგობის შეზღუდვას სიდიდეს **გამტარობა** ეწოდება და აღინიშნება k ასოთი. $k = \frac{1}{R}$.

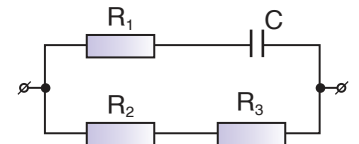


პაპაზაშვილი

1. იმსჯელე, რატომ არის აუცილებელი წრედის უბანზე ძაბვის გაზომვისას ვოლტმეტრის პარალელურად ჩართვა. როგორი წინააღმდეგობა უნდა ჰქონდეს ვოლტმეტრს, რომ წრედში დენის ძალა უცვლელი დარჩეს?
2. იმსჯელე წრედის უბნის სრული წინააღმდეგობის შესახებ, თუ პარალელურად შეერთებულია სამი ერთნაირი წინააღმდეგობის გამტარი და თითოეულის წინააღმდეგობა 18 ომი.
3. ელექტრული სქემის მიხედვით იმსჯელე რეზისტორების შეერთების შესახებ. გამოთვალე წრედის **AB** უბანზე დენის ძალა, თუ R წინააღმდეგობის გამტარში დენის ძალაა I_1 (სურ. 42).
4. ელექტრული წრედის სქემის მიხედვით, იმსჯელე: ა. როგორ არის ჩართული რეზისტორები და კონდენსატორი; ბ. გამოთვალე წრედის უბნის საერთო წინააღმდეგობა ელექტრული დენის გავლისას, თუ $R_1 = 2$ ომი; $R_2 = 4$ ომი, $R_3 = 10$ ომი, ხოლო კონდენსატორის ტევადობაა $C = 10$ მკფ (სურ. 43).



სურ. 42

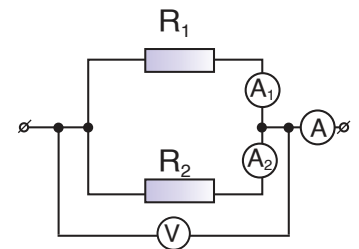


სურ. 43

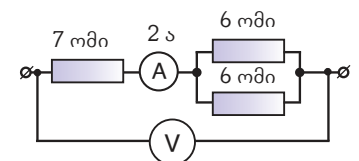


საშინაო დავალება

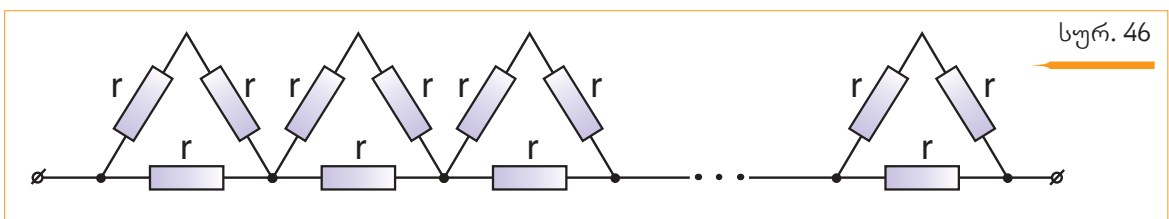
1. წრედის უბანზე პარალელურად ჩართულია ორი ნათურა, რომელთა წინააღმდეგობებია 24 ომი და 12 ომი. გამოთვალე სრული წინააღმდეგობა.
2. წრედის უბანზე პარალელურად შეერთებულია სამი რეზისტორი, რომელთა წინააღმდეგობებია 2 ომი, 4 ომი და 5 ომი. გამოთვალე სრული წინააღმდეგობა.
3. წრედის განუშტოებელ ნაწილში ამპერმეტრის ჩვენებაა 1,6 ა, ხოლო ვოლტმეტრისა – 120 ვ. რეზისტორის წინააღმდეგობა $R_1 = 100$ ომი. გამოთვალე R_2 რეზისტორის წინააღმდეგობა. რას აჩვენებს A_1 და A_2 ამპერმეტრი (სურ. 44)?
4. ელექტრული წრედის მიხედვით შეადგინე და ამოხსენი ამოცანა (სურ. 45).
5. 1 ომი, 2 ომი და 3 ომი წინააღმდეგობის გამტარები ჯერ შეართეს მიმდევრობით, შემდეგ — პარალელურად. გამოთვალე, რა თანაფარდობაა სრულ წინააღმდეგობებს შორის.
6. სურათზე გამოსახულია რეზისტორების რამდენიმე უბნისგან შემდგარი წრედი, რომლის საერთო წინააღმდეგობაა 54 ომი. თითოეული რეზისტორის წინააღმდეგობა 9 ომი. რამდენი უბნისგან შედგება წრედი (სურ. 46)?



სურ. 44



სურ. 45



სურ. 46

2.10.

ელექტრული წრედის ექსპერიმენტული კვლევა



გამტარების მიმდევრობითი შეერთების კვლევები

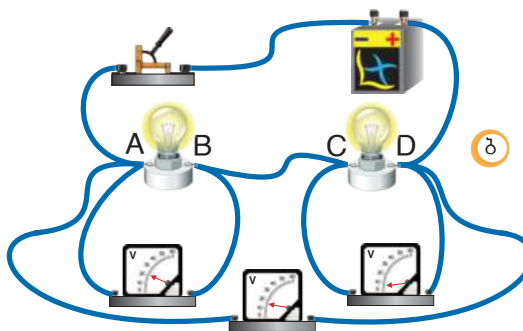
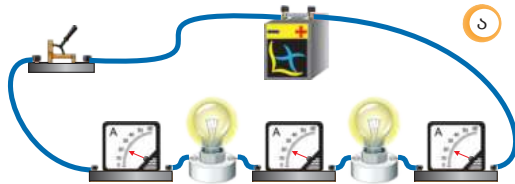
I. მოცემული გაქვს: ორი სხვადასხვა წინა-
ლობის ნათურა სადგარით, დენის წყარო
(აკუმულატორი ან ბატარეა), ჩამრთველი,
შემაერთებელი სადენები, ამპერმეტრი,
ვოლტმეტრი.

● **მსვლელობა:** (ა) სურათის მიხედვით
ააწყვე წრედი. წრედის სხვადასხვა უბან-
ზე ამპერმეტრით გაზომე დენის ძალა.
შეადარე დენის ძალის მნიშვნელობები
წრედის სხვადასხვა უბანზე.

გამოიტანე დასკვნა: რა თანაფარდობაა
წრედის სხვადასხვა უბანზე დენის ძალებს
შორის მიმდევრობითი შეერთებისას?

● **მსვლელობა:** (ბ) სურათის მიხედვით
ააწყვე წრედი. გაზომე ძაბვა AB, CD და
AD უბანებზე. მონაცემები შეიტანე ცხრილში.

გამოიტანე დასკვნა: რა თანაფარდობაა ძაბვებს შორის თითოეულ ნათურაზე და წრე-
დის ამ უბანზე?



დენის ძალა I (ა)			ძაბვა U (ვ)			წინალობა R (ომი)		
I_A	I_B	I_C	U_{AB}	U_{CD}	U_{AD}	R_1	R_2	R



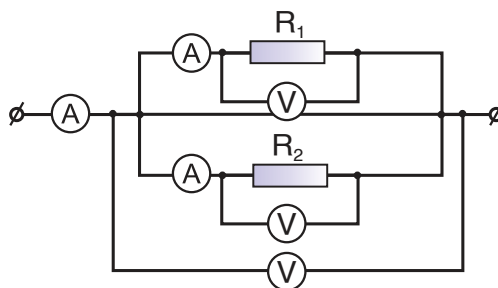
გამტარების პარალელური შეერთების კვლევა

II. მოცემული გაქვს: ორი სხვადასხვა წინალობის რეზისტორი, დენის წყარო (აკუმულატორი ან ბატარეა), ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები, ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი.

მსვლელობა: სქემის მიხედვით ააწყვე წრედი. ამპერმეტრით გაზომე დენის ძალა თითო-
ეულ გამტარზე და მთლიან წრედში. ვოლტმეტრით გაზომე ძაბვა წრედის უბანზე, შემ-
დეგ გაზომე ძაბვა გამტარის ბოლოებზე. მონაცემები შეიტანე ცხრილში.

გამოიტანე დასკვნა: რა თანაფარდობაა დენის ძალებს შორის თითოეულ გამტარსა და
მთელ წრედში? როგორია ძაბვა გამტარის
ბოლოებზე და პარალელურად შეერთებულ
წრედის უბანზე?

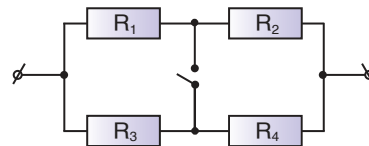
დენის ძალა I (ა)			ძაბვა U (ვ)		
I_1	I_2	I	U_1	U_2	U



ამოცანების ამოხსნა ◀ 2.11.

ამოცანა 1.

წრედში ჩართული რეზისტორების წინააღობაა: $R_1 = R_4 = 600$ ომი; $R_2 = R_3 = 1,8$ კომი. გამოთვალე წრედის უბნის (სურ. 47) სრული წინააღობა: ა. როდესაც ჩამრთველი გამორთულია; ბ. როდესაც ჩამრთველი ჩართულია.



სურ. 47

ამოხსნა:

ა. როდესაც ჩამრთველი გამორთულია, მაშინ ჩამრთველში დენი არ გაივლის და რეზისტორები ჩართული იქნება სურ. 48 ა-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით. წრედის მიმდევრობით შეერთებული წინააღობის წინააღობა იქნება:

$$r_1 = R_1 + R_2; \quad r_2 = R_3 + R_4.$$

წრედის უბნის სრული (ეკვივალენტური) წინააღობა იქნება:

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

მაშასადამე,

$$R = \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2) + (R_3 + R_4)} = 1200 \text{ ომი}$$

პასუხი: 1200 ომი.

ბ. როდესაც ჩამრთველი ჩართულია, მაშინ პარალელურად შეერთებული წრედის უბნები, ჩამრთველის მცირე წინააღობის გამო, შეიძლება ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებულად ჩაითვალოს (სურ. 48 ბ).

პირველი უბნის სრული (ეკვივალენტური) წინააღობა იქნება:

$$r_1 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 450 \text{ ომი}$$

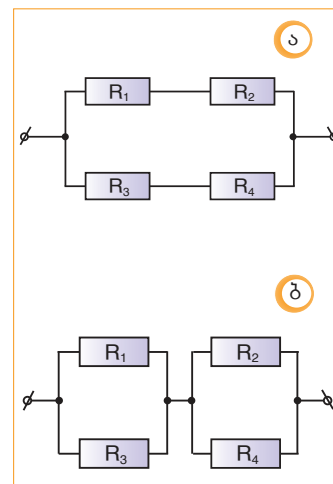
მეორე უბნის სრული (ეკვივალენტური) წინააღობა იქნება:

$$r_2 = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} = 450 \text{ ომი}$$

წრედის სრული წინააღობა იქნება:

$$R = r_1 + r_2 = 900 \text{ ომი}$$

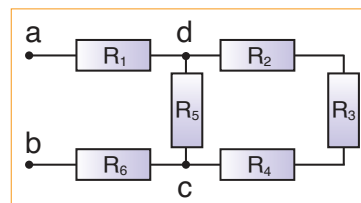
პასუხი: 900 ომი.



სურ. 48

ამოცანა 2.

წრედში ჩართულია რეზისტორები, რომელთა წინააღობებია $R_1 = R_6 = 3$ ომი, $R_2 = R_4 = 2$ ომი, $R_3 = 8$ ომი, $R_5 = 6$ ომი, a და b მომჭერებს შორის დენის ძალაა 3 ა. რას უდრის წრედის უბნის სრული წინააღობა და ძაბვა მომჭერებზე (სურ. 49)?



სურ. 49

ამოხსნა:

$R - ? U - ?$

$$R_1 = R_6 = 3 \text{ ომი}$$

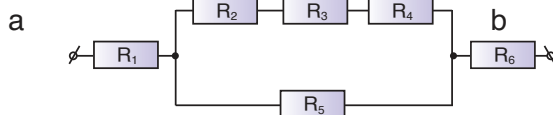
$$R_2 = R_4 = 2 \text{ ომი}$$

$$R_3 = 8 \text{ ომი}$$

$$R_5 = 6 \text{ ომი}$$

$$I = 3 \text{ ა}$$

ეკვივალენტური სქემა



R_2, R_3 და R_4 წინააღობის რეზისტორები შეერთებულია მიმდევრობით, ამიტომ მათი სრული წინააღობა R_{234} იქნება: $R_{234} = R_2 + R_3 + R_4 = 12$ ომი.

R_{234} წინააღობა შეიძლება შეიცვალოს 12-ომიანი ეკვივალენტური წინააღობის რეზისტორით, რომელიც პარალელურად იქნება შეერთებული R_5 წინააღობის რეზისტორთან. მათი სრული წინააღობა R_{2345} იქნება:

$$R_{2345} = \frac{R_{234} R_5}{R_{234} + R_5} = 4 \text{ ომი.}$$

მთელი წრედის სრული წინააღობა R იქნება:

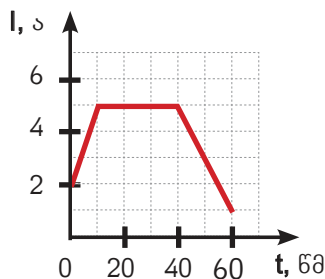
$$R = R_1 + R_{2345} + R_6 = 10 \text{ ომი.}$$

ძაბვა a და b მომჭერებზე:

$$U = IR = 30 \text{ ვ.}$$

პასუხი: 10 ომი, 30 ვ.

ამოხსენი ამოცანები



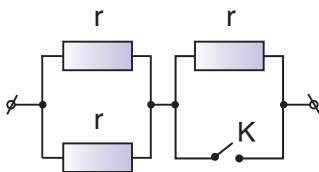
სურ. 50

ამოცანა 1.

როგორ იცვლება გამტარში ელექტრული დენის ძალა 50-ე სურათზე გამოსახული გრაფიკის თითოეული უბნის მიხედვით. გამოთვალე მუდმივი დენის დინებისას გამტარში გასული მუხტის სიდიდე.

ამოცანა 2.

ელექტრული სქემის მიხედვით (სურ. 51) გამოთვალე წრედის უბნის წინააღობა, როდესაც: ა. K ჩამრთველი ჩართულია; ბ. K ჩამრთველი გამორთულია.



სურ. 51

ამოცანა 3.

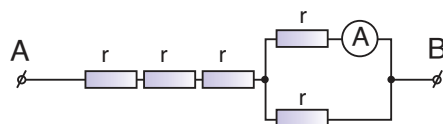
ტოლი წინააღობის ორი რეზისტორი შეაერთეს ჯერ მიმდევრობით, შემდეგ პარალელურად. იპოვე თანაფარდობა: $R_{\text{მიმდ}}/R_{\text{პარ}}$.

ამოცანა 4.

გამოთვალე წრედში პარალელურად ჩართული 15 რეზისტორის საერთო (ეკვივალენტური) წინააღობა, თუ თითოეულის წინააღობაა 30 ომი.

ამოცანა 5.

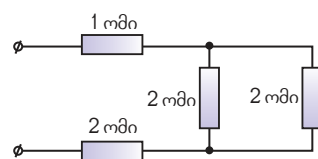
ელექტრული სქემის მიხედვით (სურ. 52) დაადგინე, რას უჩვენებს ამპერმეტრი, თუ დენის ძალა წრედის განუშტოებელ ნაწილში 6 ამპერია. გამოთვალე ძაბვა წრედის AB უბანზე, თუ $r = 2$ ომი.



სურ. 52

ამოცანა 6.

გამოთვალე წრედის უბნის სრული წინაღობა, რომელიც შედგება — ორი პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული — 4 ერთნაირი $R = 12$ ომი წინაღობის რეზისტორისაგან.



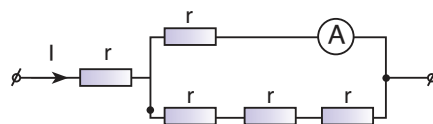
სურ. 53

ამოცანა 7.

გამოთვალე 53-ე სურათზე გამოსახული წრედის უბნის სრული წინაღობა და დენის ძალა თითოეულ რეზისტორზე, თუ ძაბვა A და B მომჭერებზე 12 ვ-ია.

ამოცანა 8.

სამი ნათურა, რომელთა წინაღობებია 10 ომ, 25 ომი, 50 ომი, შეერთებულია პარალელურად და ჩართულია 100 ვ ძაბვის წრედში. გამოთვალე წრედის სრული წინაღობა, დენის ძალა წრედში და თითოეულ ნათურაში.



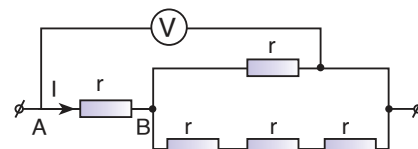
სურ. 54

ამოცანა 9.

წრედის ელექტრული სქემის მიხედვით (სურ. 54) დაადგინე, რას აჩვენებს ამპერმეტრი, თუ დენის ძალა წრედის განუშტოებელ ნაწილში 10 ა-ია.

ამოცანა 10.

55-ე სურათზე გამოსახულია ხუთი ერთნაირი, $r = 0,5$ ომი წინაღობის რეზისტორის შეერთების სქემა. დაადგინე ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ დენის ძალა წრედის განუშტოებელ ნაწილში 2 ა-ია.



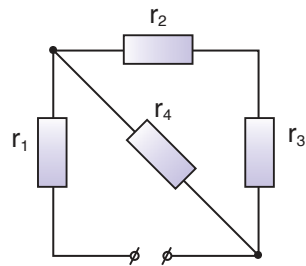
სურ. 55

ამოცანა 11.

72 ომი წინაღობის გამტარი დაყვეს რამდენიმე ტოლ ნაწილად და შეაერთეს პარალელურად. პარალელურად შეერთებული წრედის უბნის წინაღობა 2 ომის ტოლია. რამდენ ნაწილად დაყვეს გამტარი?

ამოცანა 12.

წრედში ჩართული თითოეული რეზისტორის წინაღობაა 6 ომი (სურ. 56). დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვა 3 ვ-ია. გამოთვალე დენის ძალა თითოეულ რეზისტორზე.



სურ. 56

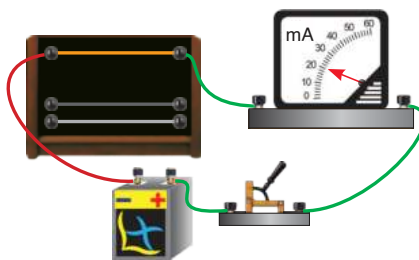


I. გამტარის წინააღობის ნივთიერების გვაროვნებაზე დამოკიდებულების კვლევა

მოცემული გაქვს: სამი ერთნაირი სიგრძისა და განივკვეთის ფართობის სხვადასხვა ნივთიერების გამტარი (მაგალითად, სპილენძის, ნიქრომის ან ალუმინის), დენის წყარო, ჩამრთველი, შემაერთებული სადენები, ამპერმეტრი.

მსვლელობა: სურათის მიხედვით დახაზე სქემა და ააწყვე წრედი. დენის წყაროსთან რიგრიგობით ჩართე სხვადასხვა ნივთიერების გამტარი. დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას თითოეულ შემთხვევაში. შეადარე ერთმანეთს დენის ძალები.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ გაიარა განსხვავებული სიდიდის ელექტრულმა დენმა სხვადასხვა გვარის გამტარში?

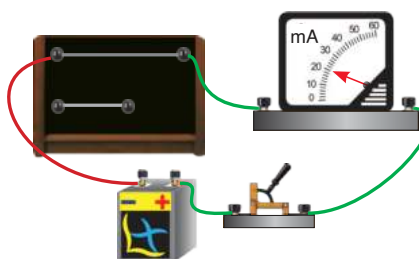


II. გამტარის წინააღობის მისი სიგრძეზე დამოკიდებულების კვლევა

მოცემული გაქვს: სხვადასხვა სიგრძისა (მაგ. 0,5 მ და 1 მ) და ერთნაირი განივკვეთის ფართობის ორი ერთგვაროვანი გამტარი, დენის წყარო, ჩამრთველი, შემაერთებული სადენები, ამპერმეტრი.

მსვლელობა: სურათის მიხედვით დახაზე სქემა და ააწყვე წრედი. წრედში რიგრიგობით ჩართე ჯერ 0,5 მ, შემდეგ 1 მ სიგრძის გამტარი. დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას თითოეულ შემთხვევაში. შეადარე დენის ძალები ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული წინააღობა გამტარის სიგრძეზე?

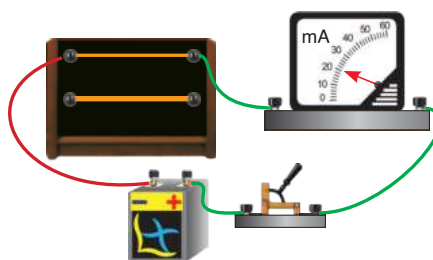


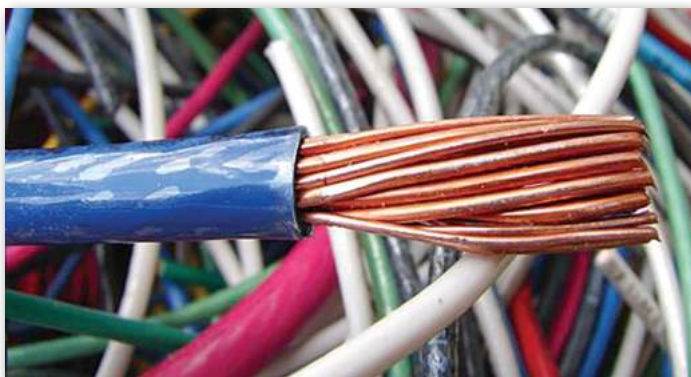
III. გამტარის წინააღობის მისი განივკვეთის ფართობზე დამოკიდებულების კვლევა

მოცემული გაქვს: ერთნაირი სიგრძისა და სხვადასხვა განივკვეთის ფართობის ორი ერთგვაროვანი გამტარი, დენის წყარო, ჩამრთველი, შემაერთებული სადენები, ამპერმეტრი.

მსვლელობა: სურათის მიხედვით დახაზე სქემა და ააწყვე წრედი. რიგრიგობით ჩართე მოცემული გამტარები. დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას თითოეულ შემთხვევაში. შეადარე დენის ძალის მნიშვნელობები.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული გამტარის წინააღობა განივკვეთის ფართობზე?





სურ. 57

იზიარე და იმსჯელე

რატომ იყენებენ შენობებში ელექტროგაყვანილობისათვის ძირითადად სპილენძის გამტარებს (სურ. 57)?

გამტარის წინაღობა განპირობებულია თავისუფალი ელექტრონების ურთიერთქმედებით კრისტალური მესრის კვანძებში არსებულ იონებთან (სურ. 58). ეს ურთიერთქმედება დამოკიდებულია ნივთიერების სტრუქტურაზე და იონების სიბუჩურ მოძრაობაზე. იონებთან ურთიერთქმედების გამო ველის გასწვრივ მოძრავი თავისუფალი ელექტრონების სიჩქარე მცირდება. ე. ი., თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობას წინააღმდეგობა ექმნება, მცირდება გამტარში დროის ერთეულში დენის მიმართულებით მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა ანუ მცირდება ელექტრული დენის ძალა. გამტარის წინაღობის ნივთიერების გვარობაზე დამოკიდებულება ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც **კუთრი წინაღობა** (ρ) ეწოდება. ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ:

გამტარის წინაღობა პირდაპირპროპორციულია გამტარის სიგრძისა, უკუპროპორციულია განივკვეთის ფართობისა და დამოკიდებულია ნივთიერების კუთრი წინაღობაზე.

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

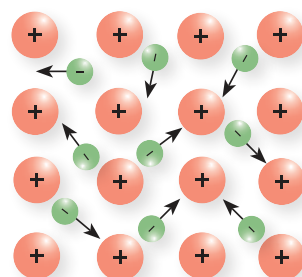
სადაც l გამტარის სიგრძეა, S — განივკვეთის ფართობი (სურ. 59).

კუთრი წინაღობა გამოითვლება ფორმულით: $\rho = \frac{R S}{l}.$

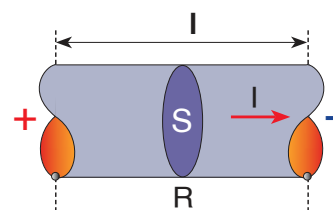
კუთრი წინაღობის ერთეული SI-ში არის ომი • მ, ხოლო სისტემაგარეშე ერთეული კი — $\frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$ (ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი წინაღობა იხ. დანართი 2, გვ. 68).

რეოსტატი

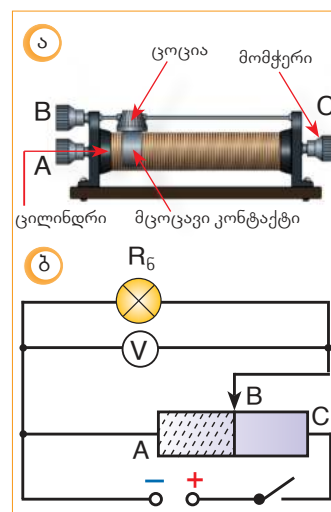
რეოსტატი, სამი მომჭერით (A, B, C), ისეთი ელექტრული ხელსაწყოა (სურ. 60 ა და ბ), რომლის გამოყენებით შესაძლებელია წრედში დენის ძალისა და ძაბვის ცვლილება (რეგულირება). რეოსტატის მუშაობის პრინციპი ემყარება გამტარის სიგრძის ცვლილებით გამოწვეულ წინაღობის ცვლილებას, რაც, თავის მხრივ წრედში დენის ძალისა და ძაბვის ცვლილებას იწვევს. რეოსტატს იყენებენ ძაბვის რეგულირებისათვის.



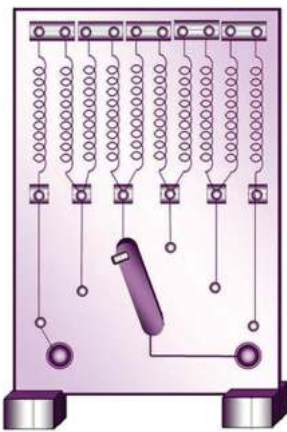
სურ. 58



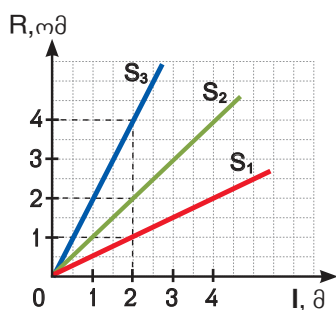
სურ. 59



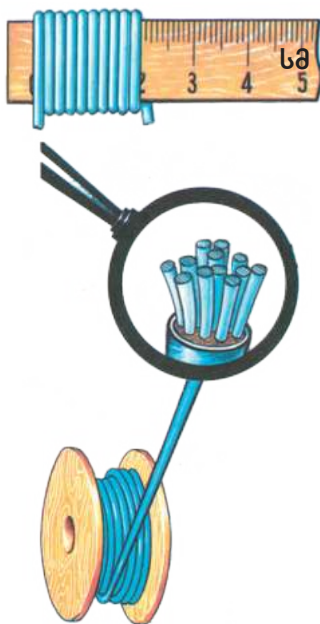
სურ. 60



სურ. 61



სურ. 62



სურ. 63

არსებობს სხვადასხვა ტიპის რეოსტატი. მაგალითად. სურ. 60-ზე გამოსახული რეოსტატი შედგება თბოგამძლე იზოლატორისგან დამზადებული კერამიკის ღრუ ცილინდრისაგან, რომლის ზედა მხარეს დამაგრებულია ლითონის ღერო. ცილინდრზე დახვეულია გრძელი ლითონის დიდი წინაღობის მავთული. გამტარის ბოლოები შეერთებულია მომჭერებთან (რეოსტატს მუშაობის პროცესში გადახურებისგან იცავს ცილინდრში არსებული სიღრმე).

რეოსტატის ლითონის ღეროზე დამაგრებულია მცოცავი კონტაქტი — ცოცია. მისი გადაადგილებისას იცვლება წრედში ჩართულ ცილინდრზე დახვეული გამტარის სიგრძე, რაც იწვევს წინაღობის ცვლილებას და, ომის კანონის შესაბამისად, წრედში დენის ძალისა და ძაბვის ცვლილებას.

არსებობს ასევე ბერკეტიანი რეოსტატი, რომელიც წინააღობას ნახტომისებურად ცვლის (სურ. 61). რეოსტატები ფართოდ გამოიყენება ტექნიკაში. მაგალითად, სპეციალური რეოსტატების გამოყენებით შესაძლებელია ხმამაღლამოლაპარაკეში ბგერის ხმამაღლობის ცვლილება, ტელევიზორის ეკრანის სიკაშკაშის რეგულირება.



პააზრება

1. იმსჯელე, როგორ შეიცვლება სპილენძის მავთულის წინააღობა, თუ მას 2-ჯერ გრძელი და 2-ჯერ მცირე განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის მავთულით შევცვლით.
2. ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებული ერთნაირი განივკვეთის მქონე გამტარებიდან ერთის სიგრძეა 10 სმ, მეორისა — 0,8 მ. შეადარე მათი წინააღობები.
3. 62-ე სურათზე გამოსახულია ერთი და იმავე კუთრი წინააღობის სამი გამტარის წინააღობის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკები. იმსჯელე, როგორი იქნება გამტარების განივკვეთის ფართობების თანაფარდობა.



საშინაო დავალება

1. ელექტროქურის ნიქრომის შენადნობიანი სპირალის სიგრძე 15 მეტრია, განივკვეთის ფართობი კი — 0,1 მმ². გამოთვალე სპირალის წინააღობა.
2. 10 მ სიგრძისა და 2 მმ² განივკვეთის ფართობის რკინის გამტარი ჩართულია 12 ვ ძაბვის ქსელში. გამოთვალე დენის ძალა გამტარში.
3. 0,1 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე ნიკელინის გამტარისაგან დამზადებული სპირალის ჩართულია 220 ვ ძაბვის ქსელში. დენის ძალაა 4 ა. რა სიგრძისაა გამტარი?
4. რეოსტატზე დახვეული ნიკელინის გამტარის განივკვეთის ფართობია 1 მმ², წინააღობა — 10 ომი. გამოთვალე ნიკელინის გამტარის მასა.
5. ალუმინის კაბელის ბოლო დაშლილია ცალკეულ მავთულებად (სურ. 63). მათგან ერთ-ერთი მავთული დახვეულია სახაზავზე. გამოთვალე ერთი კილომეტრი სიგრძის ალუმინის კაბელის წინააღობა.

ელექტრული დენის მუშაობა და სიმძლავრე

2.14.



იზიქრა და იმსჯელე

რომელ ფიზიკურ სიდიდეს ზომავს ელექტრული მრიცხველი (სურ. 64)?

სურ. 64

ელექტრული წრედის ჩამრთველის ჩართვისას მუხტის გადამტანები წრედში გადაადგილდებიან. q მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება ფორმულით:

$$A = qU, \quad (1)$$

სადაც U გამტარის ბოლოებზე პოტენციალთა სხვაობაა (ძაბვა), q — მუხტის სიდიდე:

$$q = It \quad (2)$$

(1) ფორმულაში (2) ფორმულის ჩასმით ელექტრული დენის მუშაობა იქნება:

$$A = IUt \quad (3)$$

წრედში ელექტრული დენის მუშაობა ტოლია დენის ძალის ნამრავლისა ძაბვასა და დროზე, რომლის განმავლობაშიც წრედში დენი გადიოდა.

ომის კანონის თანახმად: $I = \frac{U}{R} \quad (4) \Rightarrow U = IR \quad (5)$

ხოლო (5) ფორმულის (3)-ში ჩასმით მიიღება:

$$A = UIt = IRIt = I^2Rt, \quad \text{ე. ი.,} \quad A = I^2Rt \quad (6)$$

(4) ფორმულის (3)-ში ჩასმით მიიღება:

$$A = UIt = U \frac{U}{R} t = \frac{U^2}{R} t, \quad \text{ე. ი.,} \quad A = \frac{U^2}{R} t \quad (7)$$

ერთეულთა SI-ში ელექტრული დენის მუშაობა იზომება ჯოულებში.

$$1 \text{ ჯოული} = 1 \text{ ვოლტი} \cdot \text{ამპერი} \cdot \text{წამი};$$

$$1 \text{ ჯ} = 1 \text{ ვ} \cdot \text{ა} \cdot \text{წმ}.$$

ელექტრული დენის მუშაობის სისტემგარეშე ერთეულად მიღებულია მუშაობა, რომელსაც ასრულებს ერთი ამპერი დენი ერთი საათის განმავლობაში, როდესაც წრედში ძაბვა ერთი ვოლტია. ამ ერთეულს უწოდეს ვატსაათი (1 ვტ. სთ).

$$1 \text{ ვტ.სთ} = 3600 \text{ ჯ} = 3,6 \text{ კჯ}.$$

პრაქტიკაში გამოიყენება ელექტრული დენის მუშაობის უფრო დიდი ერთეულები:

$$1 \text{ კვტ.სთ} = 1000 \text{ ვტ.სთ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ ჯ}.$$

$$1 \text{ მგვტ.სთ} = 1\,000\,000 \text{ ვტ.სთ} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ ჯ}.$$

ელექტრული დენის მუშაობის გასაზომად საჭიროა ხელსაწყოები — ვოლტმეტრი,

ამპერმეტრი ან ვატმეტრი. ყოფა-ცხოვრებაში დენის მუშაობას ზომავენ მრიცხველით (სურ. 64).

● სიმძლავრე

დენის მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდებას დროის შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც წრედში დენი გადიოდა, ელექტრული სიმძლავრე ეწოდება.

ელექტრობაში სიმძლავრე აღინიშნება P ასოთი.

$$P = \frac{A}{t} \quad (8)$$

თუ (8) ფორმულაში შევიტანთ (3), (6), (7) ფორმულებს, შესაბამისად, მივიღებთ:

$$P = IU \quad (9), \quad P = I^2 R \quad (10), \quad P = \frac{U^2}{R} \quad (11)$$

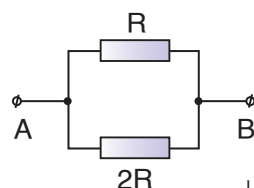
ელექტრული სიმძლავრის ერთეულია ერთი ვატი. სიმძლავრე ერთი ვატის ტოლია, როდესაც გამტარში, რომელზეც მოდებულია 1 ვოლტი ძაბვა, გადის 1 ამპერი დენი — $1 \text{ ვტ} = 1 \text{ ა} \cdot \text{ვ}$.

რადგან გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას გამტარებში დენის ძალა ერთნაირია, ელექტრული სიმძლავრის გამოსათვლელად გამოიყენება ფორმულა (10), ხოლო პარალელური შეერთებისას კი — ფორმულა (11), რადგან ძაბვა წრედის ყველა უბანზე ერთნაირია.

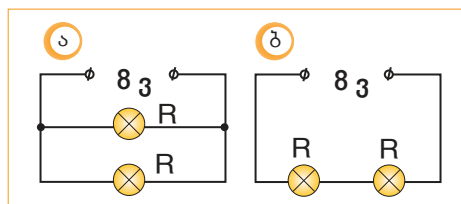


მეზოცემა

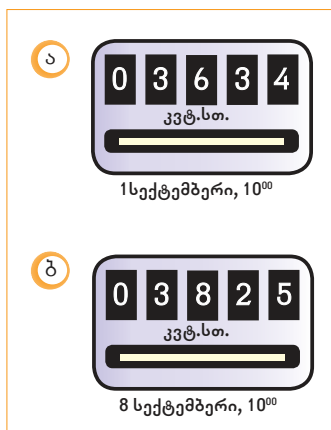
1. ელექტრული წრედის სქემის მიხედვით (სურ. 65) იმსჯელე, რა თანაფარდობაა R წინააღობისა და $2R$ წინააღობის რეზისტორებზე გამოყოფილ სიმძლავრეებს შორის, თუ R წინააღობის რეზისტორზე სიმძლავრე არის P .
2. ელექტრული სქემების მიხედვით იმსჯელე და შეადარე წრედის უბნებზე ელექტრული დენის სიმძლავრეები (სურ. 66 ა, ბ).
3. იმსჯელე, როგორ შეიცვლება ელექტრული დენის მიერ გამოყოფილი სიმძლავრე გამტარში, თუ მისი ორ ტოლ ნაწილად გაჭრის შემდეგ ამ ნაწილებს პარალელურად შეერთებენ იმავე დენის წყაროსთან.



სურ. 65



სურ. 66



სურ. 67



საშინაო დავალება

1. მრიცხველის (ა) საწყისი და (ბ) საბოლოო ჩვენებების მიხედვით გამოთვალე ერთი კვირის განმავლობაში მოხმარებული ენერგია და საშუალო სიმძლავრე (სურ. 67).
2. რა მუშაობას ასრულებს ელექტრული დენი ელექტროძრავაში 3 წთ-ის განმავლობაში, თუ დენის ძალაა 0,7 ა და ძაბვა ძრავის მომჭერებზე 10 ვ-ია? სითბური დანაკარგები უგულებელყავი.
3. ავტომობილის ნათურაზე ძაბვა არის 12 ვ. რა სიმძლავრისაა ნათურა, თუ მისი წინააღობა 7 ომი?
4. რეზისტორები, რომელთა წინააღობებია 120 და 180 ომი, შეერთებულია პარალელურად. სიმძლავრე პირველ რეზისტორზე არის 60 მვტ. რას უდრის სიმძლავრე მეორე რეზისტორზე?

ჯოულ - ლენცის კანონი ◀ 2.15.



იზიარე და იმსჯელე

რატომ თბება ელექტროხელსაწყოები მათში დენის გავლის შედეგად (სურ. 68)?



სურ. 68

წრედში ელექტრული ენერგია სხვადასხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნება. მაგალითად, ელექტროძრავაში ელექტრული ენერგიის ძირითადი ნაწილი გარდაიქმნება მექანიკურ ენერგიად, ელექტრონათურაში – სითბურ და გამოსხივების ენერგიად, ელექტროუთოში – სითბურ ენერგიად, ელექტროლიზისა ან აკუმულატორების დამუხტვისას – ქიმიურ ენერგიად.

დავუშვათ, წრედში ელექტრული დენის გავლისას გამოიყოფა სითბო და დენის მოქმედების სხვა პროცესები არ მიმდინარეობს. ლითონში ელექტრული ველის გავლენით თავისუფალი ელექტრონების კინეტიკური ენერგია იზრდება. ლითონის კრისტალური მესრის კვანძებში არსებულ იონებთან ურთიერთქმედების შედეგად ელექტრონები გადასცემენ მათ თავიანთი კინეტიკური ენერგიის ნაწილს. შედეგად კვანძებში მოთავსებული იონების საშუალო კინეტიკური ენერგია იზრდება, შესაბამისად, იზრდება გამტარის ტემპერატურა და გამოიყოფა სითბო.

ენერგიის მუდმივობისა და გარდაქმნის კანონის თანახმად, დენის მიერ შესრულებული მუშაობა და წრედში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ერთმანეთის ტოლია:

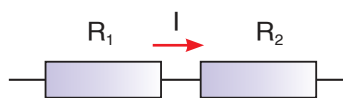
$$Q = A \quad (1), \quad A = IUt \quad (2).$$

ომის კანონის გათვალისწინებით, დენის გავლის შედეგად გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულებით:

$$Q = I^2 R t \quad (3), \quad Q = \frac{U^2}{R} t \quad (4).$$

ფორმულა (3)-ის თანახმად, სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა გამტარში დენის გავლის შედეგად, პირდაპირპროპორციულია დენის ძალის კვადრატისა, გამტარის წინააღობისა და დროისა, რომლის განმავლობაშიც მასში დენი გადის.

ამ დასკვნამდე ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მივიდა ორი მეცნიერი: ინგლისელი ჯეიმს ჯოული და რუსი ემილ ლენცი. ამიტომ მას **ჯოულ-ლენცის კანონი ეწოდა**.



სურ. 69

● რადგან მიმდევრობითი შეერთებისას (სურ. 69) გამტარებში დენის ძალა ტოლია:

$$I_1 = I_2 = I \quad (5)$$

ამიტომ წრედის უბანზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = I^2 R t. \quad (6)$$

პირველ გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა იქნება:

$$Q_1 = I_1^2 R_1 t \quad (7)$$

მეორე გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა კი — $Q_2 = I_2^2 R_2 t$. (8)

თანაფარდობა გამტარებზე გამოყოფილ სითბოს რაოდენობებს შორის იქნება:

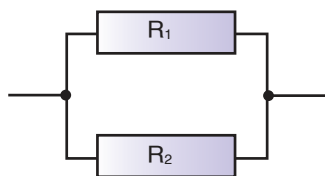
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I_1^2 R_1 t}{I_2^2 R_2 t} \quad (9)$$

(5) ფორმულის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (10)$$

გამტარების მიმდევრობითი შეერთებისას მეტი სითბო გამოიყოფა იმ გამტარზე, რომლის წინააღობაც მეტია.

მაგალითად, ვარვარების ნათურის წინააღობა ასჯერ მეტია შემაერთებული გამტარების წინააღობაზე. ვარვარების ძაფში დენის გავლის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ასჯერ მეტი იქნება, ვიდრე შემაერთებულ გამტარებში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა. შედეგად ძაფი ვარვარებს, ხოლო შემაერთებული სადენები რჩება „ცივი“.



სურ. 70

● რადგან გამტარების პარალელური შეერთებისას (სურ. 70) ძაბვა წრედის ყველა უბანზე ტოლია:

$$U_1 = U_2 = U \quad (11)$$

ამიტომ წრედის უბანზე დენის გავლის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = \frac{U^2}{R} t \quad (12)$$

პირველ გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა იქნება:

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{R_1} t \quad (13)$$

მეორე გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა კი — $Q_2 = \frac{U_2^2}{R_2} t$ (14)

თანაფარდობა გამტარებზე გამოყოფილ სითბოს რაოდენობებს შორის იქნება:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{U_1^2 R_2 t}{U_2^2 R_1 t} \quad (15)$$

(11) ფორმულის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (16)$$

გამტარების პარალელური შეერთებისას მეტი სითბო გამოიყოფა იმ გამტარზე, რომლის წინააღობაც ნაკლებია.

მაგალითად, ჭაღში ვარვარების ნათურები შეერთებულია პარალელურად. დენის გავლისას მეტი სითბო გამოიყოფა იმ ნათურაში, რომლის წინააღობაც ნაკლებია. აღმოჩნდა, რომ განსხვავებული წინააღობის ვარვარების ნათურების ძაფის შედარებისას მცირე წინააღობის ნათურის ძაფის სისქე მეტია.



ბაზრება

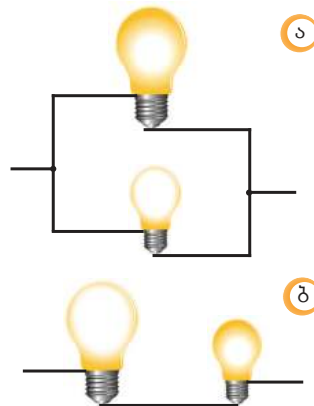
1. იმსჯელე, რატომ განსხვავდება ერთი და იმავე წინააღობის ნათურის სიკაშკაშე (ნათება) დენის წყაროსთან პარალელური და მიმდევრობითი შეერთებისას?



აზრობრივი ექსპერიმენტი

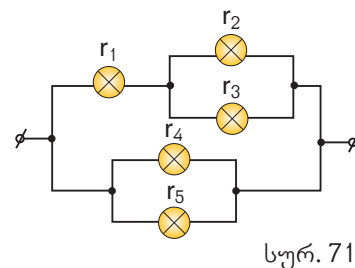
წარმოიდგინე, რომ გაქვს ორი სხვადასხვა, R_1 და R_2 წინააღობის ნათურა ($R_1 > R_2$), რომლებიც ჯერ შეაერთე პარალელურად, შემდეგ — მიმდევრობით. იმსჯელე:

- ა. პარალელური შეერთებისას რატომ კაშკაშებს მცირე წინააღობის ნათურა უფრო მეტად, ვიდრე მისი მიმდევრობით ჩართვისას?
- ბ. მიმდევრობითი შეერთებისას რატომ კაშკაშებს დიდი წინააღობის ნათურა უფრო მეტად, ვიდრე მისი პარალელურად შეერთებისას?



საშინაო დავალება

1. რამდენჯერ შეიცვლება რეზისტორზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ ძაბვა მასზე სამჯერ შემცირდება?
2. ელექტრული წრედის სქემის მიხედვით იმსჯელე, რომელი ნათურა (ან ნათურები) იკაშკაშებს მეტად, თუ მათი წინააღობები ერთნაირია (სურ. 71).
3. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა გამტარში 20 წთ-ის განმავლობაში, თუ მისი წინააღობა 20 ომია, დენის ძალა კი — 4 ა?
4. ელექტროსაკერავ მანქანაზე მითითებულია: 220 ვ და 0,5 ა. რისი ტოლია ძრავის სიმძლავრე და წინააღობა? რამდენ კილოვატსაა ენერგიას ხარჯვს მანქანა 45 წთ-ში?
5. ჭაღზე პარალელურად შეერთებული 4 ერთნაირი ვარვარების ნათურის ელექტრული ენერგიის დანახარჯი 1 სთ-ში არის **A**. როგორ შეიცვლება ელექტრული ენერგიის დანახარჯი, თუ ჭაღზე დაამატებენ: ა. პარალელურად შეერთებულ 4 ასეთივე ნათურას? ბ. მიმდევრობით შეერთებულ 4 ასეთივე ნათურას?
6. ერთნაირი სიმძლავრის ორი ვარვარების ნათურა, რომლებიც გათვალისწინებულია 220 და 110 ვოლტ ძაბვაზე, რიგრიგობით ჩართეს 100 ვ ძაბვის ქსელში. გამოთვალე თანაფარდობა ნათურებში გამოყოფილ სითბოს რაოდენობებს შორის.



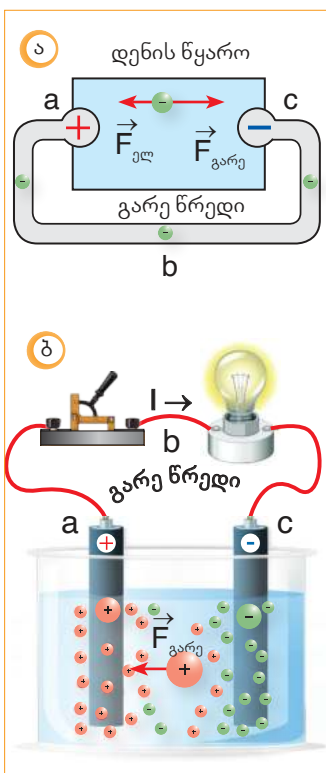
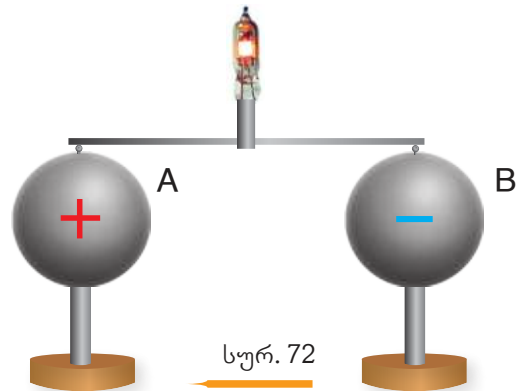
სურ. 71

2.16.

დენის წყაროს ელექტრომაგნიტური ძალა

იზიარა და იმსჯელე

რატომ აღიძვრება ელექტრული დენი ლითონის ღეროში, რომლითაც ერთმანეთთან შეერთებულია იზოლირებულ სადგარზე მოთავსებული ორი, სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული, ლითონის სფერო? რა აუცილებელი პირობაა საჭირო წრედში ელექტრული დენის შესანარჩუნებლად (სურ. 72)?



სურ. 73

სხვადასხვა ნიშნის მუხტით დამუხტული, იზოლირებულ სადგარებზე მოთავსებული ორი სფეროს გამტარით შეერთებისას გამტარში ელექტრული დენი გაივლის, ნათურა წამიერად აინთება და სწრაფად ჩაქრება (სურ. 72). ნათურაში დენის შეწყვეტა გამოწვეულია **A** და **B** სფეროების პოტენციალების ერთმანეთთან გატოლებით. გამტარში დენის შესანარჩუნებლად სფეროებს შორის პოტენციალთა სხვაობა მუდმივად უნდა არსებობდეს. ამიტომ **A** სფერო გამუდმებით უნდა იმუხტებოდეს დადებითად და **B** სფერო — უარყოფითად. ამიტომ წრედში ათავსებენ მოწყობილობას, რომელშიც არაკულონური ძალები **A** სფეროს გამუდმებით მოამარგებს დადებითი მუხტებით, **B** სფეროს კი — უარყოფითით. ასეთ მოწყობილობას **დენის წყაროს** უწოდებენ.

დავუშვათ, შეკრული წრედი შედგება დენის წყაროსა და ლითონის **abc** გამტარისგან (სურ. 73 ა). გამტარში თავისუფალი ელექტრონები ელექტრული ძალის მოქმედებით უარყოფითი პოლუსიდან დადებითი პოლუსისაკენ მოძრაობენ წრედში **b** წერტილის გავლით. მოძრაობის შესანარჩუნებლად ელექტრონები **a** წერტილიდან უნდა გადაადგილდნენ **c** წერტილისკენ. ასეთი გადაადგილება ელექტრული ძალის მოქმედებით შეუძლებელია, რადგან ელექტრული ძალა ამ გადაადგილების საწინააღმდეგო მიმართულებით მოქმედებს. ელექტრონების მოძრაობა ელექტრული ველის საწინააღმდეგო მიმართულებით შესაძლებელია მხოლოდ არაელექტრული ბუნების $\vec{F}_{\text{გარე}}$ ძალის მოქმედებით. არაელექტრული ბუნების ძალა დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედებს დენის წყაროს შიგნით და ასრულებს მუშაობას დადებითი

და უარყოფითი მუხტების განსაცალკევებლად. პოლუსებზე დაგროვილი მუხტები ქმნიან ელექტრულ ველს, რომელიც მოქმედებს ლითონის თავისუფალ ელექტრონებზე. შედეგად, ისინი მოძრაობენ დენის წყაროს პოლუსების შემაერთებელ გამტარში და ნათურა ინთება (სურ. 73 ბ).

დენის წყაროებში შეიძლება მოქმედებდეს სხვადასხვა ბუნების გარე ძალა (ქიმიური, მექანიკური და სხვ.).

გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდება მუხტთან მოცემული დენის წყაროსთვის მუდმივი სიდიდეა. ამ სიდიდით შეიძლება დახასიათდეს ნებისმიერი დენის წყარო.

გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ფარდობას **იმ დადებით მუხტთან, რომელიც ამ ძალების გავლენით დენის წყაროს შიგნით უარყოფითი პოლუსიდან**

დადებითისაკენ გადაადგილება, დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელ ძალას უწოდებენ (შემოკლებით — ემძ).

ემძ-ს აღნიშნავენ $\mathcal{E}$ ასოთი. $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{გარე}}}{q}$

სადაც $A_{\text{გარე}}$ – გარე ძალების მიერ q დადებითი მუხტის გადასადგილებლად შესრულებული მუშაობაა.

ისევე, როგორც ძაბვა, ემძ, იზომება ვოლტებით.

დენის წყაროში გარე ძალების მუშაობის შედეგად დაგროვილი ენერგია ხმარდება იმ ელექტრული ძალების მიერ შესრულებულ მუშაობას, რომელიც საჭიროა ჩაკეტილ წრედში მუხტების გადასადგილებლად. გარე ძალების მუშაობა აკომპენსირებს ელექტრული ველის ენერგიის შემცირებას წრედში.

დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა რიცხობრივად ტოლია 1 კულონი მუხტის გადასადგილებლად არაელექტრული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის. ის სკალარული სიდიდეა და შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი. დენის წყაროს ახასიათებენ r წინალობით, რომელსაც **შიდა წინალობას** უწოდებენ.

დავუშვათ, რამდენიმე დენის წყარო, რომელთა ემძ არის $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$, $\mathcal{E}_3$, წრედში ჩართულია მიმდევრობით (სურ. 74), მაშინ წრედში სრული ელექტრომამოძრავებელი ძალა ტოლია ცალკეული ელემენტების ელექტრომამოძრავებელი ძალის ალგებრული ჯამისა:

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

ასეთ შემთხვევაში უნდა შეირჩეს კონტურის შემოვლის დადებითი მიმართულება. 74-ე სურათზე შემოვლის დადებით მიმართულებად ჩათვლილია საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება. თუ მოცემულ პირობებში დადებითი მუხტები დენის წყაროში მოძრაობენ დადებითი პოლუსიდან უარყოფითისაკენ, ემძ იქნება უარყოფითი, რადგან გარე ძალები ასეთ შემთხვევაში წყაროს შიგნით უარყოფით მუშაობას ასრულებენ. ე. ი.

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

დენის წყაროების მიმდევრობითი შეერთებისას ამ სისტემის ანუ ბატარეის ჯამური შიდა წინალობა იქნება:

$$r = r_1 + r_2 + r_3.$$

თუ ერთნაირი ემძ-ისა და შიდა წინალობის მქონე მუდმივი დენის წყაროები პარალელურადაა შეერთებული (სურ. 75), ბატარეის ემ ძალა ტოლი იქნება ერთ-ერთი ელემენტის ემძ-სა.



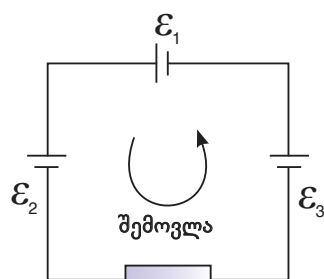
ბაზრება

იმსჯელე ბატარეის სრული წინალობის შესახებ, თუ წრედში პარალელურად შეერთებულია სამი ერთნაირი ემძ-ისა და r წინალობის დენის წყარო (სურ. 75).

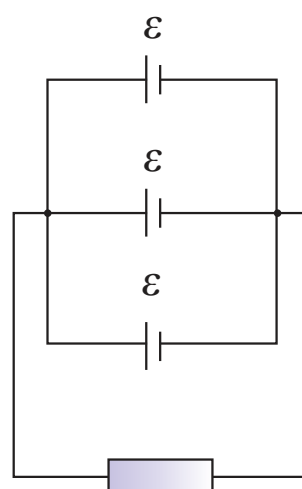


საშინაო დავალება

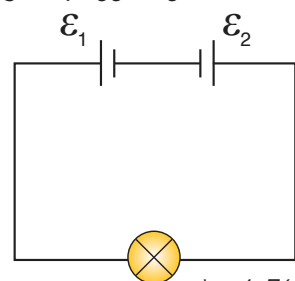
გალვანური ელემენტები, რომელთა ემძ-ებია $\mathcal{E}_1 = 4,5$ ვ და $\mathcal{E}_2 = 1,5$ ვ, შეერთებულია ნათურასთან (სურ. 76). ელემენტების შიდა წინალობა $r_1 = 1,5$ ომი, $r_2 = 0,5$ ომი. გამოთვალე ბატარეის ემ ძალა და სრული შიდა წინალობა.



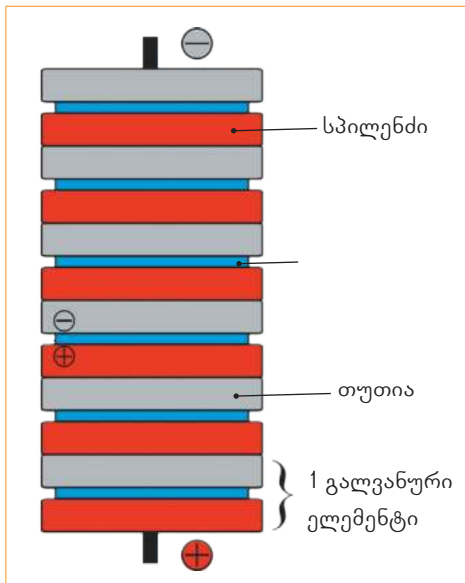
სურ. 74



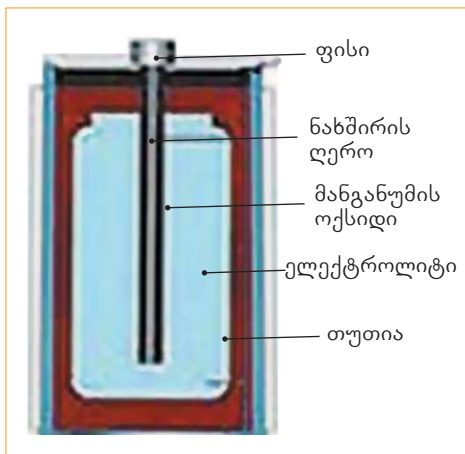
სურ. 75



სურ. 76



სურ. 77



სურ. 78



სურ. 79

არსებობს სხვადასხვაგვარი დენის წყაროები. ყოველ მათგანში სრულდება მუშაობა პოტენციალთა სხვაობის შესაქმნელად დადებითი და უარყოფითი მუხტების განცალკევებისას. განცალკევებული მუხტები გროვდება წყაროს პოლუსებზე. ამიტომ დენის წყაროს ერთი პოლუსი, რომლის პოტენციალიც მაღალია, დამუხტულია დადებითად, მეორე – უარყოფითად. პოლუსები ის ადგილებია, სადაც მომჭერების საშუალებით ხდება გამტარების მიერთება.

დენის წყაროში მუხტების განცალკევებისას მექანიკური, შინაგანი, ქიმიური ან რომელიმე სხვა სახის ენერგია ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება. მაგ., ელექტროფორულ მანქანაში მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად.

1799 წელს ალესსანდრო ვოლტამ პირველად ისტორიაში შექმნა დენის ქიმიური წყარო. იგი შედგებოდა ვერცხლისა და თუთიის ფირფიტებისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან გამოყოფილი იყო მარილის ხსნარში დასველებული მაუდის ქსოვილით. თუთიისა და ვერცხლის ფირფიტები მარილის ხსნართან ქიმიური რეაქციის შედეგად ელექტროვდებოდნენ: თუთია უარყოფითად, ხოლო ვერცხლი — დადებითად. ფირფიტებს შორის წარმოქმნილი ძაბვა, დაახლოებით, ერთ ვოლტს აღწევდა.

უფრო მაღალი ძაბვის მისაღებად იმავე წელს ვოლტამ შექმნა ბატარეა, რომელიც შედგებოდა ერთმანეთზე დალაგებული რამდენიმე ათეული თუთიის, სპილენძისა და მარილმჟავაში დასველებული ამდენივე მაუდის ქსოვილის ფირფიტისაგან. მოხერხებულობისათვის ვოლტამ მას ვერტიკალური სვეტის ფორმა მისცა, ამიტომ ბატარეას ვოლტას „სვეტი“ უწოდეს (სურ. 77). ვოლტამ მას ელექტრული „ორღანი“ შეარქვა. ბატარეაში ელემენტთა მიმდევრობით შეერთებისას ძაბვა ტოლია ცალკეულ ელემენტის ძაბვების ჯამისა. ასეთი იყო პირველი მუდმივი დენის წყარო — ვოლტას ელემენტი, რომელიც გალვანური ელემენტის ერთ-ერთი სახეა.

გალვანური ელემენტი დენის ისეთი წყაროა, რომელშიც ქიმიური რეაქციის ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად.

78-ე სურათზე გამოსახულია გალვანური ელემენტი, რომელიც შედგება თუთიის ჭურჭლისგან. მასში ჩადგმულია ქსოვილის ტომარაში მოთავსებული ნახშირის ლერო. ქსოვილის ტომარა სავსეა მანგანუმის ოქსიდისა და ნახშირის ნარევით. გალვანური ელემენტის ჭურჭელში ქსოვილის ტომარასა და კედლებს შორის სივრცე სავსეა სქელი მასით, კლეისტერიტით, რომელიც მიიღება ფქვილისა და ნიშადურის სპირტის შეზღვევით.

თუთიის ჭურჭელი მთლიანად მოთავსებულია მეწყასო ყუთში და დაფარულია ფისის თხელი ფენით.

ნიშადურის სპირტისა და თუთიის ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად თუთია იმუხტება უარყოფითად, ნახშირი – კი დადებითად. დამუხტულ ნახშირის ღეროსა და თუთიის ჭურჭელს შორის (რომლებსაც ელექტროდებს უწოდებენ) აღიძვრება ელექტრული ველი.

ნახშირის ღეროსა და თუთიის ჭურჭლის გამტარით შეერთებისას წრედში აღიძვრება ელექტრული დენი. ჯიბის ფარნის ბატარეა რამდენიმე გალვანური ელემენტისაგან შედგება. ბატარეაში პირველი ელემენტის ნახშირის ღერო შეერთებულია მეორე ელემენტის თუთიის ჭურჭელთან, ხოლო მეორე ელემენტის ნახშირის ღერო – მესამე ელემენტის თუთიის ჭურჭელთან. ჭურჭლები ერთმანეთისაგან იზოლირებულია. პირველი ელემენტის თუთიის ჭურჭლისა და მესამე ელემენტის ღეროსაგან გამოტანილია თუნუქის ორი ფირფიტა, რომლებიც ბატარეის პოლუსებია – პირველი უარყოფითი, მეორე კი დადებითი (სურ. 79).

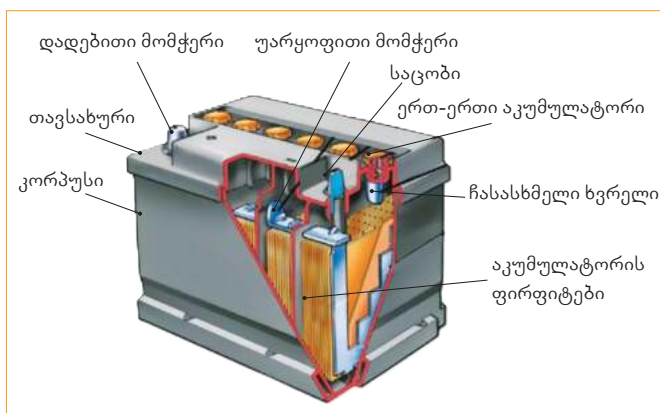
დენის აკუმულატორის მოქმედების პრინციპი ისეთივეა, როგორიც გალვანური ელემენტის. უმარტივესი აკუმულატორი შედგება გოგირდმჟავას ხსნარში მოთავსებული ტყვიისა და ტყვიის ოქსიდის ორი ფირფიტისაგან (ელექტროდისაგან) (სურ. 80).

აკუმულატორი რომ დენის წყარო გახდეს, უნდა დაიმუხტოს.

დასამუხტად აკუმულატორში ატარებენ მუდმივ დენს. აკუმულატორის დამუხტვის პროცესში ელექტროქიმიური რეაქციის შედეგად ერთი ელექტროდი იმუხტება დადებითად, მეორე კი — უარყოფითად. აკუმულატორის დამუხტვის შემდეგ ის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც დამოუკიდებელი დენის წყარო. აკუმულატორის პოლუსებს აწერია „+“ და „-“. აკუმულატორებს დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს.

ფოტოელემენტი არის ხელსაწყო, რომელზეც სინათლის სხივების, მაგალითად, მზის სხივების მოქმედებით აღიძვრება ელექტრომამოძრავებელი ძალა — ფოტო ემძ. ფოტოელემენტებში გენერირდება მუდმივი დენი. სტანდარტული ფოტოელემენტის ემ ძალა დაახლოებით 0,5 ვ-ია. არსებობს ორი სახის ფოტოელემენტი — ელექტროვაკუუმური და ნახევარგამტარული (სურ. 81 ა, ბ). ფოტოელემენტების დენის წყაროს იყენებენ როგორც ყოფა-ცხოვრებაში, ასევე კოსმოსში ელექტროენერგიის მისაღებად.

არსებობს მრავალი პროექტი კოსმოსში მზის ელექტროსადგურების შექმნის შესახებ (სურ. 82 ა, ბ).



სურ. 80



სურ. 81



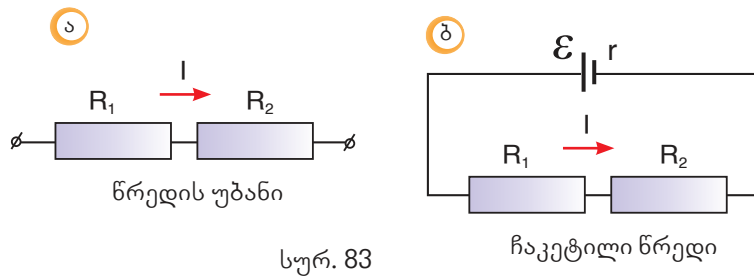
სურ. 82

2.17.

ომის კანონი სრული წრედისათვის

იზიარე და იმეორე

რომელი ელექტრული
წრედისთვის არის
სამართლიანი ომის
კანონი — $I = \frac{U}{R}$
(სურ. 83)?



სურ. 83

სრული (ჩაკეტილი) წრედი შედგება დენის წყაროსა (რომლის ემ ძალა არის $\mathcal{E}$) და R_1 და R_2 რეზისტორებისგან (სურ. 83 ბ). სადენებისა და რეზისტორების წინააღობას **გარე** (R) წინააღობას უწოდებენ, დენის წყაროს (r) წინააღობას კი — **შიდა** წინააღობას.

დავუშვათ, წრედში დენის ძალაა I , მაშინ t დროში გადაადგილებული მუხტი იქნება $q = It$. გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა

$$A = q\mathcal{E} = It\mathcal{E} \quad (1)$$

თუ წრედში ელექტრული ველი არ ასრულებს მექანიკურ მუშაობას და მისი ენერგია იხარჯება მხოლოდ სითბოს გამოიყოფოვაზე, მაშინ:

$$A = Q$$

ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, $Q = I^2 R_{\text{სრ}} t$. წრედის სრული წინააღობა: $R_{\text{სრ}} = R + r$ (ჩვეულებრივ, $r \ll R$), ამიტომ, (1) ფორმულის თანახმად:

$$A = I^2 (R + r)t = It\mathcal{E}, \quad \text{ე. ი.,} \quad \mathcal{E} = I(R + r), \quad \text{აქედან}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (2)$$

ამგვარად, **ომის კანონი** ჩაკეტილი წრედისათვის შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება:

ჩაკეტილ წრედში დენის ძალა ტოლია დენის წყაროს ემძ-ის შეფარდებისა წრედის სრულ წინააღობასთან.

გარე წინააღობაზე ძაბვის ვარდნაა: $U = IR$,

შესაბამისად, ძაბვის ვარდნა დენის წყაროზე ანუ შიდა წინააღობაზე — $u = Ir$.

დენის წყაროს ემ ძალა წრედის შიდა და გარე უბნებზე ძაბვის ვარდნის ჯამის ტოლია:

$$\mathcal{E} = U + u, \quad \text{აქედან} \quad U = \mathcal{E} - u = \mathcal{E} - Ir.$$

პრაქტიკულად, დენის წყაროს ემძ შეიძლება გაიზომოს ვოლტმეტრით, თუ $R = 0$.

თუ წრედის გარე წინააღობა ძალიან მცირეა ($R \rightarrow 0$), მაშინ წრედში დენი საგრძნობლად გაიზრდება.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad (3)$$

ამ მოვლენას **მოკლე ჩართვა** ეწოდება, ხოლო დენს — მოკლე ჩართვის დენი.

ე. ი., მოკლე ჩართვისას დენის ძალა განისაზღვრება დენის წყაროს შიდა წინააღობით. მოკლე ჩართვა იწვევს გამტარების გადახურებას, საიზოლაციო მასალის დადნობასა და აალებას, ელექტრული ხელსაწყოები მწყობრიდან გამოდის. მოკლე ჩართვა ასევე ხდება გაშიშვლებული დენიანი სადენების ერთმანეთთან კონტაქტის დროს. ამ შემთხვევაშიც მკვეთრად მცირდება წრედის წინააღობა და იმატებს დენი.

მოკლე ჩართვა მაშინაც ხდება, თუ დენის წყაროს მომჭერებთან მხოლოდ მცირე წინაღობის გამტარს უერთებენ.

ომის კანონის გათვალისწინებით, სიმძლავრე, რომელსაც დენის წყარო აღწევს გარე წრედში, ტოლია:

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}$$

ე. ი., წრედში P სიმძლავრე შემცირდება, თუ $R \rightarrow 0$ ან $R \rightarrow \infty$.

გარე წრედის წინააღობის უმცირეს და უდიდეს მნიშვნელობას შორის არის წინააღობის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც დენის წყაროს სიმძლავრე გარე წრედში მაქსიმალურია. დამტკიცებულია, რომ დენის წყაროს სიმძლავრე წრედში მაქსიმალურია, როდესაც გარე წრედის წინააღობა დენის წყაროს შიგა წინააღობის ტოლია — $R = r$. მაშინ,

$$P = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$$

ელექტრული სიმძლავრის ნაწილი გამოიყოფა დენის წყაროს შიგნით სითბოს სახით და იკარგება. ამიტომ ელექტრული წრედი შეიძლება დახასიათდეს მარგი ქმედების კოეფიციენტით:

$$\eta = \frac{P_{\text{საბ}}}{P_{\text{სრ}}} = \frac{I^2 R}{I^2 (R + r)},$$

აქედან

$$\eta = \frac{R}{(R + r)} \cdot 100\% \quad (4)$$

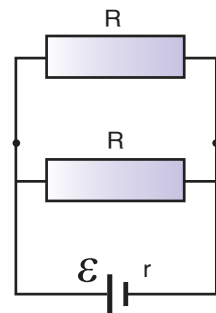


ბაზრება

იმსჯელე, როგორ შეიცვლება სრული წრედის: ა. წინააღობა; ბ. დენის ძალა; გ. ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე, თუ ერთნაირი წინააღობის რეზისტორებიდან ერთ-ერთს მოვაშორებთ (სურ. 84)?



საშინაო დავალება



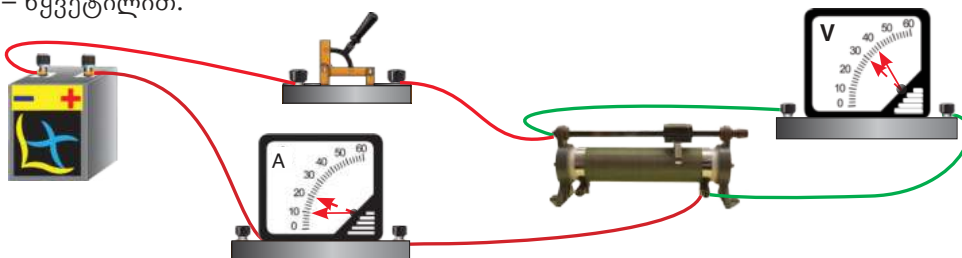
სურ. 84

1. გალვანური ელემენტი, რომლის $\mathcal{E}$ ტოლია 5 ვ-ის, შიდა წინააღობა კი 0,2 ომია, შეერთებულია 40 ომ გარე წინააღობაზე. რას უდრის ძაბვა გარე წინააღობაზე?
2. როგორი იქნება იმ აკუმულატორის მოკლე ჩართვის დენის ძალა, რომლის $\mathcal{E} = 12$ ვ-ს, ხოლო შიდა წინააღობა — $r = 0,01$ ომს?



აზრობრივი ექსპერიმენტი

წარმოიდგინე, რომ ააგე სურთზე გამოსახული ელექტრული წრედი. მასში მოცემული ხელსაწყოების ჩვენებების მიხედვით გამოთვალე დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა და შიგა წინააღობა. რეოსტატზე ცოცხის პირველ მდგომარეობას შეესაბამება ამპერმეტრის და ვოლტმეტრის ჩვენებები უწყვეტი ისრით, მეორე მდგომარეობას კი — წყვეტილით.



2.18.

ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1.

R_1 და R_2 წინააღობის გარე წრედთან დენის წყაროს რიგრიგობით მიერთებისას, ერთ-სა და იმავე დროში, ორივე წრედში ერთი და იმავე რაოდენობის სითბო გამოიყო. გამოთვალე დენის წყაროს შიგა წინააღობა.

ამოხსნა:

მთელი წრედისათვის ომის კანონის თანახმად, თითოეულ წრედში დენის ძალა ტოლია:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}, \quad I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}$$

გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ერთსა და იმავე t დროში თითოეული წრედისათვის ტოლია:

$$Q_1 = I_1^2 R_1 t = \frac{\mathcal{E}^2}{(R_1 + r)^2} R_1 t$$

$$Q_2 = I_2^2 R_2 t = \frac{\mathcal{E}^2}{(R_2 + r)^2} R_2 t$$

რადგან $Q_1 = Q_2$, ამიტომ

$$\frac{\mathcal{E}^2}{(R_1 + r)^2} R_1 t = \frac{\mathcal{E}^2}{(R_2 + r)^2} R_2 t,$$

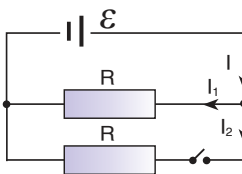
აქედან $R_1(R_2 + r)^2 = R_2(R_1 + r)^2$. განტოლების ამოხსნით მიიღება:

$$r^2 = R_1 R_2, \quad r = \sqrt{R_1 R_2}.$$

ამოცანა 2.

$r = 1$ ომი შიგა წინააღობის დენის წყაროსთან შეერთებულია $R = 6$ ომი ერთნაირი წინააღობის ორი ელექტროქურა, რომელთაგან ერთ-ერთი შეერთებულია ჩამრთველის საშუალებით. გამოთვალე, რამდენჯერ მეტია ჩამრთველის ჩართვისას ამ ქურების მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა იმ სითბოს რაოდენობაზე, რომელსაც გამოყოფს პირველი ქურა ჩამრთველის ჩართვამდე.

ამოხსნა:

$Q_2 / Q_1 = ?$ $r = 1$ ომი $R_1 = R_2 = R = 6$ ომი	1. ჩამრთველი K — გამორთულია. პირველი ქურის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად: $Q_1 = I_1^2 R t$, ომის კანონის თანახმად: $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$, გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა: $Q_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R t}{(R + r)^2}$. 2. ჩამრთველი K — ჩართულია. რადგან ორივე ქურის წინააღობა ერთნაირია, ამიტომ $I_1 = I_2$, დენი მთელ წრედში კი — $I_{\text{სრ}} = I_1 + I_2$. ომის კანონის თანახმად: $I_{\text{სრ}} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{სრ}} + r} = \frac{\mathcal{E}}{\frac{R}{2} + r}$, ე.ი., $I_{\text{სრ}} = \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r}$	
---	---	---

თითოეულ ქურაში გამავალი დენის ძალა იქნება: $I = \frac{I_{\text{სრ}}}{2} = \frac{\mathcal{E}}{R + 2r}$

თითოეულ ქურაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა — $I^2 R t$.

მთელ წრედში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია თითოეულ უბანზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობების ჯამისა: $Q_2 = 2I^2 R t$. ე.ი.

$$Q_2 = \frac{2\mathcal{E}^2 R t}{(R + 2r)^2}.$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{2\mathcal{E}^2 R t (R + r)^2}{(R + 2r)^2 \mathcal{E}^2 R t}, \quad \frac{Q_2}{Q_1} = 2 \frac{(R + r)^2}{(R + 2r)^2}, \quad \frac{Q_2}{Q_1} = 1,53.$$

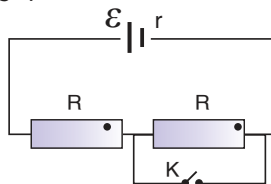
პასუხი: 1, 53-ჯერ.

● ამოხსენი ამოცანები

ამოცანა 1.

სურათზე გამოსახული ელექტრული წრედის მიხედვით აზრობრივად დაუკავშირე ფიზიკური სიდიდეები და შესაბამისი ფორმულები: ა. დენის ძალა და ძაბვის ვარდნა წრედის გარე უბანზე, როდესაც k ჩამრთველი ჩართულია; ბ. დენის ძალა და ძაბვის ვარდნა წრედის გარე უბანზე, როდესაც k ჩამრთველი გამორთულია.

1. $\frac{\mathcal{E} R}{R + r}$;
2. $\frac{2\mathcal{E} R}{2R + r}$;
3. $\frac{\mathcal{E}}{2R + r}$;
4. $\frac{\mathcal{E}}{R + r}$.



ა	ბ
I	I
U	U

ამოცანა 2.

გამტარი, რომლის წინაღობა 2 ომია, შეერთებულია დენის წყაროსთან, რომლის ემძ არის 1,5 ვ და მასში გადის 0,5 ა დენი. გამოთვალე დენის ძალა დენის წყაროს მოკლე ჩართვისას.

ამოცანა 3.

80 ვ ემძ-ის და 0,2 ომი შიდა წინააღობის გენერატორთან შეაერთეს შესაძლებელი აპარატი, რომლის წინააღობაა 0,5 ომი. შემაერთებელი სადენების წინააღობა 0,1 ომია. გამოთვალე ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე და გარე წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე.

ამოცანა 4.

გამოთვალე 0,2 ომი შიდა წინააღობის დენის წყაროს ემძ, თუ 10 ა დენის გავლისას სიმძლავრე გარე წრედში 100 ვტ-ია.

ამოცანა 5.

დენის წყაროს, რომლის ემ ძალა 12 ვ-ია და შიდა წინააღობა 1 ომი, მიუერთეს 5 ომი წინააღობა. გამოთვალე დენის ძალა და სიმძლავრე გარე წრედში.

ამოცანა 6.

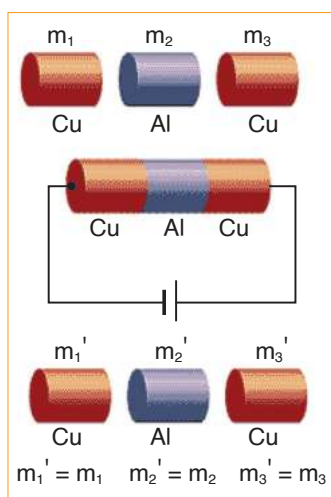
გალვანური ელემენტის ბატარეაზე 16 ომი წინააღობის ჩართვისას დენის ძალა იყო 1 ა, ხოლო 8 ომი წინააღობის ჩართვისას კი — 1,8 ა. გამოთვალე ბატარეის ემძ და შიდა წინააღობა.

ამოცანა 7.

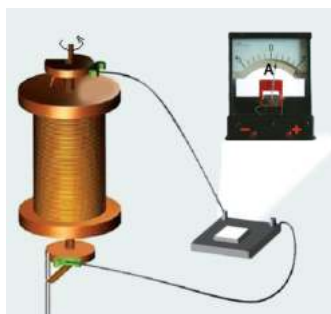
ვოლტმეტრმა დენის წყაროს მომჭერებთან შეერთებისას აჩვენა 6 ვ. როდესაც იმავე მომჭერებს მიუერთეს რეზისტორი, ვოლტმეტრმა აჩვენა 3 ვ. რას აჩვენებს ვოლტმეტრი, თუ ერთის ნაცვლად მიუერთებთ ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებულ ორ ასეთივე რეზისტორს?

2.19.

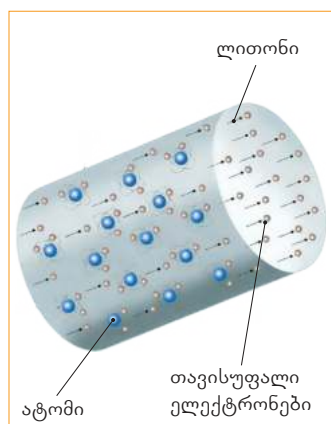
ელექტრული დენი ლითონებში



სურ. 85



სურ. 86



სურ. 87

გერმანელი მეცნიერის კ. რიკეს მიერ ჩატარებული ცდებით დამტკიცდა, რომ ლითონებში მუხტის გადამტანი ნაწილაკებია თავისუფალი ელექტრონები. მან ამ ექსპერიმენტისთვის გამოიყენა ერთმანეთთან მჭიდროდ დაკავშირებული სამი ცილინდრის ფორმის სხეული, რომელთაგან ერთი იყო ალუმინის და ორი — სპილენძის (სურ. 85). ცილინდრები შეერთებული იყო დენის წყაროსთან და მასში მუდმივი დენი ერთი წლის განმავლობაში გადიოდა. ამ დროში გამტარში დაახლოებით $3,5 \cdot 10^6$ კ მუხტმა გაიარა. ექსპერიმენტის ჩატარების შემდეგ რიკემ ცილინდრები აწონა და დაადგინა, რომ ცილინდრების მასები არ შეცვლილა. ამით დამტკიცდა, რომ ლითონში დენის გავლისას ქიმიური პროცესი არ ხდება, ნივთიერების გადატანა არ მიმდინარეობს და გამტარობა ხორციელდება ნაწილაკებით, რომლებიც ყველა ლითონისთვის ერთნაირია. ასეთი ნაწილაკია ელექტრონი.

ლითონების გამტარობა რომ თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობით არის განპირობებული, ექსპერიმენტულად დაამტკიცეს აგრეთვე მანდელშტამმა და პაპალექსიმ, შემდეგ კი — სტიუარტმა და ტოლმენმა. ამ ცდების სქემა გამარტივებული სახით შემდეგია: კოჭზე ახვევენ მავთულს, რომლის ბოლოებსაც მოსრიალე კონტაქტების საშუალებით უერთებენ გალვანომეტრს (სურ. 86). კოჭა მოჰყავთ სწრაფ ბრუნვაში, შემდეგ კი უცებ აჩერებენ. კოჭას მკვეთრი გაჩერებისას თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები ერთხანს ინერციით იმოძრავენ გამტარის მიმართ — კოჭაში აღიძვრება ელექტრული დენი. ეს დენი მალე შეწყდება, რადგან გამტარის წინააღობის გამო დამუხტული ნაწილაკები დამუხრუჭდება და დენის წარმოქმნილი ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობა შეწყდება. დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ კოჭას გაჩერების შემდეგ წრედში დენი მართლაც არსებობს. მისი მიმართულება მიუთითებს, რომ ის შექმნილია უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების ანუ ელექტრონების მოძრაობით.

გერმანელმა მეცნიერმა პ. დრუდემ შექმნა ლითონების გამტარობის კლასიკური თეორია, რომლის მიხედვით ლითონის გამტარი შედგება თავისუფალი ელექტრონებისა და დადებითად დამუხტული იონებისგან. ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობა ელექტრულ დენს ქმნის.



გაანგებო

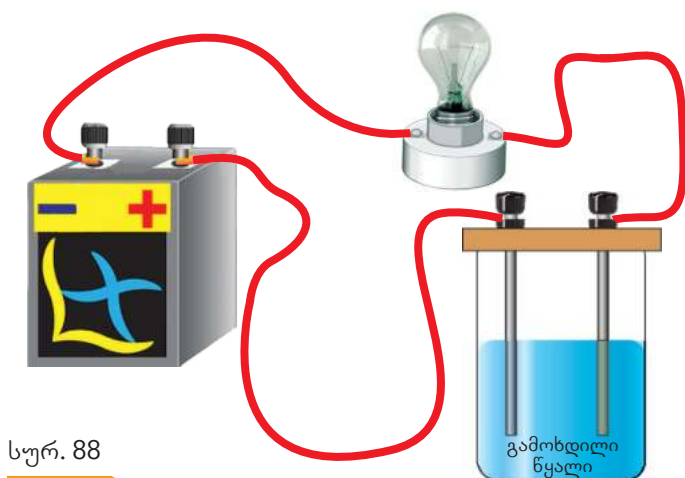
იმსჯელე, ელექტრული დენის ბუნების შესახებ ლითონებში (სურ. 87).



საშინაო დავალება

ელექტრონის სიჩქარე ელექტრული ველის გავლენით 10^{-4} მ/წმ-ია. რა დროში მიაღწევს ელექტრონი დენის წყაროდან ელექტრულ ნათურამდე, თუ მიმყვანი სადენის სიგრძე 10 მეტრია? რატომ ინთება ნათურა მყისიერად?

ელექტრული დენი სითხეებში ◀ 2.20.



სურ. 88

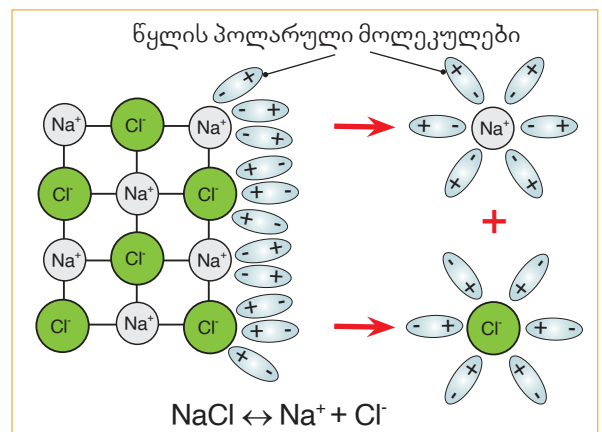
იზიარე და იმსჯელე

რატომ არ აინთება დენის წყაროსთან შეერთებული ნათურა ელექტროდების გამოხდილ წყალში მოთავსებისას (სურ. 88)?

ზოგიერთი სითხე დენის კარგი გამტარია, ზოგიერთი კი — არა. მაგალითად, გამოხდილ წყალში არ არის თავისუფალი ელექტრული მუხტები და ამიტომ ის ელექტრულ დენს არ ატარებს. გამოხდილ წყალში მარილის გახსნის შედეგად ის დენის გამტარი ხდება.

ნივთიერების ხსნარს ან ნალღობს, რომელიც ატარებს დენს, **ელექტროლიტი** ეწოდება. ელექტროლიტებია მჟავების, მარილებისა და ტუტეების ნალღობები ან წყალხსნარები.

ელექტროლიტების წყალში გახსნისას ან გაღობისას მათი კრისტალები იონებად იშლება. მაგალითად, მყარი სუფრის მარილის (NaCl -ის) კრისტალში მორიგეობითაა განლაგებული ერთმანეთთან იონური ბმით დაკავშირებული ნატრიუმისა და ქლორის იონები (სურ. 89). მისი წყალში მოთავსებისას Na^+ და Cl^- იონების ურთიერთქმედება წყლის პოლარულ მოლეკულებთან ასუსტებს ამ იონებს შორის კავშირს და NaCl -ის კრისტალი იონებად იშლება: მისი ზედაპირული ფენიდან ხსნარში გადადის წყლის მოლეკულებით გარშემორტყმული, ანუ ჰიდრატირებული იონები. შემდეგ პროცესი გრძელდება და საბოლოოდ, მარილის ხსნარში NaCl -ის კრისტალი იშლება იონებად.



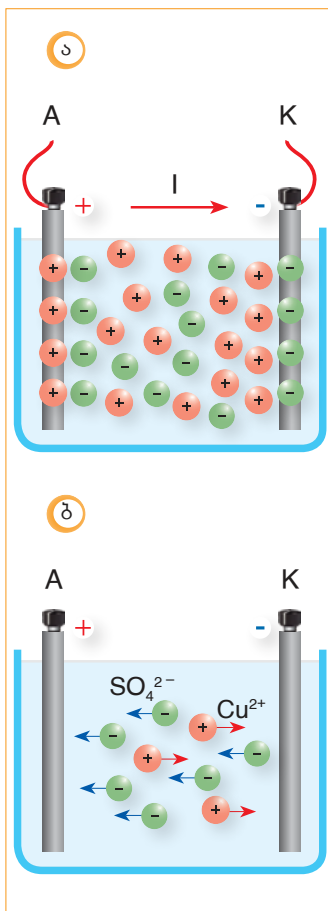
სურ. 89

სითხეში გახსნისას ან გაღობისას ნივთიერების იონებად დაშლას **ელექტროლიტური დისოციაცია** ეწოდება.

სითბური, ქაოსური მოძრაობის გამო მარილის წყალხსნარში ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნის იონები უახლოვდება ერთმანეთს, ერთიანდება და ქმნის NaCl -ის ნეიტრალურ ნაწილაკს. ამ პროცესს ეწოდება **რეკომბინაცია**.

ამგვარად, ელექტროლიტის წყალში გახსნისას მიმდინარეობს ორი პროცესი: დისოციაცია და რეკომბინაცია.

დისოციაციისას ნივთიერებები იშლება დადებით და უარყოფით იონებად, რეკომბინაციის დროს კი — პირიქით, საწინააღმდეგო ნიშნის იონები ერთიანდება. საბოლოოდ, ამ პროცესებს შორის მყარდება **დინამიური წონასწორობა** და უცვლელ პირობებში იონების კონცენტრაცია აღარ იცვლება, მუდმივია. ტემპერატურის მატებისას სითბური მოძრაობა ხდება უფრო ინტენსიური, იონების კონცენტრაცია იზრდება და დინამიკური წონასწორობა მყარდება უფრო მეტი კონცენტრაციის იონებისთვის.



სურ. 90

ელექტროლიტებში მუხტების თავისუფალი გადამტანები არის დადებითი და უარყოფითი იონები.

დადებითი იონებს **კათიონებს** უწოდებენ, ხოლო უარყოფით იონებს — **ანიონებს**. ელექტროლიტში ელექტრული დენის გავლისას დადებითი იონები ამოძრავდება უარყოფითად დამუხტული ელექტროდის — **კათოდისაკენ**, უარყოფითი იონები კი — დადებითად დამუხტული ელექტროდის — **ანოდისაკენ**.

ე. ი., **სითხეებში ელექტრული დენი არის დადებითი და უარყოფითი იონების მიმართული მოძრაობა**. ასეთ გამტარობას იონური გამტარობა ეწოდება.

სითხეს შეიძლება ჰქონდეს ელექტრონული გამტარობაც. მაგალითად, ასეთი გამტარობა ახასიათებს თხევად ლითონებს.

იონური გამტარობისას დენის გავლა დაკავშირებულია ნივთიერების გადატანასთან. მაგალითად, შაბიამნის (CuSO_4) წყალხსნარში დენის გავლის შედეგად კათოდისაკენ მიემართება სპილენძის დადებითი იონები (სურ. 90 ა). სპილენძის (Cu^{2+}) იონები კათოდთან ურთიერთქმედებისას შეივსებს ელექტრონების დანაკლისს და წარმოიქმნება სპილენძის ნეიტრალური ატომები, რომლებიც ილექება კათოდზე. შესაბამისად, კათოდი დაიფარება სპილენძის თხელი ფენით (სურ. 90 ბ).

ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფის პროცესს ელექტროლიზი ეწოდება.

ელექტროლიზი ფართოდ გამოიყენება წარმოებაში. მაგალითად, რელიეფური მოდელების ლითონის ასლის გაკეთება (გალვანოპლასტიკა) და ნაკეთობებზე დამცველი და დეკორაციული დაფენვა (გალვანოსტეგია) ელექტროლიზით ხდება. ამისათვის ელექტროლიტურ აბაზანაში იმ ელექტროდის ნაცვლად, რომელზედაც ლითონი

ნი გამოიყოფა, ათავსებენ დასამუშავებელ სხეულს. აბაზანაში დენს ატარებენ. თანდათან სხეულის ზედაპირი ლითონის თხელი ფენით იფარება.

ელექტროლიზით იღებენ ალუმინს (ჰიდროელექტრომეტალურგია). ამ დროს ელექტროლიტის როლს მეტალის გამდნარი მადანი ასრულებს. ელექტროლიზი ასევე გამოიყენება სუფთა სპილენძის, ნატრიუმისა და ქლორის წარმოებაში. არსებობს ლითონების დამუშავების თანამედროვე ელექტროქიმიური მეთოდი, რომელშიც ელექტროლიზია გამოყენებული. ელექტროქიმიური მეთოდით შეიძლება ზუსტად და სწრაფად დამუშავდეს ნაკეთობა. გაჩნდეს მასში ხვრელები, სხვადასხვა ზომის ჩაღრმავებები. ამ მეთოდით შეიძლება ნებისმიერი სიმტკიცის ლითონის დამუშავება. ამასთან, ასეთი ნაკეთობა დიდხანს არ ცვდება და მრავალჯერადად გამოიყენება.

● **ფარადეის კანონები**

ელექტროლიზის მოვლენა შეისწავლა ინგლისელმა მეცნიერმა მაიკლ ფარადეიმ და დაადგინა ორი კანონი.

ფარადეის პირველი კანონი:

ელექტრული დენის გავლისას ელექტროლიტში ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების m მასა პროპორციულია ელექტროლიტში გავლილი მუხტისა.

$$m = kq = kIt$$

(1)

სადაც პროპორციულობის k კოეფიციენტს ნივთიერების **ელექტროქიმიური ეკვივალენტი** ეწოდება.

ელექტროქიმიური ეკვივალენტი ტოლია ელექტროლიზის დროს ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების მასის შეფარდებისა ელექტროლიტში გასული მუხტის რაოდენობასთან.

$$k = \frac{m}{q}$$

k -ს საზომი ერთეულია: 1 კგ/კ. სხვადასხვა ნივთიერებას სხვადასხვა ელექტროქიმიური ეკვივალენტი აქვს (იხ. ცხრილი გვ. 68).

ფარადეის მეორე კანონი:

ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი k პროპორციულია მისი ქიმიური ეკვივალენტის; ე. ი., ნივთიერების A ატომური მასის შეფარდებისა ამავე ნივთიერების n ვალენტობასთან.

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \quad (2)$$

F სიდიდეს ფარადეის რიცხვი ეწოდება. ის უნივერსალური მუდმივაა და არ არის დამოკიდებული ელექტროლიზის დამახასიათებელ რაიმე პარამეტრზე. (2) ფორმულის (1)-ში ჩასმით მიიღება ფარადეის გაერთიანებული კანონი:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} It = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} q. \quad (3)$$

ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად ტოლია იმ მუხტისა, რომლის ელექტროლიტში გავლისას ელექტროდზე გამოიყოფა ნივთიერების ქიმიური ეკვივალენტის რიცხობრივად ტოლი მასა. გაზომვები აჩვენებს, რომ ფარადეის რიცხვი ტოლია $F = 96500$ კ/მოლი.



ბაზრება

წარმოიდგინე, რომ მოცემული გაქვს ოქროს ხსნადი მარილი, რომელიც წყალში გახსნისას დისოცირდება იონებად. კოვზის მოოქროვებისთვის ამ მარილის წყალ-ხსნარს ასხამენ ელექტროლიტურ აბაზანაში, ხსნარში კოვზსა და რომელიმე ნივთიერების ელექტროდს ათავსებენ და უერთებენ მუდმივი დენის წყაროს პოლუსებს. იმსჯელე, რა მოვლენა მიმდინარეობს წრედში დენის გავლის შედეგად.



საშინაო დავალება

1. რამდენ ხანს გრძელდებოდა მონიკელება, თუ ნაკეთობაზე დაილექა 1,8 გ ნიკელის შრე? წრედში დენის ძალა 2 ამპერია.
2. ელექტროლიტურ აბაზანაში, რომელიც სავსეა ნიკელის მარილით, მიმდევრობით მიაერთეს აბაზანა, რომელშიც ქრომის მარილია. წრედის განრთვის შემდეგ პირველ აბაზანაში გამოიყო 10 გ ნიკელი. რამდენი ქრომი გამოიყოფა მეორე აბაზანაში?
3. გამოთვალე სპილენძის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, თუ ელექტროლიტურ აბაზანაში დენის გავლის დრო 20 წუთია. დენის ძალა 0,5 ამპერია. კათოდის მასა დენის გატარებამდე 70,4 გრამია, ხოლო დენის გავლის შემდეგ — 70,58 გრამი.
4. ელექტროლიტური გზით ალუმინის მისაღებად გამოიყენება აბაზანა, რომელშიც 40 კა დენი გადის. რა დრო იქნება საჭირო 1 ტ ალუმინის მისაღებად?

2.21.

ელექტრული დენის ექსპერიმენტული კვლევა სითხეებში



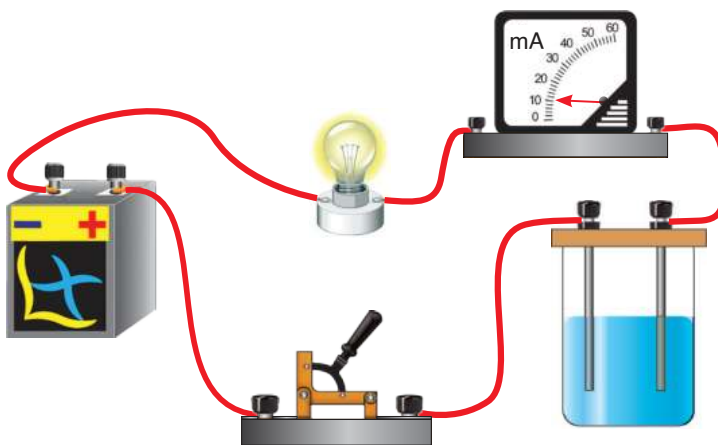
დენის ქიმიური მოქმედების ექსპერიმენტული კვლევა

მოცემული გაქვს: მინის ჭიქა, გამოხდილი წყალი, სუფრის მარილი, ჯიბის ფარნის ბატარეა ან აკუმულატორი, ნათურა სადგარზე, ნახშირის ორი ელექტროდი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

მსვლელობა: 1. მინის ჭიქაში ჩაასხი გამოხდილი წყალი და მოათავსე ორი ელექტროდი. ააწყვე წრედი სურათის მიხედვით, ჩართე ჩამრთველი. დააკვირდი ნათურის ნათებას.

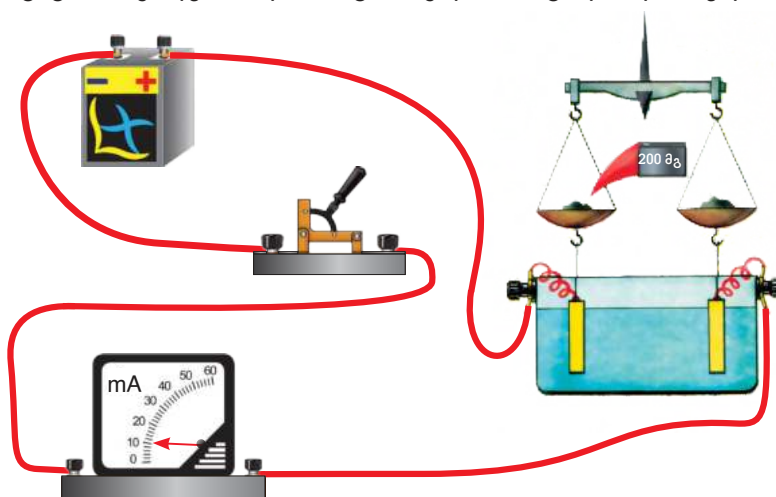
2. გამოხდილ წყალში გახსენი სუფრის მარილი და ჩაატარე იგივე ცდა. დააკვირდი ნათურის ნათებას. ახსენი დამზერილი მოვლენა. შეადარე ცდის შედეგები ერთმანეთს.

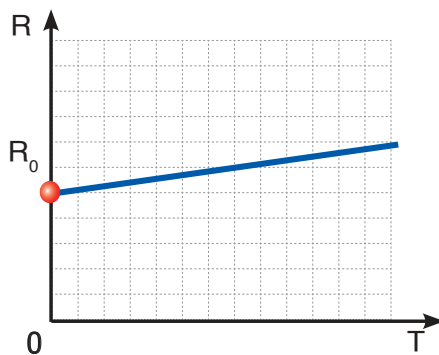
გამოიტანე დასკვნა: რატომ გაიარა ელექტრულმა დენმა მარილის წყალხსნარში?



აზრობრივი ექსპერიმენტი

წარმოიდგინე, ბერკეტთან სასწორზე განონასწორებულია სპილენძის ორი ელექტროდი, რომლებიც ჩაშვებულია შაბიამნის წყალხსნარში. წრედში ჩამრთველის ჩართვიდან გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ სასწორის წონასწორობა დაირღვა. ჩამრთველის გამორთვისას სასწორის წონასწორობის აღსადგენად სასწორის მარცხენა თევზზე მოათავსეს 200 მგ მასის საწონი. იმსჯელე: ა. რატომ დაირღვა სასწორის წონასწორობა; ბ. რატომ აღდგა წონასწორობა 200 მგ საწონის პინაზე მოთავსებისას; გ. გამოთვალე, რა დროის განმავლობაში გადიოდა წრედში დენი.





სურ. 91

იზიარა და იმსჯელე

რა გავლენას ახდენს
ტემპერატურის
ცვლილება გამტარის
წინალობაზე (სურ. 91)?

ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა, რომ გამტარის წინალობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ტემპერატურის გაზრდისას ლითონის წინალობა (იშვიათი გამონაკლისის გარდა) იზრდება, შემცირებისას – მცირდება. ლითონებისგან განსხვავებით, ელექტროლიტებისა და ნახევარგამტარების წინალობა ტემპერატურის გაზრდით მცირდება.

თუ გამტარის წინალობა 0°C -ზე არის R_0 , ხოლო რაიმე t ტემპერატურაზე – R , მაშინ წინალობის ფარდობითი ცვლილება $\frac{R - R_0}{R_0}$ ტემპერატურის პროპორციული სიდიდეა.

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha t$$

α პროპორციულობის კოეფიციენტს წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი ეწოდება.

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t} \quad (1)$$

წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი α გვიჩვენებს, როგორ იცვლება გამტარის ფარდობითი წინალობა ტემპერატურის ერთი გრადუსით შეცვლისას. გამტარებისათვის წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი ტემპერატურის დიდ ინტერვალში უმნიშვნელოდ იცვლება. (1) ფორმულიდან:

$$R = R_0(1 + \alpha t). \quad (2)$$

გამტარის გათბობისას მისი ზომების ფარდობითი ცვლილება უმნიშვნელოა.

თუ $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$ და $R = \rho \frac{l}{S}$, მაშინ R -ისა და R_0 -ის მნიშვნელობების ჩასმით მე-2 ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t). \quad (3)$$

ტემპერატურის ცვლილებისას გამტარის წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი (α) მცირედ იცვლება. $R = \rho \cdot l / S$, რადგან გამტარის წინალობა ამ გამტარის კუთრი წინალობის პროპორციულია, ამიტომ წინალობაც ტემპერატურის ცვლილებით, შესაბამისად, წრფივად იცვლება (სურ. 91).

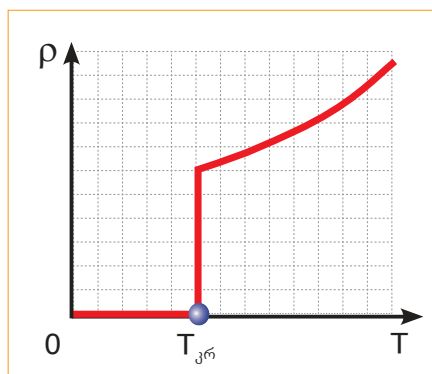
ტემპერატურის გაზრდით ლითონების კუთრი წინალობა იზრდება, რადგან იზრდება კრისტალური მესრის იონების წონასწორობიდან გადახრის სიდიდე და, შესაბამისად, სითბური მოძრაობის სიჩქარე. ეს კი იწვევს თავისუფალი ელექტრონების ინტენსიურ ურთიერთქმედებას კვანძების იონებთან, ისინი განიფანტებიან. ელექტრონების გაფანტვის გამო მცირდება მათი მოწესრიგებული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე. ე. ი., იზრდება გამტარის წინალობა ანუ მცირდება გამტარში დენის ძალა.

წინააღმდეგობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გათვალისწინება აუცილებელია ელექტრული ხელსაწყოების დამზადებისა და გამოყენებისას. მაგალითად, ეტალონური წინააღმდეგობისა და გამზომი ხელსაწყოების დასამზადებლად იყენებენ ისეთ შენადნობებს, რომელთა წინააღმდეგობის ტემპერატურული კოეფიციენტი ძალიან მცირეა. ე. ი., ამ შემთხვევაში საჭიროა, რომ წინააღმდეგობა საგრძნობლად არ იცვლებოდეს ტემპერატურის ცვლილებისას.

წინააღმდეგობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება გამოიყენება ტემპერატურის გასაზომად, რადგან ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელია ტემპერატურის გაზომვა სითხიანი თერმომეტრით; ამ შემთხვევაში იყენებენ თერმომეტრებს, რომელთა მოქმედების პრინციპი დამყარებულია: ელექტრული წინააღმდეგობის ცვლილებაზე ტემპერატურის მიხედვით; თერმოელექტრომამოძრავებელი ძალის წარმოქმნაზე; ან სხეულის ინფრანითელი გამოსხივების ინტენსივობაზე. ასეთი თერმომეტრებით ტემპერატურას ზომავენ დიდ დიაპაზონში, მაგალითად, -50 -დან $+1800^{\circ}\text{C}$ -მდე.

● ზეგამტარობა

ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე ზოგიერთი ლითონის წინააღმდეგობა ნახტომისებურად, სწრაფად მცირდება თითქმის ნულამდე. პირველად ეს 1911 წელს ალმოაჩინა ჰოლანდიელმა ფიზიკოსმა კამერლინგ-ონესმა. მან ექსპერიმენტულად დაადგინა, რომ ვერცხლისწყლის წინააღმდეგობა $-268,8^{\circ}\text{C}$ -ზე მკვეთრად ეცემა ნულამდე. შემდგომში მეც-



სურ. 92

ნიერებმა ალმოაჩინეს მრავალი გამტარი, რომელთა წინააღმდეგობა დაბალ ტემპერატურაზე ნულს უტოლდება. ტემპერატურას, რომელზეც გამტარის წინააღმდეგობა ნულს უტოლდება **კრიტიკულ ტემპერატურას** უწოდებენ (სურ. 92). გამტარის მდგომარეობას ამ ტემპერატურაზე **ზეგამტარობას**, ხოლო თვით ამ გამტარს **ზეგამტარს** უწოდებენ. ზეგამტარობა არა მარტო ლითონების თვისებაა. ის ახასიათებს შენადნობებსაც, ნახევარგამტარებსა და პოლიმერებსაც. ზეგამტარის დენის წყაროსთან შეერთებისას მასში აღძრული დენი შენარჩუნდება დიდი ხნის განმავლობაში დენის წყაროს გამორთვის შემდეგაც. ეს კარგ პერსპექტივას ქმნის ტექნიკაში ზეგამტარების გამოყენების თვალსაზრისით. ზეგამტარებს გამტარებთან შედარებით ის უპირატესობა აქვს, რომ დენის გავლისას მათში სითბო არ გამოიყოფა ანუ ელექტრული ენერგია სითბურ

დანაკარგებზე არ იხარჯება.

ამჟამად მეცნიერული კვლევა-ძიება მიმდინარეობს ოთახის ტემპერატურაზე ზეგამტარი ნივთიერებების შესაქმნელად. აღმოჩენილია ნივთიერებები, რომლებიც ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადადიან -135°C ტემპერატურაზე ნორმალური ატმოსფერული წნევისას. ასევე მიღებულია შენაერთები, რომლებიც მხოლოდ ძალიან მაღალ წნევაზე (188 გპა-ზე), გადადიან -23°C ტემპერატურაზე ზეგამტარულ მდგომარეობაში. მეცნიერები ცდილობენ შექმნან უფრო მაღალტემპერატურული ზეგამტარული მასალები, რათა შესაძლებელი გახდეს მათი გამოყენება ყოფა-ცხოვრებაში ოთახის ტემპერატურაზე.

ზეგამტარები გამოიყენება მძლავრ ელექტრულ ძრავებში, გენერატორებში, ამარქარებლებში და სხვ. შექმნილია ინტეგრალური (მიკრო) სქემები, რომლებიც მუშაობს ზეგამტარების გამოყენებით.

ზეგამტარობის ახსნა შესაძლებელია მხოლოდ კვანტური თეორიის საფუძველზე. თავისუფალი ელექტრონები ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე კრისტალის იონებთან არ ურთიერთქმედებენ, რადგან იონები პრაქტიკულად არ მოძრაობენ (არ ირხევიან). ზეგამტარობის თეორიის შექმნისათვის ჯ. ბარდინმა, ლ. კუპერმა და ჯ. შრიფერმა 1957 წელს ნობელის პრემია დაიმსახურეს.



გააზრება

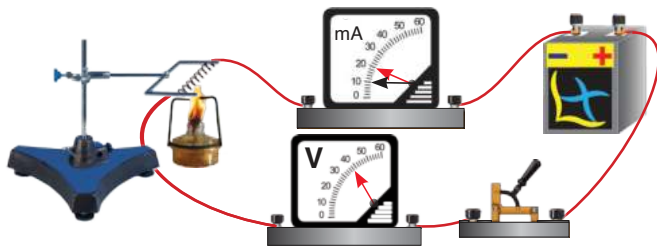


გამტარის წინააღობის ცვლილების კვლევა ტემპერატურის შეცვლისას

მოცემული გაქვს: 0,1-0,2 მმ დიამეტრის 1 ან 2 მეტრი სიგრძის რკინის ან ფოლადის გამტარი, რომელიც სპირალის სახითაა დახვეული და დამაგრებულია იზოლატორიანი დამჭერთ, დენის წყარო/კვების ბლოკი, ამპერმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები, სპირტქურა.

მსვლელობა: ააწყვე წრედი სურათის მიხედვით. ჩართე ჩამრთველი და ჩაინიშნე ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებები. მიუახლოვე ანთებული სპირტქურა გამტარის ხვეულას და კვლავ ჩაინიშნე ელექტრული ხელსაწყოების ჩვენებები. გამოთვალე გამტარის წინააღობა სპირტქურის მიახლოებამდე და მიახლოების შემდეგ.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ შეიცვალა გამტარის წინააღობა ტემპერატურის გაზრდისას?



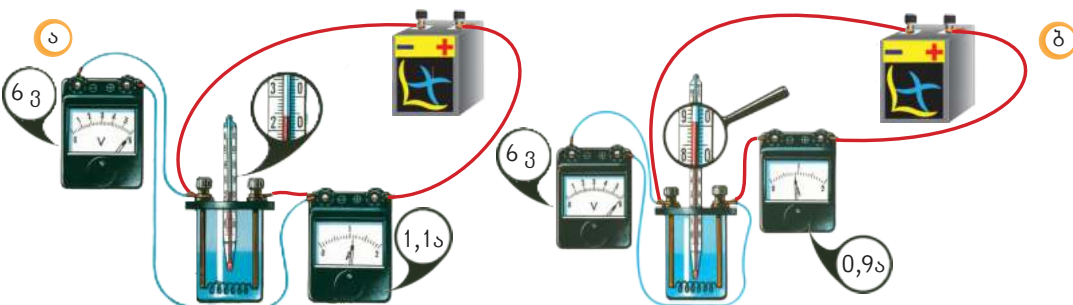
საშინაო დავალება

- ვოლფრამისძაფიანი ვარვარების ნათურის ჩართვისას (20°C ტემპერატურაზე) მისი წინააღობა არის 60 ომი. სრული ვარვარებისას ნათურის წინააღობა იზრდება 636 ომამდე. როგორია გავარვარებული ძაფის ტემპერატურა?
- ელექტრული ღუმელის სპირალს ამზადებენ ნიკელინის მავთულისაგან. ასეთი ღუმელის წინააღობა ჩართვამდე (20°C) 10 ომის ტოლია. როგორი იქნება მისი წინააღობა, როცა ღუმელი გათბება 700°C -მდე?
- სპილენძის მავთულისაგან დახვეული ელექტრომაგნიტის გრაგნილის წინააღობა 20°C -ზე იყო 2 ომი. ხანგრძლივი მუშაობის შემდეგ გახდა 2,4 ომი. რა ტემპერატურამდე გახურდა გრაგნილი?



აზრობრივი ექსპერიმენტი

წარმოიდგინე, რომ ელექტრულ წრედში ჩართული სპირალის ჯერ ცივ წყალში ჩაუშვეს (სურ. ა), შემდეგ კი — ცხელში (სურ. ბ). მოცემული სურათის მიხედვით აიღე ანათვლები და გამოთვალე სპირალის წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი.



იზიარე და იმსჯელე

რომელ ნათურებს
იყენებენ სატელევიზიო
ანძის გასანათებლად
(სურ. 93)?

სურ. 93



ჩვეულებრივ პირობებში, ოთახის ტემპერატურაზე, აირი დენს არ ატარებს. მაგალითად, ჰაერი კარგი დიელექტრიკია, რადგან მასში პრაქტიკულად არ არის (ან ძალიან მცირე რაოდენობითაა) მუხტის თავისუფალი გადამტანები. გათბობით ან ულტრაიისფერი სხივების მოქმედებით აირის ნეიტრალური ატომების ნაწილი იონიზირდება, რადგან მოლეკულებისა და ატომების ენერგია იზრდება და მათში მყოფმა ელექტრონმა შეიძლება შეიძინოს ის მინიმალური ენერგია, რომელიც საჭიროა ატომისაგან მის მოსაწყვეტად. ამ ენერგიას ეწოდება **იონიზაციის ენერგია**. იონიზაციის ენერგიის შეძენის შედეგად ელექტრონი თავისუფალი ხდება, ხოლო ელექტრულად ნეიტრალური ატომის ნაცვლად წარმოიქმნება დადებითი იონი. თუ თავისუფლად მოძრავი ელექტრონი დაეჯახა ნეიტრალურ ატომს, შეიძლება ამ უკანასკნელმა მიიერთოს ეს ელექტრონი და მაშინ მიიღება უარყოფითი იონი.

მაღალ ტემპერატურაზე ელექტრონებისა და დადებითი იონების წარმოქმნის პროცესს **თერმული იონიზაცია** ეწოდება.

ელექტრული დენის გავლას აირში **ელექტრულ განმუხტვას** უწოდებენ.

თერმული იონიზაციისას ჰაერში დენის გავლის პროცესს **არათავისთავადი აიროვანი განმუხტვა** ჰქვია.

აირის გამტარობის მექანიზმი ელექტროლიტების ხსნარებისა და ლითონის ნადნობის გამტარობის მექანიზმის მსგავსია. მასში შერწყმულია ლითონის ელექტრონული გამტარობა და ელექტროლიტების წყალხსნარებისა და ნადნობების იონური გამტარობა. ე. ი., **აირში მუხტის გადამტანებია თავისუფალი ელექტრონები, დადებითი და უარყოფითი იონები.**

ელექტრონისა და დადებითი იონის ურთიერთქმედებისას შეიძლება კვლავ წარმოიქმნას ნეიტრალური ატომი. ამ პროცესს დამუხტულ ნაწილაკთა **რეკომბინაციას** უწოდებენ.

როდესაც დამუხტულ ნაწილაკთა ახლად წარმოქმნილი წყვილების რიცხვი ტოლია რეკომბინაციის შედეგად გამქრალი წყვილების რიცხვისა, აირში მყარდება ე. წ. **დინამიური წონასწორობა**. ამ დროს დენის ძალის სიდიდე არ იცვლება. ეს პროცესი დამახასიათებელია არათავისთავადი განმუხტვისათვის.

მაღალი ძაბვის ელექტრულ ველში ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს აირის იონიზაციისას წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკები აირის ატომებსა და მოლეკულებთან დაჯახების შედეგად იწვევენ მათგან ელექტრონების მოწყვეტას. მეორადი ელექტრონები სხვა მოლეკულებთან და ატომებთან დაჯახებისას კვლავ იწვევენ დამუხტული ნაწილაკების გაჩენას. ამრიგად, წარმოიქმნება დამუხტული ნაწილაკების

ზვავი (სურ. 94). ამ მოვლენას **დარტყმითი იონიზაცია** ეწოდება, განმუხტვას კი – თავისთავადი.

არსებობს **თავისთავადი განმუხტვის** სხვადასხვა სახე: მლვივარი განმუხტვა, რომელიც მიმდინარეობს დაბალი წნევისას; რკალური განმუხტვა; ნაპერწკლური და გვირგვინისებრი განმუხტვა, რომელიც დამახასიათებელია აირისათვის ნორმალური ატმოსფერული წნევისას.

მლვივარი განმუხტვა — აირებში მლვივარ განმუხტვას თან ახლავს ნათება, რაც გამოიყენება ნეონის ნათურებში.

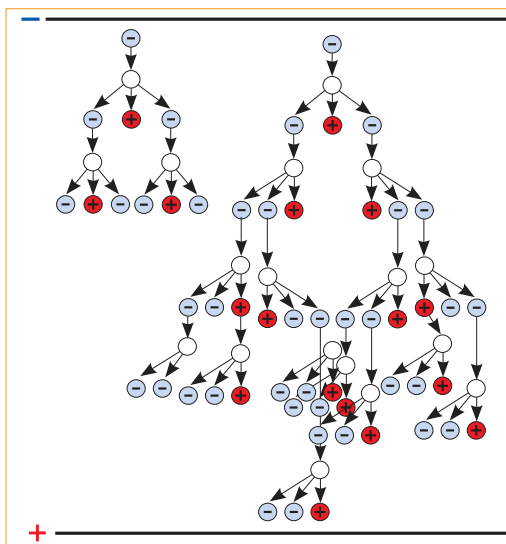
ნეონის ნათურის მინის მილში ჩარჩილულია ორი ელექტროდი. მილი შეიძლება ნებისმიერი ფორმის იყოს. ის სავსეა დაბალი წნევის ინერტული აირით, მაგალითად, ნეონით. ელექტროდებზე დიდი ძაბვის მოდებისას მათ შორის ხდება მლვივარი განმუხტვა, რასაც თან ახლავს ნარინჯისფერ-წითელი ნათება. ნათების ფერი დამოკიდებულია მილში ჩატუმბული ინერტული აირის გვარობაზე. მაგალითად, არგონის აირი ნათურის მომწვანო-მოლურჯო ნათებას იწვევს. მიუხედავად იმისა, თუ რომელი აირია მილში ჩატუმბული, მას მაინც ნეონის ნათურას უწოდებენ (სურ. 95 ა).

მლვივარი განმუხტვის ნათება გამოყენებულია აგრეთვე პლაზმურ ეკრანებში და ე. წ. დღის სინათლის ნათურებში. დღის სინათლის ნათურებში მლვივარი განმუხტვა ხდება ვერცხლისწყლის ორთქლში. წარმოქმნილი ულტრაიისფერი გამოსხივება შთაინთქმება ნათურის მინის კედლებზე დაფენილი სპეციალური ნივთიერებებით, ლუმინოფორით. ულტრაიისფერი სხივების შთანთქმის შედეგად ნივთიერება იწყებს დღის სინათლის მსგავს ნათებას. დღის სინათლის ნათურები საჭიროებს ნაკლებ ელექტრულ ენერგიას და უფრო ხანგრძლივად მუშაობს, ვიდრე ვარვარების ნათურები. ამჟამად, ასეთი ნათურების ნაცვლად, ფართოდ გამოიყენება სინათლის გამომსხივებელი დიოდებიანი ნათურები. მათ ეკოლოგიურ ნათურებასაც უწოდებენ.

95-ბ სურათზე გამოსახულია **რკალური განმუხტვა**. რკალური განმუხტვა მიიღება დიდი სიმძლავრის ელექტრულ წყაროსთან შეერთებულ ელექტროდებს შორის მყოფ აირში. რკალური განმუხტვა იძლევა სინათლის მძლავრ ნაკადს. მას იყენებენ მეტალურგიაში შედუღებისთვის, საპროექციო აპარატებში, პროექტორებში და სხვ.

გვირგვინისებრი განმუხტვა დამახასიათებელია გამტარების იმ უბნებზე, რომელთაც წვეტიანი ბოლოები აქვთ ან იქ, სადაც დიდი ელექტრული მუხტი გროვდება, მაგალითად, მაღალი ძაბვის გადამცემებში (ელექტრული ველის დაძაბულობაა დაახლოებით 30 კვ/სმ). ელექტროდის გარშემო წარმოიქმნება ნათება, რომელსაც აქვს გარსის ან გვირგვინის სახე. გარკვეულ პირობებში ასეთი ნათება შეიძლება წარმოიქმნას ხეების წვეროებზე, გემების ანძებზე (სურ. 95 გ). ასეთ ნათებას „წმინდა ელმას“ ცეცხლსაც უწოდებენ.

გვირგვინისებრი განმუხტვა გამოიყენებულია ასლის გადამღებ აპარატებში (ქსეროქსში) და ლაზერულ პრინტერებში. გვირგვინისებრი განმუხტვას იყენებენ აგრეთვე ქარხნების ელექტროფილტრებში მავნე ნივთიერებებისგან გასაწმენდად.



სურ. 94



ა



ბ



გ

სურ. 95



სურ. 96

ნაპერნკლური განმუხტვა მიიღება ელექტროდებს შორის დიდი ძაბვის დროს (სურ. 96). ელვა გიგანტური ნაპერნკლური განმუხტვაა ღრუბლებს ან ღრუბელსა და დედამიწას შორის. ნაპერნკლური განმუხტვისას წარმოიქმნება ოზონი (O_3). ოზონის მაღალი კონცენტრაცია მავნებელია ჯანმრთელობისათვის.

ელექტრული განმუხტვა მიმდინარეობს იონიზირებულ აირში, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი იონების კონცენტრაცია ერთმანეთის ტოლია. იონიზირებული აირი ელექტრულად ნეიტრალურია. ნივთიერების ასეთ მდგომარეობას **პლაზმა** ეწოდება. **პლაზმა ითვლება ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობად**. თავისი არსით პლაზმა ახლოს არის აირთან, მაგრამ მათ შორის არის განსხვავებაც. აირში მოლეკულები ნეიტრალურია, პლაზმაში დამუხტული ნაწილაკები, ელექტრონები და იონები ძლიერად ურთიერთქმედებენ და ეს ურთიერთქმედება აირის მოლეკულების ურთიერთქმედებასთან შედარებით ბევრად მეტია. პლაზმა სამყაროში ნივთიერების ყველაზე მეტად გავრცელებული მდგომარეობაა. მაღალი ტემპერატურის გამო მზე და ვარსკვლავები სრულად იონიზირებული პლაზმისგან შედგება. ვარსკვლავთშორისი სივრცეც პლაზმისგან შედგება, მაგრამ მისი სიმკვრივე ძალიან მცირეა. აქ პლაზმა წარმოიქმნება კოსმოსური გამოსხივებით. ვარსკვლავთშორისი პლაზმის ტემპერატურა ძალიან დაბალია. პლაზმითაა გარემოცული დედამიწაც. ატმოსფეროს ზედა ფენა დაახლოებით 60-70კმ სიმაღლეზე იონიზირებულია და მას იონისფეროს უწოდებენ.



ბაზრება



აირის ელექტროგამტარობის ექსპერიმენტული კვლევა

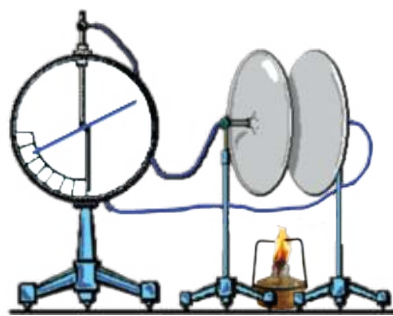
მოცემული გაქვს: ელექტრომეტრი, ლითონის ორი ბრტყელი ფირფიტა, სპირტქურა ან ასანთი, შემავრთველი სადენები, შალის და აბრეშუმის ქსოვილი.

მსვლელობა: ხახუნით დამუხტე თითოეული ფირფიტა, შესაბამისად, ერთი — შალის, მეორე კი აბრეშუმის ქსოვილის საშუალებით (ფირფიტები შეგიძლია ასევე დამუხტო ელექტროფორული მანქანითაც).

ააწყვე წრედი სურათის მიხედვით ისე, რომ ფირფიტები მცირე მანძილით იყოს ერთმანეთისაგან დაშორებული. დააკვირდი დამუხტული ელექტრომეტრის ისრის ჩვენებას.

ფირფიტებს შორის მოათავსე ანთებული სპირტქურა და გაათბე მათ შორის ჰაერი. კვლავ დააკვირდი ელექტრომეტრის ისრის ჩვენებას. შეადარე ისრის ჩვენებები ერთმანეთს. გაანალიზე ცდის შედეგი.

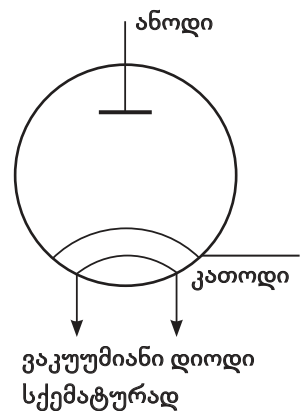
გამოიტანე დასკვნა: რატომ დაეშვა ელექტრომეტრის ისარი? რა სახისაა განმუხტვა?



საშინაო დავალება

მოემზადე პრეზენტაციისთვის და წარმოაჩინე: რა განსხვავებაა ელექტროლიტურ დისოციაციასა და აირის იონიზაციას შორის; სამართლიანია თუ არა ომის კანონი აირის განმუხტვისას; რა განსხვავებაა თავისთავად და არათავისთავად განმუხტვას შორის; სად იყენებენ მღვივარ განმუხტვას; რატომ ანათებს ელექტროდის მხოლოდ წანვეტებული ბოლოები. რა უპირატესობა აქვთ ნეონის ნათურებს ვარვარების ნათურებთან შედარებით?

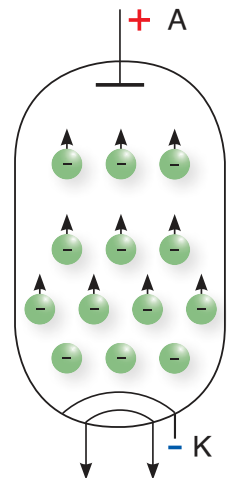
ვაკუუმი (სივრცე ნაწილაკების გარეშე) კარგი იზოლატორია, რადგან მასში არ არის მუხტის გადამტანები. ვაკუუმში ელექტრული დენის ბუნების შესასწავლად იყენებენ მინის მილაკს, რომელშიც ორი ელექტროდია ჩარჩილული. მილაკიდან ჰაერის ნაწილობრივი ამოტუმბავისას დარჩენილი მოლეკულები თავისუფლად, ერთმანეთთან დაუფახებლად იმოძრავენ მილაკის ერთი ბოლოდან მეორისაკენ. აირის ასეთი მდგომარეობაც შეიძლება ჩაითვალოს ვაკუუმად. ამგვარი აირი რომ ელექტროგამტარი გახდეს, მასში შეაქვთ დამუხტული ნაწილაკების წყარო. ლითონის მაღალ ტემპერატურამდე გახურების შედეგად მისი ზედაპირიდან ელექტრონები ამოიფრქვევა. ამ პროცესს **თერმოელექტრონული ემისია** ეწოდება. სწორედ ეს მოვლენაა გამოყენებული ვაკუუმურ მილაკში (სურ. 97) თავისუფალი მუხტების – ელექტრონების მისაღებად.



სურ. 97

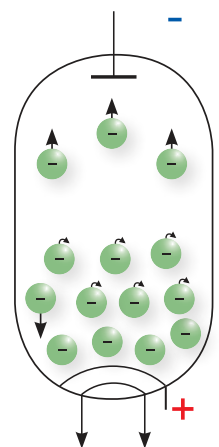
• ვაკუუმური დიოდი

ვაკუუმური მილაკის ერთ-ერთ ელექტროდს, რომელიც უარყოფით პოლუსთან არის მიერთებული – **კათოდს**, ახურებენ მაღალ ტემპერატურამდე (სურ. 98). გახურებული კათოდიდან თერმოელექტრული ემისიის გამო ელექტრონები ამოიფრქვევა და კათოდის ირგვლივ წარმოიქმნება „ელექტრონული ღრუბელი“. წრედის შეკვრისას ელექტრონების ნაწილი ტოვებს „ღრუბელს“ და მიემართება **ანოდისაკენ** – დადებით პოლუსთან მიერთებული ელექტროდისაკენ. მილაკში გაივლის ელექტრული დენი. თუ ანოდსა და კათოდს საპირისპირო ნიშნის პოლუსებთან შეაერთებენ (სურ. 99) ელექტრული ველი „ღრუბლის“ ელექტრონებს უკან დააბრუნებს დადებითად დამუხტული ელექტროდისაკენ. წრედი განრთული აღმოჩნდება და დენი არ გაივლის. ასეთი **ცალმხრივი გამტარობა** დამახასიათებელია ვაკუუმური დიოდებისთვის.

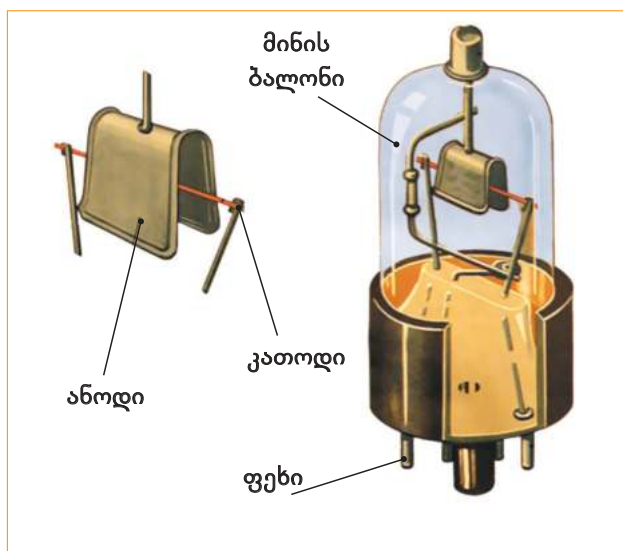


სურ. 98

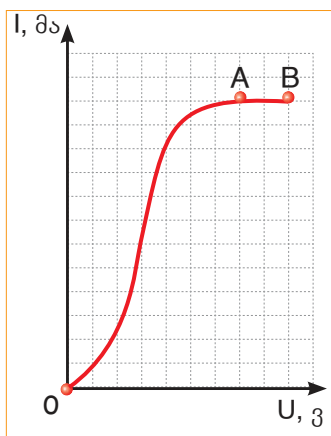
ვაკუუმური დიოდი არის ხელსაწყო, რომლის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია თერმოელექტრულ ემისიაზე. ვაკუუმური დიოდი შედგება მინის ან მეტალოკერამიკის ბალონისგან, რომლიდანაც ამოტუმბულია ჰაერი 10^{-6} - 10^{-7} მმ. ვწყ. სვ. წნევამდე. ბალონში ჩარჩილულია ორი ელექტროდი: **ანოდი** და **კათოდი** (სურ. 100). კათოდი – ლითონის ვერტიკალური ცილინდრია, რომელიც დაფარულია ტუტემინა ლითონების – ბარიუმის, სტრონციუმის, კალციუმის ოქსიდების შრით. ასეთ კათოდს ოქსიდური კათოდი ეწოდება. გახურებისას ოქსიდური კათოდის ზედაპირიდან გამოიყოფა გაცილებით მეტი ელექტრონი, ვიდრე სუფთა ლითონისაგან. კათოდის შიგნით კათოდისგან იზოლირებული წვრილი ვოლფრამის სპირალად დახვეული ძაფია, რომელიც დენით ხურდება. გახურებული კათოდი ამოაფრქვევს ელექტრონებს, რომლებიც მიემართება ანოდისაკენ, თუ მას კათოდთან შედარებით მაღალი პოტენციალი აქვს. მილაკის ანოდი ცილინდრული ფორმისაა, რომელსაც კათოდთან საერთო სიმეტრიის ღერძი აქვს.



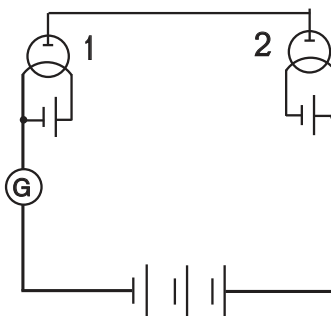
სურ. 99



სურ. 100



სურ. 101



სურ. 102

101-ე სურათზე გამოსახულია ვაკუუმური დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გრაფიკი. ვაკუუმური დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი, განსხვავებით ლითონის გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლისაგან, არ არის წრფივი. ამის ძირითადი მიზეზი არის ის, რომ დიოდში დენი წარმოიქმნება თერმოელექტრონული ემისიის შედეგად ამოფრქვეული თავისუფალი ელექტრონებით. ამ ელექტრონების რაოდენობა შეზღუდულია. ძაბვის ზრდისას ელექტრონების სულ უფრო მეტი რაოდენობა აღწევს ანოდს და დენი სწრაფად იზრდება. როცა კათოდიდან ამოფრქვეული ყველა ელექტრონი აღწევს ანოდს, ძაბვის შემდგომი ზრდისას დენი

ალარ იცვლება – დგება ნაჯერობა (გრაფიკზე **AB** უბანი). თუ კათოდის ტემპერატურას გავზრდით, მაშინ კათოდიდან მეტი რაოდენობის ელექტრონი ამოიფრქვევა და ნაჯერობის დენი მიიღება უფრო მაღალი ძაბვისას.

ვაკუუმური დიოდების ცალმხრივ გამტარობას იყენებდნენ ცვლადი დენის გამართვისათვის (მუდმივ დენად გარდაქმნისათვის). თანამედროვე მოწყობილობებში ვაკუუმური დიოდები შეცვლილია ნახევარგამტარული დიოდებით.



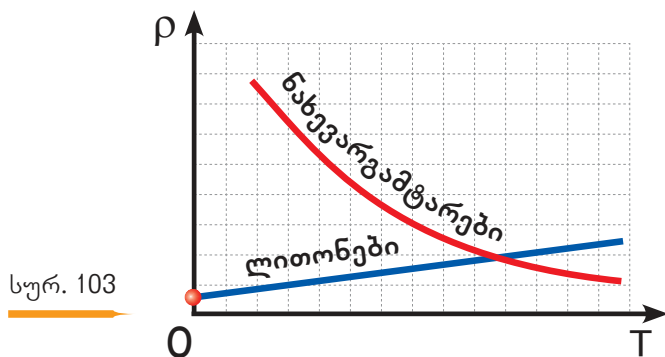
გაანზრება

- 102-ე სურათზე მოცემული სქემის მიხედვით იმსჯელე, გაივლის თუ არა წრედში დენი; შენი მოსაზრება დაასაბუთე.
- იმსჯელე, რატომ ქმნიან ვაკუუმს ელექტრონულ მილაკებში.
- ანთებული სანთელი მოათავსეს დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის. სანთლის ალი უარყოფითი ფირფიტისაკენ გადაიხარა. იმსჯელე, რატომ გადაიხარა ალი უარყოფითი ფირფიტისკენ.



საშინაო დავალება

- ვაკუუმურ დიოდში დენის ძალაა 0,2 ა. რამდენი ელექტრონი გაივლის ნათურაში 10 წმ-ში?
- ვაკუუმურ დიოდში თერმოელექტრონული ემისიის შედეგად ამოგლეჯილი ელექტრონი ამოდრავდა (საწყისი სიჩქარე $v_0 = 0$) კათოდიდან ანოდისაკენ. კათოდსა და ანოდს შორის ძაბვა 285 ვოლტია. გამოთვალე ელექტრონის სიჩქარე ანოდთან მიღწევისას ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ კ, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ კგ).
- კათოდსა და ანოდს შორის მანძილი 1 სმ-ია. რა დროში მიაღწევს ელექტრონი კათოდიდან ანოდამდე 440 ვ ძაბვისას (მოძრაობა თანაბარჩქარებულია)?



სურ. 103

იზიარა და იმსჯელა

გრაფიკების მიხედვით შეადარე ერთმანეთს ლითონებისა და ნახევარგამტარების კუთრი წინააღობების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (სურ. 103).

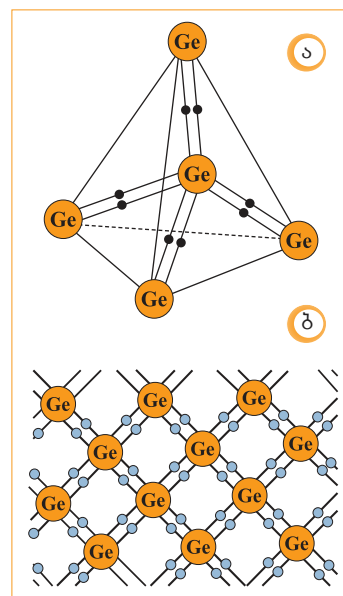
ნივთიერებები იყოფიან ელექტრული დენის გამტარებად და დიელექტრიკებად. თუმცა არის ნივთიერებები, რომლებიც არ მიეკუთვნებიან არც გამტარებს არც დიელექტრიკებს. მათ **ნახევარგამტარებს** უწოდებენ. ნახევარგამტარებს ელექტრული დენის გამტარობის მიხედვით შუალედური ადგილი უჭირავთ გამტარებსა და დიელექტრიკებს შორის. ნახევარგამტარული ნივთიერებები ხასიათდება განსაკუთრებული თვისებებით. კერძოდ, ამ ნივთიერებების კუთრი წინააღობა დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორზე, მაგალითად, ტემპერატურასა და სინათლის მოქმედებაზე. თუ **ტემპერატურის მომატებით ლითონების კუთრი წინააღობა მატულობს, ნახევარგამტარების წინააღობა მცირდება**. ლითონზე სინათლის მოქმედება მათ გამტარობაზე არ მოქმედებს, ნახევარგამტარების გამტარობა კი სინათლის მოქმედებით იზრდება (ანუ წინააღობა მცირდება). 103-ე სურათზე გამოსახულია კუთრი წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკები ლითონებისა და ნახევარგამტარებისათვის. როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, ტემპერატურის მომატებით ლითონების კუთრი წინააღობა იზრდება, ნახევარგამტარებისა კი მცირდება.

კუთრი წინააღობის ასეთი ცვლილება დაკავშირებულია ნივთიერების სტრუქტურასთან. მაგალითად, გერმანიუმის ყოველი ატომი გარემოცულია ოთხი უახლოესი მეზობელი ატომით (სურ. 104). მეზობელი ატომების წყვილთა ურთიერთქმედება წყვილელექტრონული ანუ ე. წ. კოვალენტური კავშირით ხორციელდება. ეს კავშირი წარმოიქმნება თითოეული ატომიდან თითო სავალენტო ელექტრონის მონაწილეობით (სურ. 105 ა), რომელიც ატომებს შორის საზიარო ხდება.

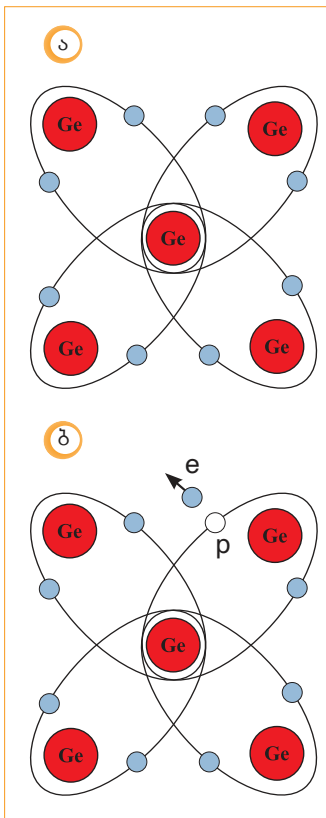
ნახევარგამტარის გათბობისა და განათების შედეგად ელექტრონები იღებენ ჭარბ ენერგიას, ირღვევა ცალკეული კავშირები, ზოგიერთი ელექტრონი მოწყდება ატომს და თავისუფალი ხდება (სურ. 105 ბ). სურათზე ნაჩვენებია ერთი ელექტრონის გათავისუფლება. კრისტალში კი, როგორც ცნობილია, ატომების ძალიან დიდი რიცხვია, ამიტომ დიდი რაოდენობის თავისუფალი ელექტრონების წარმოქმნა გამოიწვევს ელექტრული გამტარობის ზრდას. ე. ი., შემცირდება ნახევარგამტარის წინააღობა.

გამტარობას, რომელიც განპირობებულია ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების არსებობით, ელექტრონული გამტარობა ეწოდება.

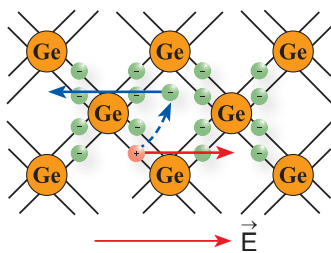
ატომიდან ელექტრონების ამოგდებისას წარმოიქმნება ვაკანტური ადგილი, რომელსაც აკლია ელექტრონი. მას **ხვრელს** უწოდებენ. ხვრელს შეესაბამება



სურ. 104



სურ. 105



სურ. 106

დადებითი მუხტი, რადგან მასში ელექტრონის ნაკლებობაა.

ხვრელის მდებარეობა კრისტალურ მესერში უცვლელი არ არის. ატომების შემაკავშირებელი ელექტრონები უწყვეტად გადაინაცვლებენ წარმოქმნილი ხვრელის ადგილზე, აქ აღდგება წყვილელექტრონული კავშირი, ხოლო იმ ადგილას, რომელიც დატოვა ელექტრონმა, ჩნდება ახალი ხვრელი. ამრიგად, ხვრელი გადაადგილდება მთელი კრისტალური მესერის გასწვრივ.

თუ ელექტრული ველის დაძაბულობა ნახევარგამტარში ნულის ტოლია, მაშინ ხვრელების გადაადგილება, რომელიც ტოლფასია დადებითი მუხტის გადაადგილებისა, ქაოსურია და არ წარმოქმნის დენს. ელექტრული ველის არსებობისას წარმოიქმნება ხვრელების მოწესრიგებული მოძრაობა და თავისუფალი ელექტრონების მიერ შექმნილ დენს ემატება დენი, რომელიც ხვრელების მოწესრიგებული მოძრაობით არის აღძრული. ხვრელების მოძრაობა ელექტრონების მოძრაობის საპირისპიროა (სურ. 106).

ამრიგად, ნახევარგამტარში გვაქვს **ორი ტიპის მუხტის მატარებლები: ელექტრონები და ხვრელები**. ამიტომ ნახევარგამტარებს არა მხოლოდ ელექტრონული, არამედ ხვრელური გამტარობაც ახასიათებს.

ასეთ გამტარობას **ნახევარგამტარის საკუთარი გამტარობა ეწოდება**.

ნახევარგამტარული ნივთიერებები უხვადაა ბუნებაში. ისინი დედამიწის ქერქის შემადგენლობის 4/5-ს შეადგენს. მარტივი ნახევარგამტარული ნივთიერებებია: გერმანიუმი Ge, სილიციუმი Si, სელენი Se და სხვ.

თანამედროვე ქიმიური ტექნოლოგიით მიღებულია რთული ნახევარგამტარული ნივთიერებები. მაგალითად, ორელემენტისანი გალიუმის არსენიდი GeAs, ინდიუმის არსენიდი InAs და სხვ.

სამელემენტისანია შემდეგი ნივთიერებები: AlGaAs, InGaAs და სხვ.

შექმნილია ოთხ და ხუთელემენტისანი შენაერთებიც, რომლებსაც ნახევარგამტარული თვისებები აქვთ. გარდა ამ ნივთიერებებისა, შექმნილია აგრეთვე ორგანული ნახევარგამტარები და მაგნიტური ნახევარგამტარები.



გაანჯრება

1. იმსჯელე ნახევარგამტარებში წყვილელექტრული კავშირის შესახებ (სურ. 105).
2. იმსჯელე, რა განაპირობებს ნახევარგამტარებში ელექტრონულ და ხვრელურ გამტარობას?



საშინაო დავალება

მოიპოვე ინფორმაცია და აღწერე, როგორ წარმოიქმნება ელექტრულ ველში მოათავსებულ ნახევარგამტარებში გამტარობა.



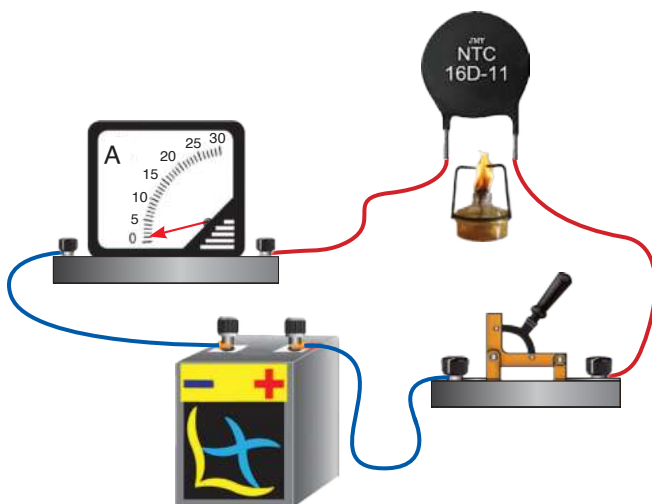
I. ნახევარგამტარის წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების კვლევა

მოცემული გაქვს: დენის წყარო (კვების წყარო), ნახევარგამტარული ნივთიერება (თერმორეზისტორი), ჩამრთველი, ამპერმეტრი, შემაერთებელი სადენები, სპირტქურა.

მსვლელობა: სურათის მიხედვით ააწყვე წრედი. დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას ჩამრთველის ჩართვისას.

ნახევარგამტარს მიუახლოვე ანთებული სპირტქურის ალი (სანთლის ალი ან რაიმე სითბური წყარო) და დააკვირდი ამპერმეტრის ისრის ჩვენებას. მოაშორე სითბოს წყარო, კვლავ დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას. გაანალიზე ცდის შედეგი.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ იცვლება დენის ძალა და, შესაბამისად, კუთრი წინააღობა ნახევარგამტარის გათბობის შედეგად?

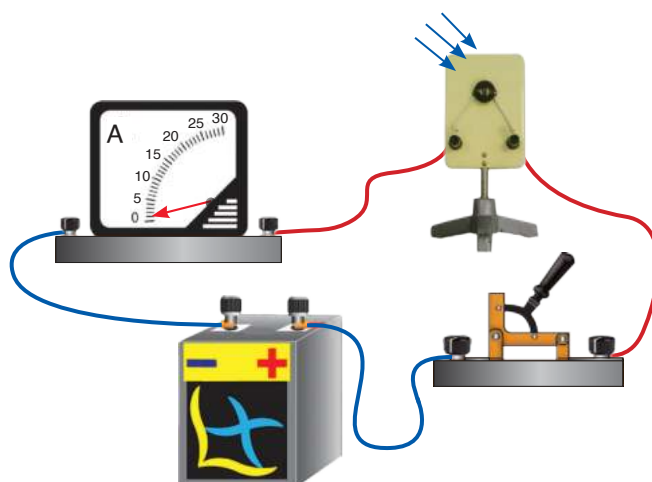


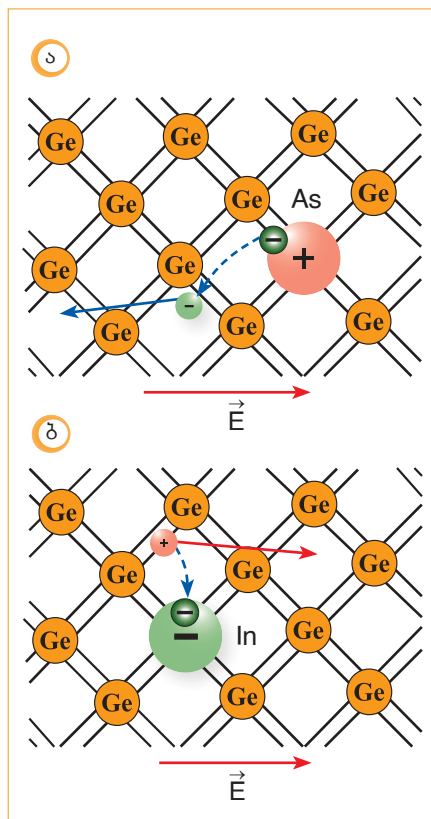
II. ნახევარგამტარის წინააღობის სინათლის ზემოქმედებაზე დამოკიდებულების კვლევა

მოცემული გაქვს: დენის წყარო (კვების წყარო), ნახევარგამტარული ფირფიტა (ფოტორეზისტორი), ჩამრთველი, ამპერმეტრი, შემაერთებელი სადენები, სინათლის წყარო (მზის სხივები ან ელექტრულ ქსელში ჩართული ვარვარების ნათურა).

მსვლელობა: სურათის მიხედვით ააწყვე წრედი. ჩართე ჩამრთველი და დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას. სინათლის წყაროთი გაანათე ფირფიტის ზედაპირი. კვლავ დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას. მოაშორე სინათლის წყარო ნახევარგამტარს და დააკვირდი ამპერმეტრის ჩვენებას. გაანალიზე ცდის შედეგი.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ იცვლება დენის ძალა და, შესაბამისად, ნახევარგამტარის კუთრი წინააღობა მასზე სინათლის ზემოქმედებით?





სურ. 107

ნახევარგამტარების საკუთარი გამტარობა დიდი არ არის. ეს გამოწვეულია იმით, რომ თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი ნახევარგამტარებში, გამტარებთან შედარებით მცირეა. მაგალითად, გერმანიუმში, ოთახის ტემპერატურაზე თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $3 \cdot 10^{13} \text{ სმ}^{-3}$. ნახევარგამტარების გამტარობა იზრდება მასში მინარევების შეტანით. ამ შემთხვევაში საკუთარ გამტარობასთან ერთად წარმოიქმნება დამატებითი მინარევული გამტარობა. **მინარევული გამტარობა ეწოდება გამტარობას, რომელიც განპირობებულია ნახევარგამტარში მინარევების შემცველობით.**

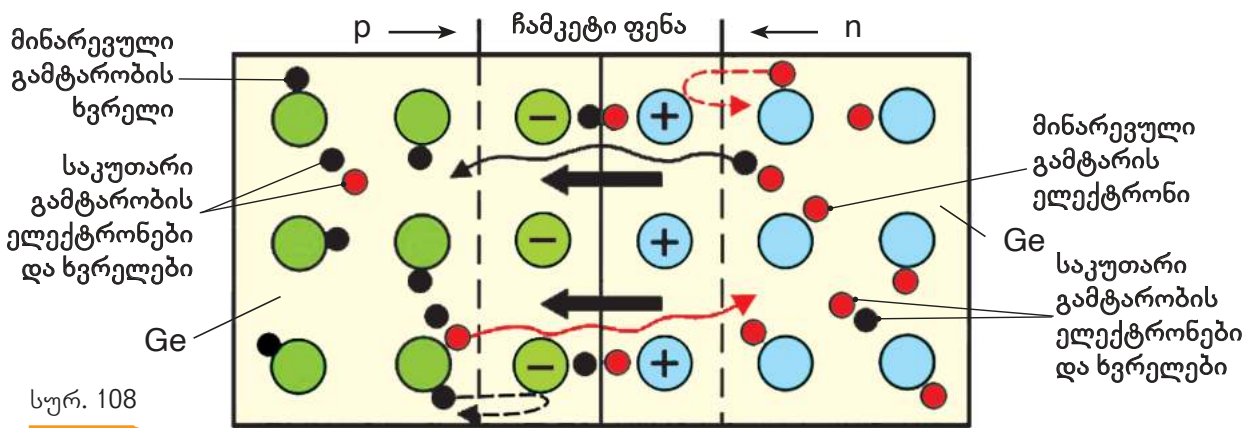
მინარევული ცენტრები შეიძლება იყოს:

1. ქიმიური ელემენტის ატომები ან იონები, რომლებიც ჩანერგილი არიან ნახევარგამტარების მესერში;
2. ჭარბი ატომები ან იონები, რომლებიც ჩანერგილი არიან მესრის კვანძებს შორის;
3. კრისტალურ მესერში სხვადასხვა ტიპის დეფექტები და კრისტალური მესერის გამრუდება: ცარიელი კვანძები, ბზარები, ძვრა, რომელიც კრისტალების დეფორმაციისას არის წარმოქმნილი.

მინარევების კონცენტრაციის შეცვლით შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ამა თუ იმ ნიშნის მუხტის მატარებლების რიცხვი და შეიქმნას ნახევარგამტარები უპირატესად ან დადებითი, ან უარყოფითი დამუხტული ნაწილაკების კონცენტრაციით.

მინარევები შეიძლება იყოს **დონორული (გამცემი)** და **აქცეპტორული (მიმღები)**. თუ ნახევარგამტარული ნივთიერება, მაგალითად, Ge, შეიცავს მინარევებს, მაშინ საკუთარ გამტარობასთან ერთად არსებობს მინარევული გამტარობაც (სურ. 107 ა, ბ). ამასთან, ნახევარგამტარში მინარევის, დავუშვათ, დარიშხანის ატომების მცირე კონცენტრაციის შემთხვევაშიც კი თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი მკვეთრად იზრდება. დარიშხანის, As ატომს აქვს 5 სავალენტო ელექტრონი, მათგან ოთხი მონაწილეობს ნახევარგამტარის, მაგ., გერმანიუმის (Ge) ატომთან კოვალენტური ბმის შექმნაში, მეხუთე ელექტრონი კი – თავისუფალია. გერმანიუმში ყოველ სმ^3 -ში დაახლოებით 10^{23} ატომია. დარიშხანის, როგორც მინარევის, კონცენტრაცია მილიონჯერ ნაკლებიც რომ იყოს, მინარევული გამტარობა მნიშვნელოვანი იქნება. ეს ნიშნავს, რომ მინარევულ გამტარებლობას განაპირობებს 10^{17} მინარევის ელექტრონი ყოველ სმ^3 -ში. ეს კი დაახლოებით 10000-ჯერ მეტია სუფთა გერმანიუმის საკუთარ გამტარობაზე. მინარევს, რომელიც ადვილად გასცემს ელექტრონს, **დონორული მინარევი** ეწოდება (სურ. 107 ა), ხოლო ნახევარგამტარი ასეთი მინარევით – **n ტიპის ნახევარგამტარია** (negative – უარყოფითი). მინარევს, რომელსაც აქვს უნარი, ადვილად მიიერთოს ელექტრონი, **აქცეპტორული მინარევი** ჰქვია. მაგალითად, ინდიუმის (In) მინარევის ატომს აქვს სამი სავალენტო ელექტრონი, ამიტომ გერმანიუმის ატომთან კოვალენტური ბმისათვის აკლია ერთი ელექტრონი. შედეგად წარმოიქმნება იმდენი ხვრელი, რამდენი მინარევის ატომიც არის ნახევარგამტარში (სურ. 107 ბ). ასეთ ნახევარგამტარს **p ტიპის ნახევარგამტარს** (positive – დადებითი) უწოდებენ.

● **n და p ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტი**



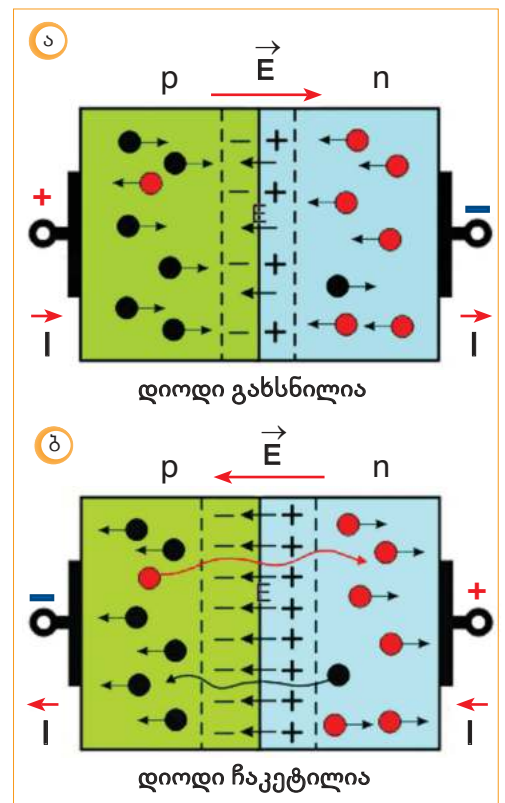
p ტიპის ნახევარგამტარში მუხტის ძირითადი მატარებლები ხვრელებია, ხოლო ელექტრონები არაძირითადი მატარებლები. n ტიპის ნახევარგამტარში ელექტრონებია მუხტის ძირითადი მატარებლები, ხოლო ხვრელები — არაძირითადი.

n და p ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტისას წარმოიქმნება **p-n გადასვლა** ანუ ელექტრონულ-ხვრელური გადასვლის არე, რომელშიც მიმდინარეობს მუხტების მატარებლების გადასვლა ერთი ტიპის ნახევარგამტარიდან მეორეში (სურ. 108).

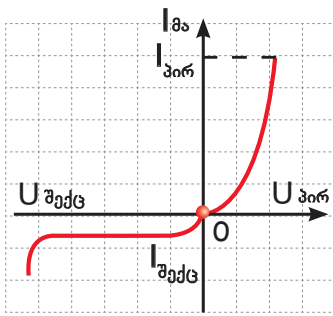
n და p ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტის არეში (ჩამკეტი ფენა) წარმოიქმნება **დიფუზური დენი**. მუხტის ძირითადი მატარებლები ქაოსური მოძრაობის გამო იმ არიდან, სადაც მათი რაოდენობა მეტია, გადავლენ არეში, სადაც მათი რაოდენობა ნაკლებია. შედეგად, სასაზღვრო არე დაიზოგება და p ტიპის ნახევარგამტარის არე, რომელიც ესაზღვრება გამყოფ არეს, მიიღებს დამატებით უარყოფით მუხტს, რომელიც მოაქვთ ელექტრონებს, ხოლო n ტიპის ნახევარგამტარში სასაზღვრო არე მიიღებს დამატებით მუხტს, რომელიც მოაქვთ ხვრელებს. ამრიგად, გამყოფი არე იქნება შემოსაზღვრული ორი საწინააღმდეგო ნიშნის სივრცული მუხტით, რომელიც ქმნის მუხტების ძირითადი მატარებლებისაგან გაღარიბებულ **ჩამკეტი ფენას**. ჩამკეტი ფენის წინააღმდეგობა დანარჩენი ნაწილების წინააღმდეგობაზე გაცილებით მეტია. ამიტომ ის უშლის მუხტის ძირითადი მატარებლების მოძრაობას **p-n გადასავლელზე**.

ელექტრული ველი E , რომელიც იქმნება მოცულობითი მუხტების მიერ წარმოქმნილი არით, იწვევს **დრეიფის დენს**, რომელიც დიფუზური დენის საწინააღმდეგო მიმართულებისაა. ბოლოს და ბოლოს, დიფუზური და დრეიფის დენს შორის დამყარდება **დინამიკური წონასწორობა** და შეწყდება მუხტების გადასვლა.

ნახევარგამტარების ასეთი კონტაქტის გარე ელექტრულ ველში მოთავსებისას ადგილი აქვს **ცალმხრივ გამტარობას**. თუ მოვდებთ გარეშე ველის ძაბვას ისე, რომ მის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი საწინააღმდეგოდ იყოს მიმართული სივრცული



სურ. 109



სურ. 110

მუხტის არეებს (ანუ ჩამკეტ ფენას) შორის არსებული ელექტრული ველის მიმართ, დინამიკური წონასწორობა დაირღვევა და დიფუზური დენი გადააჭარბებს დრეიფის დენს, რომელიც ძაბვის გაზრდით სწრაფად იზრდება. ამის გამო ჩამკეტი ფენა პატარავდება. ძაბვის ასეთ მოდებას **p-n** გადასასვლელზე ეწოდება პირდაპირი ნანაცვლება ანუ პირდაპირი გადასვლა (სურ. 109 ა).

თუ გარეშე ძაბვა მოდებულია ისე, რომ მის მიერ შექმნილი ველი ემთხვევა სივრცული მუხტების მიერ შექმნილ ველს, მაშინ ეს კიდევ უფრო გაზრდის ჩამკეტ ფენას და დენი **p-n** გადასასვლელზე არ გაივლის. ძაბვის ასეთი მოდება **p-n** – გადასასვლელზე არის შექცეული ნანაცვლება ანუ შექცეული გადასვლა (სურ. 109 ბ).

პირდაპირი გადასვლისათვის დენის წყაროს დადებით პოლუსს აერთებენ **p** ტიპის ნახევარგამტართან, უარყოფითს — **n** ტიპის ნახევარგამტართან. **p-n** გადასასვლელს ახასიათებს ცალმხრივი გამტარობა და მისი ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი გამოსახულია 110-ე სურათზე.



ბაზრება

აზრობრივად დაუკავშირე ერთმანეთს მართებული მტკიცებულებები:

1. საკუთარი გამტარებლობის ნახევარგამტარებში მუხტის გადამტანებია...
2. ნახევარგამტარებში დონორული მინარევით მუხტის გადამტანები ძირითადად არის...
3. ნახევარგამტარებში აქცეპტორული მინარევით მუხტის გადამტანები ძირითადად არის...

- ა. ხვრელები;
- ბ. ელექტრონები;
- გ. ელექტრონები და ხვრელები.

	ა	ბ	გ
1			
2			
3			

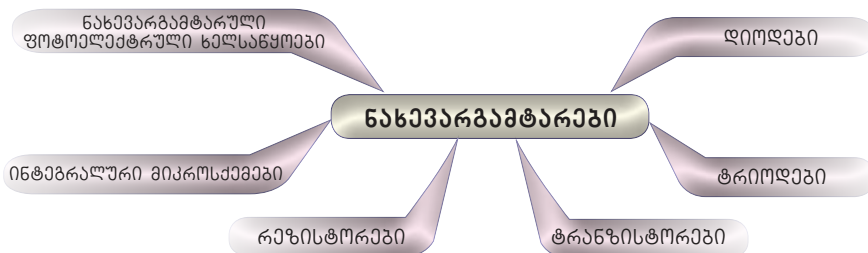


საშინაო ღვაწლუბა

1. გერმანიუმში ელექტრონების საერთო კონცენტრაციაა $4,5 \cdot 10^{28} \text{ მ}^{-3}$, მუხტის გადამტანი ელექტრონების კონცენტრაცია $3 \cdot 10^{19} \text{ მ}^{-3}$. გამოთვალე გერმანიუმში ელექტრონების საერთო კონცენტრაციის რა ნაწილს შეადგენს მუხტის გადამტანი ელექტრონების კონცენტრაცია.
2. 3,2 მმ სიგანისა და 250 მკმ სისქის თხელ სილიციუმის ფირფიტაში, რომელიც შეიცავს ფოსფორის მინარევს, გამავალი დენის ძალაა 5,2 მა. ფოსფორის შემცველობის გამო სილიციუმში **n** ტიპისაა და მასში ელექტრონების კონცენტრაცია გაცილებით მეტია სუფთა სილიციუმში არსებული ელექტრონების კონცენტრაციაზე. სილიციუმის მოცემულ ნიმუშში ელექტრონების კონცენტრაცია $1,5 \cdot 10^{23} \text{ მ}^{-3}$. გამოთვალე ელექტრონების მოწესრიგებული მიმართული მოძრაობის (დრეიფის) სიჩქარე.
3. გამოთვალე ნახევარგამტარული დიოდის წინაღობა პირდაპირი და უკუჩართვისას, თუ პირდაპირი ჩართვისას 0,5 ვ ძაბვაზე დენის ძალაა 5 მა-ია, ხოლო უკუჩართვისას 10 ვ ძაბვაზე დენის ძალაა 0,1 მა. რა თანაფარდობაა წინაღობებს შორის?

ნახევარგამტარული ხელსაწყოები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ელექტროტექნიკის განვითარებაში.

ნახევარგამტარები გამოიყენება მრავალ ხელსაწყოში.



ნახევარგამტარული დიოდი

ნახევარგამტარული დიოდი არის ორელექტროდიანი ელექტრული ხელსაწყო, რომელსაც აქვს სხვადასხვა გამტარობა, ელექტრული დენის მიმართულების მიხედვით.

დიოდის იმ ელექტროდს, რომელიც შეერთებულია დენის წყაროს დადებით პოლუსთან, როცა დიოდი გახსნილია (ე. ი., აქვს მცირე წინაღობა), უწოდებენ **ანოდს**. უარყოფით პოლუსთან შეერთებულ ელექტროდს უწოდებენ **კათოდს**.

ნახევარგამტარულ დიოდებს **p-n** კონტაქტის გამო ახასიათებთ ცალმხრივი გამტარობა და ეს დამოკიდებულია იმაზე, დენის წყაროს რომელ პოლუსს უერთდება **p** – ან **n** – კონტაქტი (სურ. 111 ა).

ცალმხრივი გამტარობა გამოისახება დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლით (სურ. 110). პირდაპირი წანაცვლებისას **p** – ტიპის ნახევარგამტარი შეერთებულია დენის წყაროს დადებით პოლუსთან. ძაბვის მცირედი გაზრდა დენის ძალის მკვეთრ გაზრდას იწვევს. შექცეული (უკუ) წანაცვლებისას **p** – ტიპის ნახევარგამტარი შეერთებულია დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან. ძაბვის მომატებით დენის ძალა თუმცა უმნიშვნელოდ იზრდება, მაგრამ მაინც ნულთან ახლოსაა და დიოდი პრაქტიკულად დენს არ ატარებს.

ნახევარგამტარული დიოდები გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულებით: ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდასაქმნელად, ლაზერებად, დეტექტორებად, ტემპერატურის გამზომად, ფოტოდiodებად, შუქდიოდებად. შუქდიოდი არის სინათლის მინიატურული წყარო (სურ. 111 ბ, გ). ის გამოიყენება ოთახების გასანათებად (სურ. 112), ინდიკატორებად, შუქნიშნებში, ტელევიზორებში, ავტომობილის ფარებში, ოპტიკურ ბოჭკოებში სიგნალის გადასაცემად, მობილურ ტელეფონებში განათებისათვის, თხევადკრისტალიანი ეკრანების (ტელევიზორებში) განათებისათვის.

ნახევარგამტარული ლაზერი

ნახევარგამტარული ლაზერი არის კვანტური გენერატორი, ხელსაწყო, რომელშიც დენის წყაროსთან პირდაპირი შეერთებისას **p-n** კონტაქტში წარმოიქმნება ელექტრონულ-ხვრელური წყვილების დიდი რაოდენობა. მუხტების წყვილების რეკომბინა-



სურ. 111



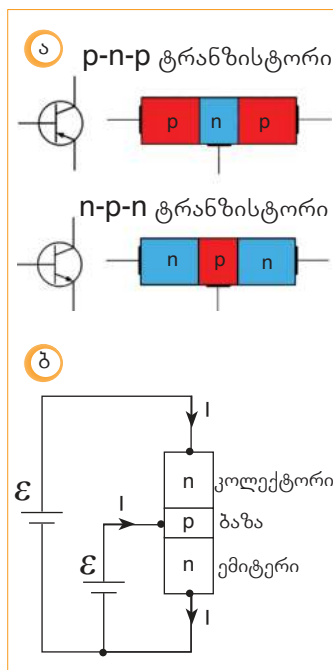
სურ. 112



სურ. 113



სურ. 114



სურ. 115



სურ. 116

ციის შედეგად აღიძვრება ძლიერი გამოსხივება, რომელიც ოპტიკური ხელსაწყოების გამოყენებით კონცენტრირებულად, ერთი მიმართულებით ვრცელდება (სურ. 113). ლაზერების გამოყენების სფერო ძალიან ვრცელია. სხივების ენერგია იმდენად დიდია, რომ მას შეუძლია ლითონის დაჭრა ნაწილებად. ლაზერები გამოიყენება პრინტერებში, რომლებიც ერთ წუთში 14-ზე მეტ გვერდს ბეჭდავენ. უწყვეტი გამოსხივების ლაზერით ოფთალმოლოგიაში მკურნალობენ თვალის სნეულებებს, ლაზერით ატარებენ უმტკივნეულო ოპერაციებს (სურ. 114). ლაზერები გამოიყენება აგრეთვე წარმოდგენების გასამართად, დეკორაციების მაგივრად და სხვ.

● ტრანზისტორი

ტრანზისტორი თანამედროვე ელექტრონული მოწყობილობების ძირითადი ელემენტია. გამოყენების თვალსაზრისით, ის წააგავს ცვლადი წინააღობის რეზისტორს, რომლის წინააღობა იცვლება სამართავი ელექტრული სიგნალის ზემოქმედებით. ტრანზისტორი სამელექტროდიანი ნახევარგამტარული მოწყობილობაა (სურ. 115 ა, ბ).

ე.წ. ბიპოლარული ტრანზისტორები, ისევე როგორც ნახევარგამტარული დიოდი ნახევარგამტარული კრისტალია, რომელიც შეიცავს **p-n** გადასვლებს. დიოდისგან განსხვავებით, ტრანზისტორში ასეთი გადასვლები ორია. მისი სტრუქტურა შეიძლება იყოს **n-p-n** ან **p-n-p**. ასეთ სტრუქტურაში ორ კიდურა სეგმენტს შორის წინააღობა მცირდება, თუ შუა სეგმენტსა და ერთ-ერთ კიდურა სეგმენტს შორის დენს პირდაპირი მიმართულებით გაატარებენ. შუა სეგმენტს ბაზას უწოდებენ, ხოლო კიდურა სეგმენტებიდან ერთ-ერთს — **კოლექტორს** და მეორეს — **ემიტერს**.

ემიტერსა და კოლექტორს შორის გამავალი დენის ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ამ ორ ელექტროდს შორის მოდებულ ძაბვასა და ბაზა-ემიტერის დენზე. თუ კოლექტორ-ემიტერის ძაბვა საკმარისად დიდია, მაშინ ბაზა-ემიტერის დენის მცირე მნიშვნელობისთვისაც კი, კოლექტორ-ემიტერის წინააღობის შემცირება გამოიწვევს ამ ელექტროდებს შორის მნიშვნელოვანი სიდიდის დენის გავლას. ამრიგად, ტრანზისტორის გამოყენებით მიიღწევა დენის გაძლიერება.

● თერმისტორი

თერმისტორი ყველაზე მარტივი ნახევარგამტარული რეზისტორი (სურ. 116 ა), რომლის ელექტრული წინააღობა საგრძნობლად არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე. ტემპერატურა იზომება თერმისტორის შემცველ წრედში დენის ძალის სიდიდის მიხედვით. თერმისტორის გამოყენებით ზომავენ ისეთ ტემპერატურას, რომლის გაზომვა სითხიანი თერმომეტრებით შეუძლებელია. ტემპერატურის გასაზომად სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში სხვადასხვა თერმისტორს იყენებენ. ნახევარგამტარული თერმისტორებით შესაძლებელია ტემპერატურის გაზომვა – 100°C-დან 1 030°C- მდე. არსებობს თერმისტორები, რომლებიც გათვალისწინებულია – 268,8°C გასაზომად.

თერმისტორებს იყენებენ ტემპერატურის დისტანციური გაზომვისათვის, ხანძარსა და სიგნალიზაციისათვის, ტემპერატურის სტაბილიზაციისათვის. იგი მრავალ საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოშიც გამოიყენება, მაგალითად, სარეცხ მანქანებში. 116 ბ სურათზე გამოსახულია თერმისტორის სქემატური აღნიშვნა.

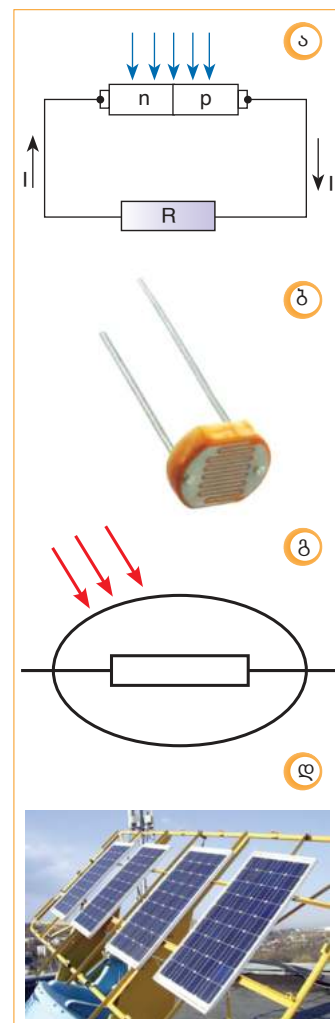
● ფოტორეზისტორი

ფოტორეზისტორი არის ნახევარგამტარული ხელსაწყო, რომლის ელექტრული წინააღმდეგობა დამოკიდებულია სინათლის ზემოქმედებაზე (სურ. 117 ა, ბ). 117-ე გ სურათზე გამოსახულია ფოტორეზისტორის სქემატური აღნიშვნა. წრედში, რომელშიც ჩართულია ასეთი ნახევარგამტარული ხელსაწყო, განათებისას დენი საგრძნობლად იმატებს. დენის ასეთი ზრდა გათვლილია არ არის დაკავშირებული, რადგან ასეთი ეფექტი შეინიშნება უცვლელი ტემპერატურის დროსაც. დენის მომატება გამოწვეულია ნახევარგამტარში სინათლის ენერგიის ხარჯზე დამატებითი თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელების გაჩენით. ამ მოვლენას **შიგა ფოტოელექტრულ ეფექტს** უწოდებენ. ნახევარგამტარული ფოტორეზისტორები გამოირჩევა მინიატურულობით და მაღალი მგრძნობიარობით სინათლის ნაკადის მიმართ. ფოტორეზისტორებს ძირითადად იყენებენ ავტომატიკაში, კომპიუტერულ მოწყობილობებში, ქუჩის განათების ავტომატურად ჩართვისათვის და სხვ. ფოტოელემენტების ანუ მზის ბატარეების საშუალებით შესაძლებელია მზის ენერგიის ენერგეტიკული საჭიროებისათვის გამოყენება. ამჟამად არსებობს ელექტროსადგურები, რომლებიც ფოტოელემენტებიდან მიღებული ელექტრული ენერგიით ამარაგებენ მოსახლეობას (სურ. 117 დ).

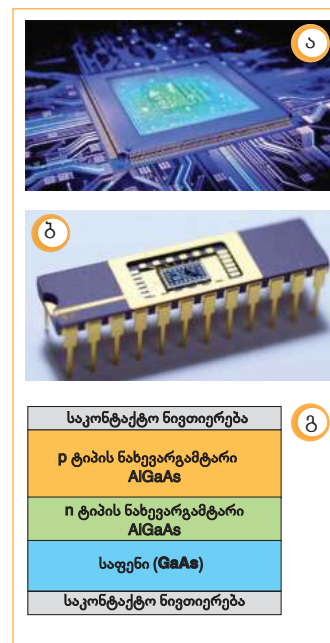
● ინტეგრალური მიკროსკემა

თანამედროვე ელექტრონულ მოწყობილობებში გამოყენებულია ინტეგრალური მიკროსკემები, რომლებიც, გარდა რეზისტორებისა და კონდენსატორებისა, შეიცავენ ნახევარგამტარულ დიოდებსა და ტრანზისტორებს. ამ ელემენტების რაოდენობა ერთ ინტეგრალურ სქემაში თითქმის ფრჩხილის ფართობზე მილიარდს აღწევს (სურ. 118 ა, ბ).

მაღალსიჩქარულ ოპტოელექტრონიკაში გამოიყენება ნახევარგამტარული ჰეტეროსტრუქტურები. ჰეტეროსტრუქტურა არის „საფენზე გაზრდილი“ ფენოვანი სტრუქტურა, რომელიც შედგება სხვადასხვა ნახევარგამტარისაგან. სურათ 118 გ-ზე ნაჩვენებია ჰეტეროგადასვლის ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი. ორ სხვადასხვა ნივთიერებას შორის ყალიბდება ჰეტეროგადასვლა, რომელშიც შესაძლებელია დენის მატარებლების დიდი კონცენტრაციის მიღება. ამ მოვლენას იყენებენ ჩქარი მოქმედების ოპტო- და მიკროელექტრონული კომპონენტების შესაქმნელად. ჰეტეროსტრუქტურებით შესაძლებელია მიკროელექტრონიკაში გამოყენებული ხელსაწყოების დამზადება. ასეთი ჰეტეროსტრუქტურების შექმნისათვის 2000 წელს ჟორეს ალფიოროვს და ჰერბერტ კრიომერს ნობელის პრემია მიენიჭათ.



სურ. 117



სურ. 118

1

ექსპერიმენტული კვლევა

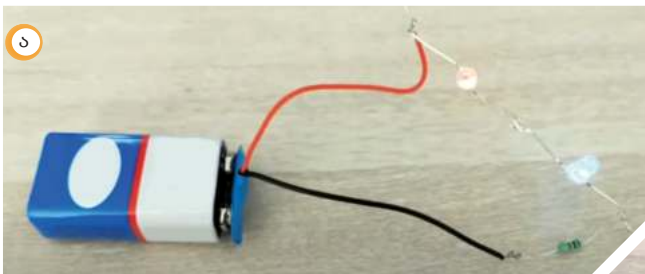
შუქდიოდების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

მოცემული გაქვს: 9 ვოლტი ძაბვის მუდმივი დენის წყარო (ბატარეა), ან ლაბორატორიული კვების წყარო. 300 ან 400 ომი წინააღობის რეზისტორი, შემაერთებელი სადენები, შუქდიოდები.

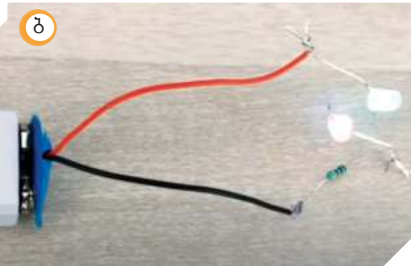
მსვლელობა: ა. შუქდიოდები წინააღობასთან ერთად შეაერთე სადენებით მიმდევრობით დენის წყაროსთან. გაითვალისწინე, დენის წყაროს დადებით პოლუსთან უნდა შეაერთო ნათურის დადებითი პოლუსი (გრძელი „ფეხი“), შესაბამისად, უარყოფითი პოლუსი კი — უარყოფითთან. რატომ ქრება ანაწყობის ნათურები თუ ერთ-ერთი ნათურა გადაიწვება? რა მსგავსებაა ნაძვის ხის ნათურების ანაწყობსა და შენ მიერ აწყობილ წრედს შორის?

ბ. შუქდიოდები შეაერთე პარალელურად დენის წყაროსთან გამტარებით მიერთებისას გაითვალისწინე მათი პოლუსები (წინა ცდის ანალოგიურად). რატომ არ ქრება ანაწყობის ნათურები, თუ ერთ-ერთი ნათურა გადაიწვება? რა მსგავსებაა ჭაღში ნათურების შეერთებისა და შენს ანაწყობში ნათურების შეერთების პრინციპებს შორის?

გ. ძაბვისა და დენის ძალის ნომინალური მნიშვნელობების (3ვ; 20 მა) მიხედვით გამოთვალე ნათურის წინააღობა და ნომინალური სიმძლავრე. გამოთვალე ანაწყობის სიმძლავრე მიმდევრობითი და პარალელური შეერთებისას. შეადარე ერთმანეთს და გამოიტანე დასკვნა.



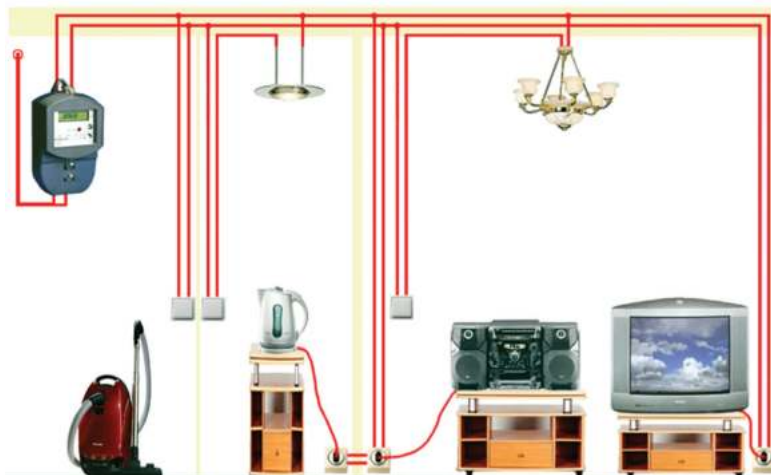
მიმდევრობით შეერთება

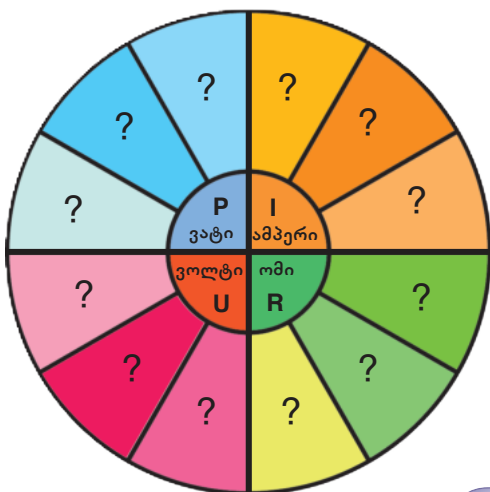


პარალელური შეერთება

2

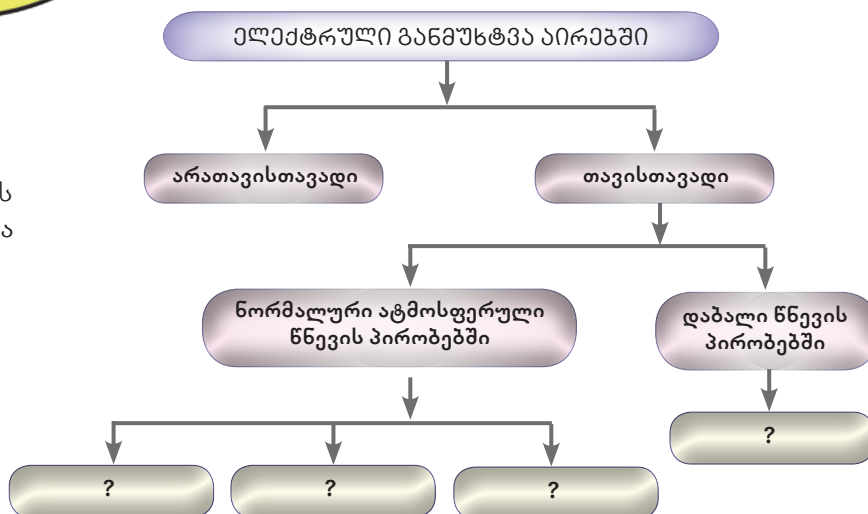
იმსჯელე, საყოფაცხოვრებო ელექტრული ხელსაწყოების შეერთების შესახებ და დახაზე შესაბამისი სქემა (საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოები წრედში აღნიშნე წინააღობის სიმბოლოთი — R).



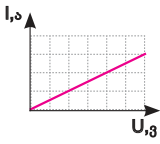
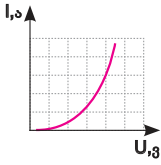
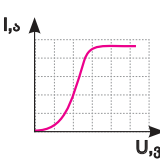
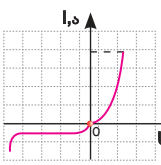


3 შეავსე დიაგრამა ელექტრული დენის მახასიათებელი სიდიდეების შესაბამისი ფორმულებით.

4 იმსჯელე, ელექტრული დენის შესახებ აირებში და დაასრულე სქემა.



5 იმსჯელე, ელექტრული დენის შესახებ სხვადასხვა გარემოში და დაასრულე ცხრილი.

	გამტარი ნივთიერებები			
	?	?	?	?
ელექტრული მუხტების თავისუფალი მატარებლები	ელექტრონები	დადებითი და უარყოფითი იონები	ელექტრონები, დადებითი და უარყოფითი იონები	ელექტრონები, სვრელები
ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი	წრფივია 	არაწრფივია 	არაწრფივია 	არაწრფივია 
ელექტრული დენის გამტარში გავლისას	არ ხდება ნივთიერების გადატანა	თან ახლავს ნივთიერების გადატანა	თან ახლავს ნივთიერების გადატანა	არ ხდება ნივთიერების გადატანა
წინააღმდეგობა ტემპერატურის გაზრდისას	იზრდება	მცირდება	მცირდება	მცირდება



**ფრთხილად!
მაღალი ძაბვა!**

თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება წარმოუდგენელია ელექტრობის გარეშე. თუმცა ელექტრობა შეიძლება სახიფათო გახდეს ადამიანისთვის.

ზოგჯერ მაღალი ძაბვის დენიანი სადენი წყდება და მისი ერთი ბოლო მიწაზე ეცემა. მიწა დენის კარგი გამტარია. ასეთი სადენის სიახლოვეს გავლა სახიფათოა.

მაღალი ძაბვის დენის მოქმედებისას ადამიანის თითები სპაზმის გამო შემოეჭირება დენის წყაროს ან დენიან გამტარს. ამიტომ საჭიროა უსაფრთხოების წესების დაცვა. აუცილებელია ვიცოდეთ და დავიცვათ უსაფრთხოების წესები ელექტროხელსაწყოების გამოყენებისას.



გაითვალისწინე:

- ⚠ ფიზიკის ლაბორატორიაში ექსპერიმენტების ჩატარებისას არ ისარგებლო ისეთი დენის წყაროთი, რომლის ძაბვა 36 ვოლტზე მეტია;
- ⚠ არ გამოიყენო ელექტრული წრედის აწყობის დროს გამტარი, რომლის იზოლაცია დაზიანებულია;
- ⚠ არ ჩართო დენის წყაროში ერთდროულად რამდენიმე ხელსაწყო;
- ⚠ შტეფსელიდან სადენის მოქაჩვა მისი გამორთვისას სახიფათოა (სურ. ა);
- ⚠ თითების ან სხვა ნივთების ჩაყოფა შტეფსელში სიცოცხლისათვის სახიფათოა (სურ. ბ);
- ⚠ არ შეიძლება დენში ჩართული ხელსაწყო შეკეთება;
- ⚠ წყლის ჩასხმა მხოლოდ წრედიდან გამორთულ ელექტროჩაიდანში შეიძლება;
- ⚠ დენში ჩართულ მადულარაში ლითონის კოვზით მორევა სიცოცხლისათვის სახიფათოა;
- ⚠ ხელსაწყოები თავდაპირველად დამაგრძელებელში ჩართე და შემდეგ შეაერთე დამაგრძელებელი დენის წყაროსთან (სურ. გ);
- ⚠ გამტარი და ჩამრთველი თუ ცხელდება აუცილებლად გამორთე წრედიდან; გაცხელების მიზეზი კონტაქტის ეროზიაა
- ⚠ გამოცვალე ნათურა როდესაც წრედი გამორთულია;
- ⚠ დენიანი გამტარისგან ადამიანის დასახსნელად არ შეეხო მას შიშველი ხელებით. ხელზე უნდა გადაიხვიო რაიმე ნაჭერი ან ჩაიცვა ხელთათმანი;
- ⚠ სახიფათოა დაზიანებული ელექტრული ხელსაწყოების გამოყენება;
- ⚠ დენის ჩართვა სველი ხელებით სახიფათოა, რადგან წყალი ატარებს დენს (სურ. დ).

ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე (ρ) 20°C-ზე

ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³	ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³
აგური	1800	1,8	ოქრო	19 300	19,3
ალუმინი	2700	2,7	ორგანული მინა	1200	1,2
გრანიტი	2600	2,6	პლატინა	21 500	21,5
ვერცხლი	10 500	10,5	რეზინი	910-1400	0,9-1,4
თითბერი	8 500	8,5	საწერი ქაღალდი	1000	1,0
თუჯი	7 000	7,0	სპილენძი	8 900	8,9
თუთია	7 100	7,1	სუფრის მარილი	2 160	2,16
კალა	7 300	7,3	ფაიფური	2 300	2,3
კორპი	240	0,24	ქარვა	1 070	1,07
მინა ფანჯრის	2 500	2,5	ყინული	900	0,90
ნიკელი	8 900	8,9	ცარცი	2 200	2,2
ბენზინი	710	0,71	წყალი	1 000	1,0
მანქანის ზეთი	900	0,90	ჰაერი (0°C-ზე)	1,290	0,00129
სპირტი	800	0,80	წყლის ორთქლი (100°C-ზე)	0,590	0,00059
გლიცერინი	1260	1,26	ვერცხლისწყალი	13 600	13,6
რკინა, ფოლადი	7 800	7,8	მზესუმზირის ზეთი	930	0,93
რძე	1 030	1,03	ზღვის წყალი	1 030	1,03
ტყვია	11 300	11,3	შაქარი-რაფინირებული	1 600	1,6
წყალბადი	0,09	0.00009	ჰელიუმი	0,18	0,00018
მკვდარი ზღვის წყალი	1 190	1,19	ფისი	2 023	2,023
კუპრი	10 16	1,016	ჟანგბადი	1,430	0,00143

ზოგიერთი ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა

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

ზოგიერთი ლითონისა და შენადნობის კუთრი წინაღობა (20°C-ზე)

ნივთიერება	$\times 10^{-8}$ ომი·მ ან $\times 10^{-2}$ ომი·მმ ² /მ	ნივთიერება	$\times 10^{-8}$ ომი·მ ან $\times 10^{-2}$ ომი·მმ ² /მ
ალუმინი	2,8	ნიკელინი	42
ვერცხლი	1,6	ნიქრომი	110
ვერცხლისწყალი	96	პლატინა	10
ვოლფრამი	5,5	სპილენძი	1,7
თითბერი	7,1	ტყვია	21
კონსტანტინი	50	ფოლადი	12

ზოგიერთი ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, მგ/კ (10⁻⁶ კგ/კ)

ალუმინი (Al ³⁺)	0,093	ნიკელი (Ni ²⁺)	0,30
ჟანგბადი (O ²⁻)	0,083	ვერცხლი (Ag ⁺)	1,12
სპილენძი (Cu ²⁺)	0,33	ქრომი (Cr ³⁺)	0,18
კალა (Sn ²⁺)	0,62	თუთია (Zn ²⁺)	0,34

ზოგიერთი ნივთიერების წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი
 α (0°C-დან 100°C-მდე)

ნივთიერება	α , გრად ⁻¹	ნივთიერება	α , გრად ⁻¹
ალუმინი	0.0042	კონსტანტანი	0.00004
ვოლფრამი	0.0048	ნიქრომი	0.0001
თითბერი	0.001	ტყვია	0.0037
პლატინა	0.039	ვერცხლი	0.004
სპილენძი	0.0043	ფოლადი	0.006
ნიკელინი	0.0003	ვერცხლისწყალი	0.0008



ამპერი — გვ. 6, 7
ანიონები — გვ. 44
ანოდი — გვ. 44, 53
არაელექტრული ძალა — გვ. 34
არათავისთავადი განმუხტვა — გვ. 51
აქცეპტორული მინარევი — გვ. 58
გვირგვინისებრი განმუხტვა — გვ. 51
დენის ძალა — გვ. 6
დენის სიმკვრივე — გვ. 7
დენის წყარო — გვ. 31, 36
დინამიური წონასწორობა — გვ. 43, 50
დონორული მინარევი — გვ. 58
დრუდე — გვ. 42
ელექტროლიზი — გვ. 44
ელექტრული დენი — გვ. 6
ელექტრონული გამტარობა — გვ. 55
ელექტროლიტური დისოციაცია — გვ. 43
ელექტროქიმიური ეკვივალენტი — გვ. 45
ელექტრული წინაღობა — გვ. 15
ელექტრონულ-ხვრელური გადასვლა — გვ. 59
ვაკუუმი — გვ. 53
ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი — გვ. 16
ზეგამტარი — გვ. 48
თავისთავადი განმუხტვა — გვ. 50
თერმოსტატი — გვ. 62
თერმული იონიზაცია — გვ. 50
თერმოელექტრონული ემისია — გვ. 53
იონური გამტარობა — გვ. 44
იონიზაციის ენერგია — გვ. 50

ინტეგრალური სქემა — გვ. 63
კათოდი — გვ. 44, 53
კათიონები — გვ. 44
კუთრი წინაღობა — გვ. 27
კონტური — გვ. 8
მიმდევრობითი შეერთება — გვ. 9, 18, 32
მინარევეული გამტარობა — გვ. 58
მოკლე ჩართვა — გვ. 38
მუშაობა — გვ. 29
მუდმივი დენი — გვ. 8
მღვივარი განმუხტვა — გვ. 51
ნაპერწკლური განმუხტვა — გვ. 52
ომი — გვ. 15, 38
პარალელური შეერთება — გვ. 9, 20, 33
პოტენციომეტრი — გვ. 27
რიკე — გვ. 42
რეკომბინაცია — გვ. 43, 50
რეოსტატი — გვ. 27
რკალური განმუხტვა — გვ. 51
საკუთარი გამტარობა — გვ. 56
ტრანზისტორი — გვ. 61
ფარადეი — გვ. 44
ფოტორეზისტორი — გვ. 62
შერეული შეერთება — გვ. 9
წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი — გვ. 47
ჯოულ-ლენცის კანონი — გვ. 31
ხვრელური გამტარობა — გვ. 56

თემა 2

2.1

- 1,1 10^{22} ;
- 25000 სთ;
- 0,25 მმ/წმ.

2.2

- ა. ჩართულია k_1 ;
ბ. ჩართულია k_2
- 1,8;
- 0,8 ა;
- 0,2 კ.

2.4

- 40 გ;
- 6 კჯ.

2.6

- ა. 12 გ, ბ. 2 ა;
- 240 ომ;
- 2,5 ა;
- 217 გ;
- 50 ომ;
- 6 ომ.

2.8

- 18 ომ; 36 გ; 4 გ; 10 გ; 6 გ; 16 გ;
- 2ა; 60 გ; 40 გ;
- 54 გ; 9 ა;
- 24 გ; 16 გ, 8 გ;
- 9 ომ; 3 ომ.

2.9

- 8 ომ;
- 20/19 (ომ);
- 1,2ა; 0,4 ა; 300 ომ;
- 20 გ;
- 11;
- 9.

2.11

- 150 კ.;
- $r/2$; 1,5 r;
- 4;
- 2 ომი;
- 3ა; 42 გ;
- 30 ომ;
- 4 ომ; 3 ა; 1,5 ა;
- 6,25 ომ; 16 ა; 10 ა; 4 ა, 2 ა;
- 7,5 ა;
- 1,75 გ;
- 6;
- 0,3 ა; 0,1 ა; 0,2 ა.

2.13

- 165 ომ;
- 24 მა;
- 13,75 მ;
- 219 გ;
- 0,74 ომ.

2.14

- 1,14 კვტ;
- 0,35 ვტსთ;
- 20,6 ვტ;
- 40 მვტ.

2.15

- 9-ჯერ შემცირდება;
- r_4 ; r_5 ;
- 384 კჯ;
- 82,5 ვტ.სთ.; 440 ომ; 110 ვტ;
- მოიმატებს 2-ჯერ, შემცირდება 17-ჯერ.
- 4.

2.16

- 3ვ; 2 ომ;

2.17

- 4,8 გ;
- 1200 ა;
- 50 გ; 1 ომ.

2.18

- 1,5 ა;
- 60 გ; 6 კვტ;
- 12 გ;
- 2 ა; 20 ვტ;
- 2 ომ; 18 გ;
- 4 გ; 2ვ.

2.19

- 27,7 სთ;

2.20

- 50 წთ;
- 6 გ;
- $3 \cdot 10^{-7}$ კგ/კ;
- დაახლ. 75 სთ.

2.22

- 2200°C;
- 12 ომ;
- 70,5 °C;

2.24

- $1,25 \cdot 10^{19}$ ელექტრონი;
- 10^7 მ/წმ;
- 1,6 წმ.

2.27

- $6,7 \cdot 10^{-10}$;
- 0,27 მ/წმ;
- 100 ომ; 100 000 ომ; 1000.